

*Für das Landesamt für Bergbau, Geologie
und Rohstoffe Brandenburg*



Erarbeitung eines strategischen Hintergrundpapiers zu den bergbaubedingten Stoffeinträgen in den Flusseinzugsgebieten Spree und Schwarze Elster

Teil 3: Maßnahmenkonzept

Auftrag 2018/027.3 vom 04.06.2019
Projektnummer: 23/19

*Für das Landesamt für
Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg*



Erarbeitung eines strategischen Hintergrundpapiers zu den bergbaubedingten Stoffeinträgen in den Flusseinzugsgebieten Spree und Schwarze Elster

Teil 3: Maßnahmenkonzept

<u>Auftraggeber:</u>	Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg (LBGR) Inselstraße 26, 03046 Cottbus
<u>Auftrag:</u>	2018/027.3 vom 04.06.2019
<u>Verantwortlicher:</u>	Herr Uwe Neumann
<u>Auftragnehmer:</u>	Institut für Wasser und Boden Dr. Uhlmann (IWB) Lungkwitzer Str. 12, 01259 Dresden
<u>Projektnummer:</u>	23/19
<u>Bearbeiter:</u>	Dr. Wilfried Uhlmann Dr. Andreas Gröschke Dipl.-Hydrologe Kai Zimmermann

Dresden/Cottbus, am 30.06.2020, aktualisiert am 30.06.2021

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	1
Bilderverzeichnis	3
Tabellenverzeichnis	3
Gleichungsverzeichnis	5
Abkürzungsverzeichnis	5
Glossar	9
1 Veranlassung	14
2 Aufgabenstellung	16
3 Untersuchungsraum	17
4 Wissensstand zu Maßnahmen	19
4.1 Begriffe und Konventionen	19
4.2 Vorgängerprojekte.....	20
4.3 Behandlung bergbaubeeinflusster Fließgewässer	22
4.3.1 Grundlegende Prozesse, Verfahrensprinzipien und Behandlungsziele ...	22
4.3.2 Mengen- und Beschaffenheitssteuerung.....	24
4.3.3 Hydraulische Verfahren	24
4.3.4 Physikalische Behandlungsverfahren	25
4.3.4.1 Filtrationsverfahren	25
4.3.4.2 Adsorptionsverfahren.....	25
4.3.4.3 Membranverfahren	26
4.3.5 Chemische Behandlungsverfahren	26
4.3.5.1 Chemische Neutralisation.....	26
4.3.5.2 Pufferung	27
4.3.5.3 Aerobe Verfahren der Eisenfällung	27
4.3.5.4 Sulfatfällung	28
4.3.6 Biologische Behandlungsverfahren.....	28
4.3.6.1 Heterotrophe Sulfatreduktion.....	28
4.3.6.2 Autotrophe Sulfatreduktion	29
5 Handlungsgrundlagen	30
5.1 Rechtlicher Rahmen.....	30
5.1.1 Rechtsnormen	30
5.1.1.1 Umweltziele, Maßnahmenprogramme und Bewirtschaftungspläne für OWK.....	30
5.1.1.2 Guter ökologischer Zustand und gutes ökologisches Potenzial von OWK.....	30
5.1.1.3 Einstufung des ökologischen Zustandes bzw. Potenzials von OWK	32
5.1.1.4 Chemischer Zustand von OWK	33
5.1.1.5 Einhaltung der Umweltqualitätsnormen	34
5.1.1.6 Fristen zur Erreichung der Bewirtschaftungsziele	34
5.1.1.7 Anforderungen an Grund- und Trinkwasser	35
5.1.2 Vollzug.....	35
5.1.2.1 Flussgebietsgemeinschaft Elbe	35
5.1.2.2 Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser	35
5.1.2.3 Land Brandenburg	37
5.1.2.4 Freistaat Sachsen.....	38

5.1.2.5	Länderübergreifende interministerielle Arbeitsgruppe Brandenburg-Sachsen zur Sanierung des Wasserhaushaltes in der Lausitz.....	39
5.1.2.6	Arbeitsgruppe „Flussgebietsbewirtschaftung Spree-Schwarze Elster“	39
5.1.2.7	Zuständige Behörden	41
5.2	Technische Grundlagen	42
5.2.1	Technikklausel	42
5.2.2	Verfahren und Technologien	43
5.2.2.1	Mengen- und Beschaffenheitssteuerung	43
5.2.2.2	Hydraulische Verfahren	45
5.2.2.3	Physikalische Behandlungsverfahren	47
5.2.2.4	Chemische Behandlungsverfahren	51
5.2.2.5	Biologische Behandlungsverfahren	58
5.2.2.6	Zusammenfassung	59
5.2.3	Einsatzbereiche von Verfahren und Technologien	63
5.2.3.1	Bewertungsgrundlagen	63
5.2.3.2	Verfahrensauswahl und Ableitung von Technologien	64
5.2.3.3	Einsatzbereiche	65
5.3	Kosten.....	69
6	Maßnahmenplanung	72
6.1	Vorgehensweise.....	72
6.1.1	Zustandsanalyse und Handlungsbedarf	72
6.1.2	Konzeption zusätzlicher Maßnahmen	73
6.2	LMBV	76
6.2.1	Bestandsmaßnahmen.....	76
6.2.2	Zusätzlich empfohlene Maßnahmen	92
6.3	LEAG	100
6.3.1	Bestandsmaßnahmen.....	100
6.3.2	Zusätzlich empfohlene Maßnahmen	107
6.4	Behörden	112
6.4.1	Bestandsmaßnahmen.....	112
6.4.2	Zusätzlich empfohlene Maßnahmen	116
7	Maßnahmenkosten.....	121
8	Priorisierung von Maßnahmen	123
9	Quellenverzeichnis.....	125

Bilderverzeichnis

Bild 1:	Übersichtskarte des Untersuchungsraumes.....	18
Bild 2:	Flutungszentrale Lausitz: Ausschnitt aus der Netzstruktur der oberirdischen Gewässer im Lausitzer Braunkohlenrevier, Quelle: LMBV.....	24
Bild 3:	Bewertungsprinzip für den ökologischen Zustand bzw. das ökologische Potenzial.	33
Bild 4:	Übersicht zur Anwendung der Techniklausel.	43
Bild 5:	Zulauf von der Spree in das Wasserspeichersystem Lohsa II, Quelle: LMBV.....	44
Bild 6:	Prinzipskizze zur Errichtung einer Dichtwand im Lockergestein mit dem Schlitzfräsverfahren, Quelle: Arnold & Fisch (2013).....	46
Bild 7:	Querschnitt eines Horizontalfilterbrunnens, Quelle: LMBV.	47
Bild 8:	Verfahrensschema der Sulfatabscheidung mittels Nanofiltration und einer zusätzlichen Kristallisation von Gips.....	50
Bild 9:	GWRA Rainitzta im Jahr 2012, Quelle: LMBV.	51
Bild 10:	Schematische Darstellung der GWRA Rainitzta, Quelle: LMBV.	51
Bild 11:	CO ₂ -Applikation in Kombination mit einer Inlake-Wasserbehandlung im Lichtenauer See (links oben: Bekalkungsschiff „Barbara“; rechts: CO ₂ -Tank und Verdampfersäulen; links unten: Begasungsrahmen, Fotos: LUG Cottbus).....	52
Bild 12:	Reaktionsbecken der GWRA Rainitzta mit den Zuläufen der Rohwässer und den Silos zur Trockendosierung des Flockungsmittels Kalkhydrat.	53
Bild 13:	Funktionsweise der WBA Plessa, Quelle: LMBV.	54
Bild 14:	Blick auf die Pilotanlage zur Schwertmannitfällung an der GWBA Tzschelln, Quelle: GEOS (2020).....	56
Bild 15:	Verfahrensschema der Ettringitfällung nach der SAVMIN™-Technologie, Quelle: LfULG (2013a).....	57
Bild 16:	Vorgehensweise zur Ableitung zusätzlicher Maßnahmen an bergbaulich beeinflussten Fließgewässer-OWK, Quelle: LBGR (2020a).....	74

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Wesentliche verfahrenstechnische Begriffe im Sinne der Bearbeitung.....	19
Tabelle 2:	Gliederung der Behandlungsverfahren nach Verfahrensprinzipien, ihre verfahrenstechnische Untersetzung und Auslegung sowie vorrangige Behandlungsziele im Sinne dieser Studie.	23
Tabelle 3:	Spannbreiten ausgewählter bergbautypischer ACP zur Einstufung des guten ökologischen Zustands bzw. des guten ökologischen Potenzials der Fließgewässer im Untersuchungsraum.	31
Tabelle 4:	Ausgewählte bergbautypische ACP zur Einstufung des guten ökologischen Zustands bzw. des guten ökologischen Potenzials für die im Untersuchungsraum vertretenen Fließgewässertypen.	31
Tabelle 5:	Ausgewählte Umweltqualitätsnormen für flussgebietspezifische Schadstoffe zur Beurteilung des ökologischen Zustands bzw. des ökologischen Potenzials.....	32
Tabelle 6:	Einstufung des ökologischen Zustandes bzw. des ökologischen Potenzials von Oberflächenwasserkörpern.....	33

Tabelle 7:	Ausgewählte Umweltqualitätsnormen zur Beurteilung des chemischen Zustandes von Oberflächenwasserkörpern.	34
Tabelle 8:	Bewertungsgrundlagen für die Ableitung von bergbauspezifischen Maßnahmenkonzepten im Rahmen dieser Studie.	36
Tabelle 9:	Ausgewählte Immissionsrichtwerte der AG „Flussgebietsbewirtschaftung Spree-Schwarze Elster“.....	40
Tabelle 10:	Emissionswerte von Einleitungen des Braunkohlenbergbaus in Fließgewässer.	41
Tabelle 11:	Realisierte und im Bau befindliche Dichtwände der LE-B im Lausitzer Braunkohlenrevier.....	45
Tabelle 12:	Kennziffern von GWBA, GWRA und WBA im Lausitzer Braunkohlenrevier.	55
Tabelle 13:	Kennzeichnung ausgewählter naturräumlicher Wasserbehandlungsanlagen der Bergbaubetreiber (alle außer Betrieb i.S.d. bergbaulichen Zweckbestimmung).	55
Tabelle 14:	Bewertung der Einsatzbereiche der Verfahren.....	60
Tabelle 15:	Anwendung der Verfahren am Beispiel konkreter Maßnahmen.....	61
Tabelle 16:	Anwendungsbereiche und chemische Wirksamkeit der Verfahren.	62
Tabelle 17:	Skalierung der maßgeblichen Bemessungs- und Zielgrößen der Wasserbehandlung.	63
Tabelle 18:	Einsatzbereiche von Technologien der Wasserbehandlung.	66
Tabelle 19:	Begründungen für die Einsatzbereiche der Technologien.....	67
Tabelle 20:	Zustandsanalyse und Handlungsbedarf (ohne Berlin).	72
Tabelle 21:	Bestandsmaßnahmen der LMBV und Planungshorizonte.....	77
Tabelle 22:	Erläuterungen zu den Bestandsmaßnahmen der LMBV.	79
Tabelle 23:	Zusätzliche empfohlene Maßnahmen der LMBV und mögliche Planungshorizonte.	92
Tabelle 24:	Erläuterungen zu den zusätzlich empfohlenen Maßnahmen der LMBV.	94
Tabelle 25:	Bestandsmaßnahmen der LE-B/LE-K und Planungshorizonte.	101
Tabelle 26:	Erläuterungen zu den Bestandsmaßnahmen der LE-B und LE-K.....	102
Tabelle 27:	Zusätzlich empfohlene Maßnahmen der LE-B und mögliche Planungshorizonte.....	107
Tabelle 28:	Erläuterungen zu den zusätzlich empfohlenen Maßnahmen der LE-B und LE-K.....	108
Tabelle 29:	Behördliche Bestandsmaßnahmen und Planungshorizonte.....	112
Tabelle 30:	Erläuterungen zu den behördlichen Bestandsmaßnahmen.	113
Tabelle 31:	Zusätzlich empfohlene behördliche Maßnahmen und Planungshorizonte.	117
Tabelle 32:	Erläuterungen zu den zusätzlich empfohlenen behördlichen Maßnahmen.....	118
Tabelle 33:	Summarische Annahmen für die einmaligen und jährlichen Kosten der zusätzlich empfohlenen konzeptionellen Maßnahmen nach Maßnahmenkategorien.	121
Tabelle 34:	Summarische Annahmen zu den Investitionskosten und den laufenden Kosten für die zusätzlich empfohlenen technischen Maßnahmen nach Maßnahmenkategorien.	121

Gleichungsverzeichnis

Gleichung 1:	Chemische Neutralisation mit Branntkalk, Löschkalk, Calciumkarbonat, Soda und Natronlauge.	26
Gleichung 2:	Dissoziation der Kohlensäure.	27
Gleichung 3:	Summarische Oxidation, Hydrolyse und Fällung von Eisen.	27
Gleichung 4:	Ausfällung von Schwertmannit.	28
Gleichung 5:	Sulfatfällung mit Bariumchlorid.	28
Gleichung 6:	Ettringitfällung.	28
Gleichung 7:	Heterotrophe Sulfatreduktion, Eisenreduktion und Fällung von Eisenmonosulfid.	29
Gleichung 8:	Autotrophe Sulfatreduktion.	29

Abkürzungsverzeichnis

A

ABP.....	Abschlussbetriebsplan
Aci.....	Acidität
ACP.....	Allgemeine physikalisch-chemische Qualitätskomponenten
AEW.....	Alkalisches Eisenhydroxidwasser
AG.....	Arbeitsgruppe
AK.....	Arbeitskreis
aRdT.....	anerkannte Regel der Technik
ATKIS.....	Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem

B

BB.....	Bundesland Brandenburg
BE.....	Bundesland Berlin
BImSchG.....	Bundesimmissionsschutzgesetz
BLANO.....	Bund/Länder-Ausschuss Nord- und Ostsee
BMWi.....	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
BTU.....	Brandenburgische Technische Universität
BVT.....	Beste verfügbare Technik
BWP.....	Bewirtschaftungsplan
BWZ.....	Bewirtschaftungszeitraum

D

DFÜ.....	Datenfernübertragung
DGFZ.....	Dresdner Grundwasserforschungszentrum e. V.

E

EG.....	Europäische Gemeinschaft
EG-WRRL.....	Wasserrahmenrichtlinie der Europäischen Gemeinschaft
EHS.....	Eisenhydroxidschlamm

F

F&E.....	Forschung und Entwicklung
FGB.....	Flussgebietsbewirtschaftung
FGE.....	Flussgebietseinheit
FGG.....	Flussgebietsgemeinschaft
FFH.....	Fauna-Flora-Habitat (im Sinne der FFH-Richtlinie 92/43/EWG)
FHM.....	Flockungshilfsmittel

FiBr Filterbrunnen
FM..... Flockungsmittel
FZL..... Flutungszentrale Lausitz

G

GDB Geodatenbank GeoDataBase
GEK Gewässerentwicklungskonzept
GEOS..... G.E.O.S. Ingenieurgesellschaft mbH, Freiberg
GFK..... Glasfaserverstärkter Kunststoff
GFS..... Geringfügigkeitsschwelle
GIS..... Geographisches Informationssystem
GRW Grenzwert
GrwV Grundwasserverordnung
GSM..... Gütesteuermmodell
GW..... Grundwasser
GWAB Grubenwasserabsetzbecken
GWBA Grubenwasserbehandlungsanlage
GWK Grundwasserkörper
GWM..... Grundwassermessstelle
GWRA Grubenwasserreinigungsanlage
GWVBA..... Grubenwasservorbehandlungsanlage

H

HFR..... horizontal flow reactor (horizontal durchflossener Reaktor)

I

IAA Industrielle Absetzanlage
IED..... Industrieemissionsrichtlinie
i.S.d..... im Sinne der/des

J

JD..... Jahresdurchschnittswert

K

k.A..... keine Angabe
KdT Kammer der Technik (ehem. Ingenieurkammer in der DDR)
KS Karbonatschlamm

L

LAWA..... Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser
LBGR Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg
LDS..... Landesdirektion Sachsen
LEAG Gemeinsame Marke der LE-B, LE-K und Lausitz Energie Verwaltungs
GmbH im Konzernverbund
LE-B..... Lausitz Energie Bergbau AG
LE-K..... Lausitz Energie Kraftwerke AG
LfULG..... Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie Sachsen
LfU Landesamt für Umwelt Brandenburg
LMBV Lausitzer und Mitteldeutsche Bergbau-Verwaltungsgesellschaft mbH
LP..... Leistungspaket
LTV Landestalsperrenverwaltung (Sachsen)
LUG..... LUG Engineering GmbH, Cottbus

M

M%..... Masseprozent
MHM Montanhydrologisches Monitoring
MLUK Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz (Brandenburg)

MLUL	Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Landwirtschaft (Brandenburg, bis 2019)
MNP	Maßnahmenprogramm
MO	Mikroorganismen
MWBA	Modulare Wasserbehandlungsanlage
MWAE	Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Energie (Brandenburg)
MWE	Ministerium für Wirtschaft und Energie (Brandenburg, bis 2019)
N	
NAM	Niederschlags-Abfluss-Modell
NM	Neutralisationsmittel
O	
OGewV	Oberflächengewässerverordnung
OT	Ortsteil
OW	Oberflächenwasser
OWK	Oberflächenwasserkörper
OZ	Oxidationszahl
P	
PA	Polyacrylat
PAA	Polyacrylamid
PS	Pumpstation
P&D	Pilot- und Demonstrationsvorhaben
Q	
QK	Qualitätskomponente
R	
RAPS	Reduzierendes und Alkalinität produzierendes System
RL	Restloch
RBP	Rahmenbetriebsplan
S	
SB	Speicherbecken
SBP	Sonderbetriebsplan
SdT	Stand der Technik
StB	Steckbrief
SMEKUL	Sächsisches Staatsministerium für Energie, Klimaschutz, Umwelt und Landwirtschaft
SMUL	Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft (bis 2019)
SN	Freistaat Sachsen
SOBA	Sächsisches Oberbergamt
SRB	Sulfatreduzierende Bakterien
StratHGP	Strategisches Hintergrundpapier
SW	Schwellenwert
T	
TEZG	Teileinzugsgebiet
TG	Teilgebiet
Tgb	Tagebau
TrinkwV	Trinkwasserverordnung
TP	Teilprojekt
TS	Talsperre
TW	Trinkwasser

U

UE unterirdische Enteisenung
UQN Umweltqualitätsnorm

V

VA Verwaltungsabkommen
VFR vertical flow reactor (vertikal durchflussener Reaktor)
VKTA früher: Verein für Kernverfahrenstechnik und Analytik Rossendorf e. V.;
heute: Strahlenschutz, Analytik & Entsorgung Rossendorf e. V.
VoSa Muster-Vorhabens- und Sanierungspläne

W

W&T Wissenschaft und Technik
WBA Wasserbehandlungsanlage
WFK Weißfeinkalk
WHG Wasserhaushaltsgesetz
WKH Weißkalkhydrat
WRRL Wasserrahmenrichtlinie
WSS Wasserspeichersystem
WTG Wissenschaftlich-technische Gesellschaft (Gremium der KdT)

Z

ZHK Zulässige Höchstkonzentration

Indizes in chemischen Gleichungen

aq aquatic (gelöst)
g gaseous (gasförmig)
ox oxidized (oxisch, oxidiert)
s solid (fest, mineralisch)

Glossar

Zur Förderung des Verständnisses werden nachfolgend die wichtigsten wiederkehrenden Fachbegriffe erläutert, wie sie in vorliegender Bearbeitung verwendet werden.

Begriff	Erläuterung
Acidität	Säuregehalt eines Wassers. Üblicherweise dargestellt als Basenkapazität $K_{B4,3}$ und $K_{B8,2}$ in der Maßeinheit mmol/L.
aerob oxisch	Aerob steht für chemische und metabolische Prozesse sowie für Organismen, wo molekularer Sauerstoff (O_2) mit der Oxidationszahl (OZ) ± 0 als Oxidationsmittel (Elektronenakzeptor) die maßgebliche Rolle spielt. Oxisch steht für ein Milieu mit freiem molekularem Sauerstoff (O_2) mit der Oxidationszahl (OZ) ± 0 .
Alkalisches Eisenhydroxidwasser (AEW)	Primärprodukt bei der Behandlung eisenreicher Wässer im Gewinnungs- und Sanierungsbergbau. Feststoffgehalt < 2 Masse-%. Die überwiegenden Bestandteile des Feststoffes sind Eisenhydroxid (70 % bis 95 %), klastisches Material (üblicherweise < 10 %) und Calciumkarbonat (bis 25 %).
anaerob anoxisch	Anaerob steht für chemische und metabolische Prozesse sowie für Organismen, für die molekularer Sauerstoff (O_2) mit der Oxidationszahl (OZ) ± 0 keine Rolle spielt. Anoxisch steht für ein Milieu ohne molekularen Sauerstoff (O_2). Sauerstoff kann in gebundener Form (z. B. NO_3 , SO_4 oder CO_2) vorliegen.
autotroph	Als autotroph wird eine Lebensweise verstanden, die ihre Substanz ausschließlich aus anorganischen Stoffen aufbaut. Dabei werden als Energiequellen Licht oder chemische Prozesse genutzt. Typische Vertreter sind Algen und fast alle Pflanzen.
Bergbaufolgesee	Der Begriff ist gleichwertig mit Tagebausee, Tagebaurestsee, Restsee oder Tagebaurestgewässer. Unterschiedliche Verwendung bei Unternehmen und Behörden. Die LMBV favorisiert den Begriff Bergbaufolgesee. Im Sächsischen Wassergesetz wird der Begriff Tagebaurestgewässer verwendet.
Beste verfügbare Technik (BVT)	Der effizienteste und fortschrittlichste Entwicklungsstand, der Tätigkeiten, Betriebsmethoden und Techniken als praktisch geeignet erscheinen lässt, als Grundlage für die Festlegung von Emissionsgrenzwerten und sonstige Genehmigungsaufgaben zu dienen, um Emissionen in und Auswirkungen auf die gesamte Umwelt zu vermeiden oder, wenn dies nicht möglich ist, zu vermindern, IED (2010).
Dichtwand	Im Braunkohlenbergbau mit Tonsuspension hergestellte, hydraulisch gering durchlässige vertikale Sperrwand im Untergrund. Sie durchtrennt in der Regel mehrere Grundwasserleiter und wird zur Unterbindung der Unterströmung in wasserundurchlässige Schichten eingebunden. Als Applikation zum Schlitzwandverfahren wird sie mit Schlitzwandfräsen oder Schlitzwandgreifern hergestellt. Sie unterscheidet sich materialseitig und in den Abmessungen von sogenannten Spundwänden.
Eisenhydroxidhaltiges Gewässersediment	Gewässersediment mit einem hohen Anteil an Eisenhydroxid. Die Bandbreite der Hauptkomponenten in eisenhydroxidhaltigen Gewässersedimenten kann sehr groß sein. Der Eisenhydroxidgehalt kann zwischen 5 % und über 50 % schwanken. Nahezu unabhängig davon verleiht er den Sedimenten unter oxischen Bedingungen den typischen rotbraunen Habitus. Weitere wesentliche Bestandteile sind klastisches und organisches Material. Deren Bandbreite schwankt zwischen 5 % und 95 % bzw. zwischen 5 % und 30 %.

Begriff	Erläuterung
Eisenhydroxidschlamm (EHS)	Konsolidierter, dominant aus Eisenhydroxid bestehender Rückstand in → <u>Grubenwasserreinigungsanlagen</u> bzw. → <u>Grubenwasserbehandlungsanlagen</u> sowie in → <u>naturräumlichen Wasserbehandlungsanlagen</u> , z. B. in Absetzteichen.
Entwässerungsgraben	Graben zur Entwässerung oder Entspannung eines Grundwasserleiters bzw. zur Ableitung von Oberflächen- und Grubenwasser.
Erheblich veränderte Gewässer	Juristischer Begriff der EG-WRRL und des WHG: Durch den Menschen in ihrem Wesen physikalisch erheblich veränderte oberirdische Gewässer oder Küstengewässer.
Festbettreaktor	Die Form eines technischen Reaktors, bei dem das Wasser durch eine feste Schüttung oder Packung strömt. Das Festbett dient der Fixierung von Substraten, Neutralisationsmitteln, Katalysatoren und/oder Mikroorganismen.
Filterbrunnen	Vertikales Bohrloch in einem oder mehreren Grundwasserleitern, das mit Filterrohr und Filterkies ausgebaut und zur Wasserhebung geeignet ist.
Fließgewässer	Oberirdisches Gewässer mit ständig oder zeitweise fließendem Wasser (Sammelbegriff für Bach, Fluss, Strom, Kanal u. a.), DIN 4049-3 (1994).
Flockungsmittel (FM)	Im konkreten Fall alkalische Stoffe wie Branntkalk und Kalkhydrat, die in → <u>Grubenwasserreinigungsanlagen</u> bzw. in → <u>Grubenwasserbehandlungsanlagen</u> zur Eisenfällung eingesetzt werden. Flockungsmittel können wie in diesem Fall gleichzeitig die Eigenschaften eines → <u>Neutralisationsmittels</u> haben. Durch die Anhebung des pH-Wertes auf pH > 8,5 werden die Oxidation und die Hydrolyse des Eisens beschleunigt, was Voraussetzung für die Ausfällung als Eisenhydroxid ist.
Flockungshilfsmittel (FHM)	Makromoleküle (z. B. Polyacrylamid), die kolloidalen Eisenhydroxidsuspensionen zur Erhöhung der Absetzgeschwindigkeit zugegeben werden. Der Effekt beruht auf der Bindung der suspendierten Partikel an den Makromolekülen und ihrer Vernetzung zu größeren Flocken, die sich leichter abscheiden lassen.
Flussgebiets-spezifische Schadstoffe	Spezifische synthetische und nichtsynthetische Schadstoffe, die in der Anlage 6 der OGeV aufgeführt sind, § 2 Nr. 6 OGeV (2016).
Flutung	Planmäßiges Füllen eines Grubenbaues oder eines Tagebaurestloches durch Wiederanstieg des Grundwassers und/oder durch Wasserzuführung.
Gewässer	Fließendes oder stehendes Wasser, das im Zusammenhang mit dem Wasserkreislauf steht, einschließlich Gewässerbett bzw. Grundwasserleiter. DIN 4049-1 (1992).
Gewinnungsbergbau	Begriffswahl in begrifflicher Analogie zum Sanierungsbergbau. Häufig, aber sachlich inkorrekt, auch als aktiver Bergbau bezeichnet.
Grubenwasser Sumpfungswasser	Die Gesamtheit des in einem Bergbau (Tagebau oder Tiefbau) zu fassenden Wassers. Das Wasser setzt sich in einem Braunkohlentagebau aus dem Grundwasser der Rand-, Feld- und Kippenriegel, der Sohlenwasserhaltung sowie dem Tagebau oberflächlich zufließenden Niederschlagswasser zusammen.
Grubenwasser-behandlungsanlage (GWBA)	Großtechnische Anlage zur Behandlung von eisenreichem und ggf. saurem Grubenwasser mit den möglichen verfahrenstechnischen Bausteinen Belüftung, mechanische Entsäuerung, Kalkung, Flockung und Sedimentation. (Sprachgebrauch LEAG).

Begriff	Erläuterung
Grubenwasser-reinigungsanlage	Das Gleiche wie → <u>Grubenwasserbehandlungsanlage</u> . Sprachgebrauch bei der LMBV.
Grundwasser-beschaffenheit Wasserbeschaffenheit	Wertfreie naturwissenschaftliche Beschreibung der physikalischen, chemischen und mikrobiologischen Eigenschaften eines Grundwassers bzw. eines Gewässers allgemein.
Grundwasser-beschaffenheits-messstelle	Vornehmlich zur Entnahme von Grundwasserproben gebaut. Häufig auch als Grundwassergütemessstelle bezeichnet. Diese Begriffswahl ist jedoch ungünstig, siehe dazu → <u>Grundwasserbeschaffenheit</u> und → <u>Grundwassergüte</u> .
Grundwassergüte bzw. Gewässergüte	Wertende Bezeichnung für die Beschaffenheit eines Grundwassers bzw. Gewässers. Häufig im Zusammenhang mit normativen Regelungen (Oberflächengewässerverordnung, Grundwasserverordnung, Trinkwasserverordnung, Badegewässerverordnung usw.) gebraucht. Unterschiedliche Begriffsverwendung zur → <u>Grundwasserbeschaffenheit</u> bzw. <u>Wasserbeschaffenheit</u> .
Grundwasserkörper (GWK)	Juristischer Begriff der EG-WRRL, des WHG und der GrwV: Abgegrenztes Grundwasservolumen innerhalb eines oder mehrerer Grundwasserleiter (§ 3 Nr. 6 WHG (2018)). Hier stehen Umwelt- und Nutzungsaspekte im Vordergrund. Hydrogeologisch nicht eindeutig abgegrenzt.
Grundwasser-messstelle (GWM)	Vornehmlich zur Messung des Grundwasserspiegels gebaut. Fälschlicherweise auch als Grundwasserpegel bezeichnet. Der Begriff Pegel bezieht sich auf Messeinrichtungen (früher: Messlatten) an Oberflächengewässern.
heterotroph	Als heterotroph wird eine Lebensweise verstanden, die ihre Substanz im Wesentlichen aus vorhandenen organischen Stoffen (organischer Kohlenstoff) aufbaut und deren Energie nutzt. Heterotroph ernähren sich Tiere, Pilze und die meisten Bakterien.
Horizontalbohrung	Bohrung im horizontalen Vortrieb, gebohrt aus einem Pilotschacht.
Horizontalfilterbrunnen	Als Grundwasserfassung mit einem oder mehreren Filtersträngen ausgebaute → <u>Horizontalbohrung</u> .
Hotspot	Schwerpunktbereich von Stoffbelastungen, vorzugsweise auf das Grundwasser bezogen.
Hysterese	Eigenschaft eines zyklischen Prozesses, bei dem die Rückreaktion einen anderen Verlauf nimmt als die Hinreaktion.
Hybride Wasserbehandlung	Dominant → <u>naturräumliche Wasserbehandlung</u> , die zur Verbesserung der Reinigungsleistung mit einzelnen technischen Elementen ergänzt wird.
Inlake-Wasserbehandlung	Wasserbehandlung von Standgewässern durch direkte Zugabe von Chemikalien mittels ufergestützter stationärer oder bootsgestützter mobiler Anlagen. Vorzugsweise zur Neutralisation und Eisenfällung in sauren Bergbaufolgeseen, aber auch zur Fällung von Phosphor und Algen angewendet.
Investitionskosten	Gesamtheit der einmaligen Ausgaben für die Durchführung eines Vorhabens, einschließlich einmaliger, nicht aktivierbarer Ausgaben, über den gesamten Planungszeitraum bis zur Inbetriebnahme (Planung, Genehmigung, Bau, Testbetrieb).
Kennwert Kenngröße	Quantitative Maßzahl eines physikalischen oder chemischen Zustandes, zeitlich veränderlich. Beispiele: Wasserspiegel in einem Oberflächengewässer oder im Grundwasser; Wassertemperatur, pH-Wert, Eisen- und Sulfatkonzentration u.a. Systemanalytischer Unterschied zum → <u>Parameter</u> .

Begriff	Erläuterung
linksseitig	Bezeichnet die linke Uferseite eines Fließgewässers in Fließrichtung. Gegenteil von → <u>rechtsseitig</u> .
Maßnahme	Standortkonkretes wasserwirtschaftliches Vorhaben zur Minderung der morphologischen bzw. stofflichen Belastungen in Fließgewässern. Eine Maßnahme kann ein oder mehrere → <u>Verfahren</u> bzw. → <u>Technologien</u> einschließen.
Messnetz	Verknüpfung einzelner Messstellen mit dem Ziel der flächenhaften Überwachung bestimmter messbarer Kenngrößen in einem Gebiet.
Natürliche Hintergrundkonzentration	Konzentration eines Stoffes in einem Oberflächenwasserkörper, die nicht oder nur sehr gering durch menschliche Tätigkeiten beeinflusst ist, § 2 Nr. 7 OGWV (2016).
Naturräumliche Wasserbehandlung	Wasserbehandlung unter bevorzugter Nutzung natürlicher physikalischer (u. a. hydraulischer, mechanischer), chemischer und biologischer Potenziale. Entwickelt sich durch unterstützende technologische Maßnahmen zur → <u>hybriden Wasserbehandlung</u> .
Neutralisationsmittel (NM)	Rohstoffe zur Neutralisation saurer Wässer. Gebräuchlich sind im Fachgebiet Branntkalk CaO, Löschkalk Ca(OH) ₂ und Kalkstein CaCO ₃ , aber auch Natronlauge NaOH und Soda Na ₂ CO ₃ . Die Anwendung kann je nach stofflichen Eigenschaften trocken, in Suspension oder flüssig erfolgen.
Oberirdisches Gewässer	Nach § 3 Nr.1 WHG (2018): Das ständig oder zeitweilig in Betten fließende oder stehende oder aus Quellen wild abfließende Wasser.
Oberflächengewässer	Nach DIN 4049-3 (1994): Gewässer auf der Landoberfläche. Quellen gehören nicht zu den oberirdischen Gewässern.
Oberflächenwasser	Nach WTG (1989): Wasseransammlung mit freiem Wasserspiegel auf der Geländeoberfläche oder im offenen Tagebauräum.
Oberflächenwasserkörper (OWK)	Juristischer Begriff der EG-WRRL, des WHG und der OGWV: Einheitlicher und bedeutender Abschnitt eines oberirdischen Gewässers, der mittels einer repräsentativen Messstelle gekennzeichnet wird.
Parameter	Quantitative Maßzahl für eine feststehende intrinsische Stoffeigenschaft, z. B. DARCY-Durchlässigkeitsbeiwert bzw. k_f -Wert eines Grundwasserleiters, Manning-Strickler-Beiwert eines Gerinnes, kinetische Reaktionskonstanten der Eisenoxidation und Eisensedimentation usw. Systemanalytischer Unterschied zum → <u>Kennwert</u> .
Prozess	Natürlich ablaufende oder künstlich initiierte physikalische Vorgänge, chemische Reaktionen oder biologische Metabolismen.
rechtsseitig	Bezeichnet die rechte Uferseite eines Fließgewässers in Fließrichtung. Gegenteil von → <u>linksseitig</u> .
Reinwasser Klarwasser	Grundwasser oder Oberflächenwasser nach der Wasserbehandlung.
Rohwasser	Gefasstes Grund- oder Oberflächenwasser zum Zwecke der Ableitung und/oder der Wasserbehandlung.
Rückversauerung Wiederversauerung Nachversauerung	Erneute Versauerung eines zuvor durch Fremdfutung und/oder chemische Wasserbehandlung neutralisierten, vormals sauren → <u>Bergbaufolgesees</u> meist durch das Nachdrängen → <u>versauerungsdisponierten</u> Grundwassers.

Begriff	Erläuterung
Sanierungsbergbau	Bergbauliche Arbeiten zum gezielten Schließen von Tief- und Tagebauen (Wasserhaltung, Massenbewegung). Herstellen einer möglichst gefahrlos nutzbaren Bergbaufolgelandschaft ohne den Zweck der weiteren Rohstoffgewinnung.
Schachtbrunnen	Brunnen mit großem Bohrdurchmesser (i. d. R. > 800 mm), Vortrieb im Greiferbohrverfahren.
Technische Nutzungsdauer	Zeitraum, in dem eine Anlage technisch in der Lage ist, ihren Verwendungszweck zu erfüllen. Die technische Nutzungsdauer kann durch vorbeugende Instandhaltung, v. a. von Maschinen, maschinellen Einrichtungen und Gebäuden, verlängert werden.
Technologie	Konzeption zur anlagentechnischen Umsetzung eines oder mehrerer → <u>Verfahren</u> .
Umweltqualitätsnorm (UQN)	Im Sinne von § 2 Nr. 3 der OGewV (2016) die Konzentration eines bestimmten Schadstoffs oder einer bestimmten Schadstoffgruppe, die in Wasser, Schwebstoffen, Sedimenten oder Biota aus Gründen des Gesundheits- und Umweltschutzes nicht überschritten werden darf.
Untergrundwasserbehandlung Untergrundreaktor	Behandlung von Grundwasser in situ, also im Grundwasserleiter. Typische Anwendungen sind die unterirdische Enteisenung (UE) als aerobes Verfahren zur Gewinnung von Trinkwasser oder die heterotrophe Sulfatreduktion als anaerobes Verfahren zur Entsäuerung und Eisenfestlegung als Eisensulfid für bergbaubeeinflusstes Grundwasser.
Verfahren	Spezielle Ausgestaltung eines oder mehrerer → <u>Prozesse</u> zur Minderung der Eisen- oder Sulfatbelastung in Fließgewässern.
Verfahrensprinzip	Kriterium zur systematischen Gliederung von → <u>Verfahren</u> auf der Basis von grundlegenden → <u>Prozessen</u> .
Verockerung	Ablagerung von Eisen- und Manganverbindungen in Gewässern und Anlagen.
Versauerung	Verschiebung der Säure-Basen-Bilanz in einem → <u>Oberflächengewässer</u> oder → <u>Sümpfungswasser</u> hin zur Dominanz starker Säuren. Die Maßzahl einer Versauerung ist nicht notwendiger Weise der pH-Wert. Siehe auch → <u>Versauerungsdisposition</u> und → <u>Versauerungspotenzial</u> .
Versauerungsdisposition	Eigenschaft eines → <u>anoxischen</u> Grundwassers, bei Belüftung und der dadurch hervorgerufenen Oxidation des zweiwertigen Eisens und der Hydrolyse des entstehenden dreiwertigen Eisens oder vergleichbarer hydrolytischer Metalle (z. B. Aluminium) zur → <u>Versauerung</u> zu neigen. Die Versauerungsdisposition kann durch den Kennwert pH_{ox} beschrieben werden.
Versauerungspotenzial	Quantitative Maßzahl für die → <u>Versauerungsdisposition</u> . Angabe als Basenkapazität in mmol/L gegenüber einem definierten pH-Wert. In Anlehnung an die Hydrochemie des Kalk-Kohlensäure-Gleichgewichtes empfehlen sich die Verwendung der Kennwerte $K_{B4.3}^{ox}$ und/oder $K_{B8.2}^{ox}$.
Wasserhaltung	Gesamtheit aller Vorgänge, Anlagen und Einrichtungen unter bzw. über Tage zum Fassen, Klären und Ableiten des zufließenden Wassers in einem Tief- oder Tagebau. In Anlehnung an WTG (1989).

Wenn im Folgenden von bergbaulich beeinflussten Gewässern gesprochen wird, dann sind aufgabengemäß immer Gewässer gemeint, die vom Braunkohlenbergbau beeinflusst sind. So wie jeder Bezug auf Bergbau in dieser Ausarbeitung immer den Braunkohlenbergbau im Blick hat, sofern nicht explizit anderes gemeint ist.

1 Veranlassung

Viele Fließgewässer in der Lausitz werden durch den Braunkohlenbergbau in Menge und Beschaffenheit geprägt. Am augenscheinlichsten ist hierbei die Verockerung von Fließgewässern durch diffuse Eiseneinträge aus dem Grundwasser. Mit dem Eiseneintrag kann zudem eine Versauerung der Fließgewässer einhergehen. Weitere bergbauspezifische Wasserinhaltsstoffe, wie z. B. Sulfat, Ammonium und Arsen, belasten die Fließgewässer diffus oder über punktuelle Einleitungen.

Die Lausitzer und Mitteldeutsche Bergbau-Verwaltungsgesellschaft mbH (LMBV), die Lausitz Energie Bergbau AG (LE-B) und Lausitz Energie Kraftwerke AG (LE-K) sowie weitere Akteure haben bereits Maßnahmen umgesetzt und planen weitere Maßnahmen, um die bergbauliche Beeinflussung der Fließgewässer und deren Folgen zu begrenzen. Die langfristigen wasserwirtschaftlichen Planungen für die Lausitzer Gewässer erfordern jedoch eine Grundlage, auf deren Basis nachprüfbar wird, ob die aktuellen Maßnahmen ausreichen und inwieweit darüberhinausgehend zusätzliche Maßnahmen erforderlich sind. Hierbei sind die gesetzlichen Anforderungen an den Zustand der Fließgewässer zu berücksichtigen.

Mit der Wasserrahmenrichtlinie der Europäischen Gemeinschaft (EG-WRRL), die am 22.12.2000 in Kraft trat, gibt es einen Ordnungsrahmen für den Schutz von Oberflächengewässern und des Grundwassers. Als Umweltziel für Oberflächengewässer nennt die EG-WRRL die Verhinderung einer Zustandsverschlechterung, das Erreichen eines guten ökologischen Zustandes für natürliche Gewässer bzw. eines guten ökologischen Potenzials für alle künstlichen und erheblich veränderten Wasserkörper sowie das Erreichen eines guten chemischen Zustandes. Die Anforderungen der EG-WRRL wurden im Wesentlichen mit dem Wasserhaushaltsgesetz (WHG), der Grundwasserverordnung (GrwV) und der Oberflächengewässerverordnung (OGewV) in nationales, deutsches Recht umgesetzt.

Wichtige Instrumente zum Erreichen dieser Ziele für Fließgewässer sind Bewirtschaftungspläne (BWP) und Maßnahmenprogramme (MNP) auf der Ebene der Flussgebietseinheiten (FGE). Der erste sechsjährige Bewirtschaftungszeitraum (BWZ) begann im Jahr 2009. Derzeit werden die Bewirtschaftungspläne und Maßnahmenprogramme des zweiten sechsjährigen Bewirtschaftungszeitraumes (2016-2021) umgesetzt und gleichzeitig der dritte sechsjährige BWZ (2022-2027) vorbereitet.

Im bisherigen Umsetzungsprozess zur EG-WRRL wurden die Auswirkungen des Braunkohlenbergbaus im Flusseinzugsgebiet der Elbe bereits betrachtet. Bezüglich der bergbaubedingten Wirkungen der diffusen Stoffeinträge auf die Oberflächenwasserkörper in der Lausitz wurden bisher lediglich Fristverlängerungen gemäß § 29 des WHG in Betracht gezogen. Eine wasserkörperbezogene Betrachtung für diese Einflüsse liegt bisher nicht vor. Ziel des Landesamtes für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg (LBGR) ist es, diesen Ansatz in einem strategischen Hintergrundpapier (StratHGP) für die Spree und Schwarze Elster sowie deren Zuflüsse in der Lausitz umzusetzen.

Der erste Teil des StratHGP wurde im Jahr 2018 erarbeitet. Er umfasste die Grundlagenermittlung, die Erarbeitung methodischer Konzepte, das Erstellen einer Datenbank, ein Geodatenmanagement und die Erarbeitung von Gewässerdatenblättern. Dabei wurden erstmals alle verfügbaren Länder- und Unternehmensdaten, die einen bergbaulichen Bezug haben und bergbauliche Auswirkungen auf die Gewässer der Lausitz beschreiben können, zusammengeführt.

Das Ziel des zweiten Teiles des StratHGP ist die Analyse des Einflusses des Braunkohlenbergbaus auf Fließgewässer sowie auf potenzielle Schutzgüter in den Flusseinzugsgebieten

der Spree und der Schwarzen Elster. Im zweiten Teil wurden Handlungsschwerpunkte ermittelt.

Mit dem dritten Teil soll ein bergbauspezifisches Maßnahmenkonzept zur Verringerung der durch den Braunkohlenbergbau bedingten Stoffeinträge in die Spree, in die Schwarze Elster und in deren Zuflüsse in der Lausitz erarbeitet werden. Das beinhaltet auch eine Bewertung der bisher umgesetzten und geplanten Maßnahmen hinsichtlich der Zielerreichung. In Vorbereitung des flussgebietsbezogenen Maßnahmenprogrammes der Flussgebietsgemeinschaft (FGG) Elbe für den Bewirtschaftungszeitraum von 2021 bis 2027 sind vor allem erforderliche Maßnahmen bis zum Jahr 2027 einschließlich der Unsicherheiten hinsichtlich der Zielerreichung zu ermitteln.

In der vorliegenden Studie wird der aktuelle Arbeitsstand des dritten Teils des StratHGP dargestellt.

Mit der Bearbeitung des Teils 3 wurde das Institut für Wasser und Boden Dr. Uhlmann in Dresden mit Vertrag 2018/027.3 vom 04.06.2019 vom Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg in Cottbus beauftragt.

In der Bearbeitung wurden bereitgestellte und frei verfügbare Daten der Länder Sachsen und Brandenburg sowie der Bergbauunternehmen LMBV, LE-B und LE-K verwendet. Die Bearbeitung des Teils 3 erfolgte unabhängig, nach bestem Wissen und Gewissen, unter Einbeziehung des aktuellen Kenntnisstandes und gültiger Normen sowie ohne Ergebnisweisung durch den Auftraggeber. Die Darlegungen widerspiegeln ausschließlich die Sichtweise des Gutachters.

2 Aufgabenstellung

Das Leistungspaket 3 des strategischen Hintergrundpapiers zu den bergbaubedingten Stoffeinträgen in den Flusseinzugsgebieten Spree und Schwarze Elster ist in zwei Bearbeitungsphasen gegliedert:

1. Phase (2019): Erarbeitung eines bergbauspezifischen Maßnahmenkonzeptes und
2. Phase (2020): Fortschreibung des bergbauspezifischen Maßnahmenkonzeptes.

In der 1. Phase des Leistungspaketes 3 für das strategische Hintergrundpapier wurden die folgenden Schwerpunkte bearbeitet:

- Bewertung der durch die Bergbauunternehmen der Braunkohlenindustrie bereits umgesetzten, in Realisierung oder Planung befindlichen Maßnahmen zur Minderung der bergbaubedingten Stoffeinträge in die Fließgewässer hinsichtlich der Erfordernisse, Eignung, Zielerreichung und Wirtschaftlichkeit.
- Bewertung der durch weitere Akteure (z. B. Länder, Wasser- und Bodenverbände, LTV, Kommunen, Wasserwerksbetreiber) bereits umgesetzten, in Realisierung oder in Planung befindlichen Maßnahmen zur Minderung der bergbaubedingten Stoffeinträge in die Fließgewässer vor dem Hintergrund der Erfordernisse, Eignung, Zielerreichung und Wirtschaftlichkeit.
- Ermittlung weiterer erforderlicher Schwerpunktmaßnahmen in Vorbereitung auf das flussgebietsbezogene Maßnahmenprogramm der FGG Elbe für den Bewirtschaftungszeitraum von 2022 bis 2027. Für diese Maßnahmen sollen Aussagen zur Eignung, Wirtschaftlichkeit und Zielerreichung getroffen werden. Ergänzend sind des Weiteren Schwerpunktmaßnahmen für die Zeit nach 2027 abzuleiten.

In der 2. Phase sollen:

- das bergbauspezifische Maßnahmenkonzept fortgeschrieben,
- die mittel- bis langfristigen Maßnahme konkretisiert und
- die bereits festgelegten Maßnahmen fachgutachterlich begleitet werden.

3 Untersuchungsraum

Der Untersuchungsraum für das strategische Hintergrundpapier erstreckt sich über die Bundesländer Sachsen, Brandenburg und Berlin und hat eine Gesamtfläche von 14.196 km² (Bild 1). Die Überschneidungen des Untersuchungsraumes mit dem Bundesland Sachsen-Anhalt werden aufgrund der geringen Flächenanteile vernachlässigt. Bei der Festlegung des Untersuchungsraums wurden die unterschiedlichen Reichweiten des Transportes von Eisen und Sulfat in den Fließgewässern, die Lage der Herkunftsgebiete aus dem Braunkohlenbergbau (Gewinnungsbergbau, Sanierungsbergbau, Altbergbau) sowie die oberirdischen Flusseinzugsgebiete berücksichtigt.

Die bergbauliche Einflussnahme auf Fließgewässer für Eisen und Sulfat wird räumlich differenziert betrachtet.

Flusseinzugsgebiet der Spree:

- für den Kennwert Eisen bis zum Spreewald (Pegel Leibsch) und
- für den Kennwert Sulfat bis Berlin (Pegel Rahnsdorf).

Flusseinzugsgebiet der Schwarzen Elster:

- für den Kennwert Eisen bis nach Herzberg,
- für den Kennwert Sulfat ist keine Abgrenzung erforderlich.

Der Untersuchungsraum beinhaltet nach Aktenlage (Stand 2019) insgesamt 1.349 Fließgewässer und 552 Fließgewässer-Oberflächenwasserkörper. Für die Bearbeitung wurde der Untersuchungsraum in 36 Teilgebiete gegliedert. Die Gliederung erfolgt unter fachlichen Gesichtspunkten und orientiert sich an den oberirdischen Flusseinzugsgebiete und den Grenzen der Fließgewässer-OWK. Mit der Ausnahme von folgenden drei sehr langen Fließgewässer-OWK wurde dieser Ansatz in LBGR (2020a) durchgehend umgesetzt:

- Malxe/Großes Fließ (DEBB582622_745),
- Schwarze Elster (DEBB538_31) und
- Spree (DEBB582_40).

Von den 36 Teilgebieten liegen acht außerhalb des Lausitzer Braunkohlenreviers:

- Dahme,
- Große Röder,
- Klosterwasser,
- Pulsnitz,
- Spree 1.8,
- Spree 5.8,
- Spree 6.8,
- Spree 8.8.

Für diese acht Teilgebiete wird davon ausgegangen, dass kein unmittelbarer Einfluss des Braunkohlenbergbaus auf den Zustand der Fließgewässer vorliegt. In Abhängigkeit von der Lage dieser Teilgebiete ist ggf. eine Fernwirkung beim Sulfat möglich.

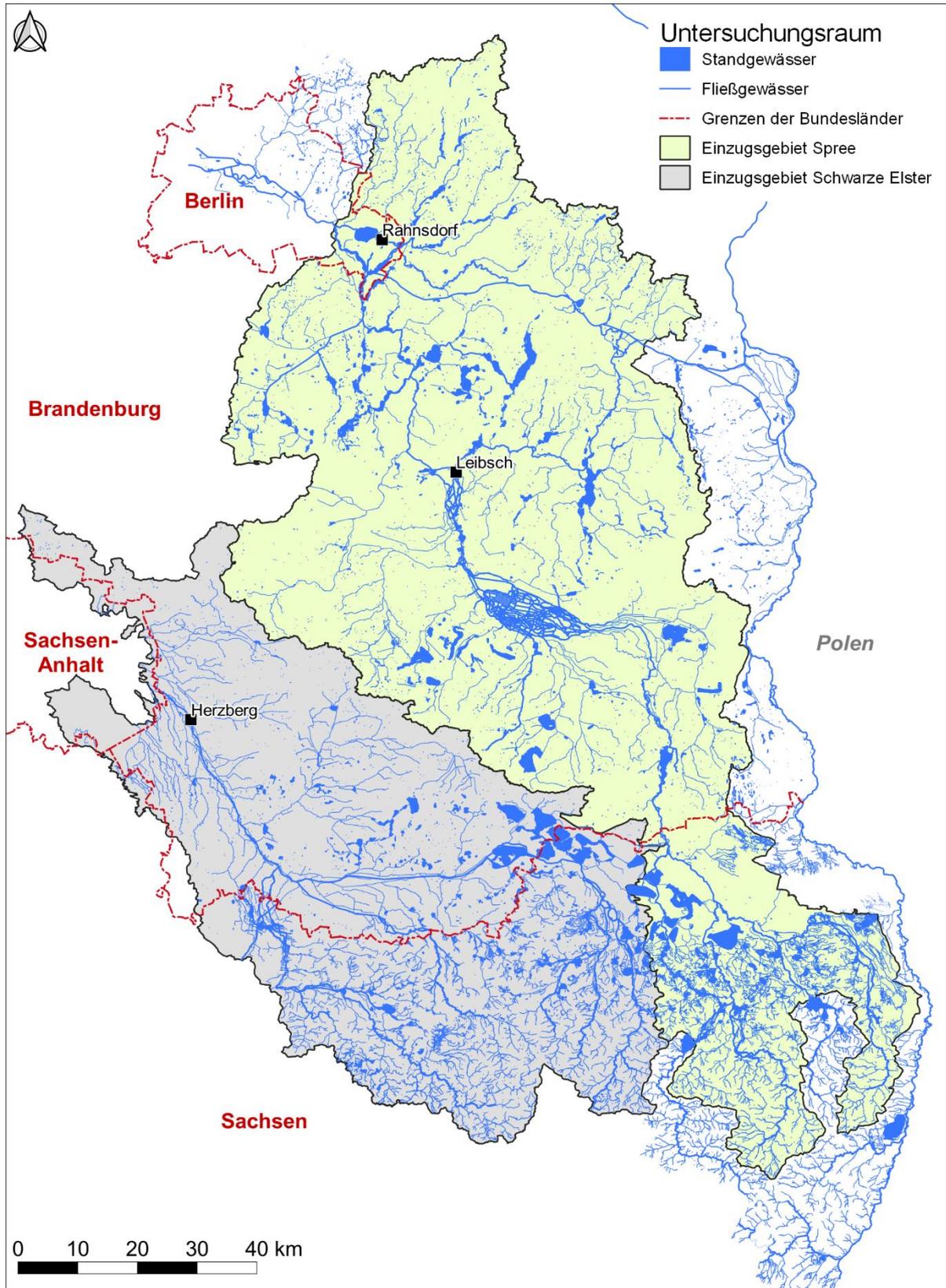


Bild 1: Übersichtskarte des Untersuchungsraumes.

4 Wissensstand zu Maßnahmen

4.1 Begriffe und Konventionen

Das **Glossar** enthält Erläuterungen zu den wichtigsten wiederkehrenden Fachbegriffen, wie sie in der vorliegenden Bearbeitung verwendet werden und wie sie der Gutachter verstanden wissen will. Für das Maßnahmenkonzept sind insbesondere verfahrens- und finanztechnische Begriffe von Bedeutung. Das gilt einerseits für das Verständnis und die Abgrenzung von Prozessen, Verfahren, Technologien und Maßnahmen sowie andererseits für Investitions- und Betriebskosten, Nutzungsdauern von Anlagen etc. Für diese Begriffe gibt es keine allgemein anerkannten Definitionen, und sie werden in diversen Bearbeitungen auch nicht einheitlich verwendet. Ergänzend zu den Begriffsbestimmungen werden im Folgenden auch Konventionen zur einheitlichen Verwendung von Bezugsgrößen und Einheiten im Rahmen dieser Studie vereinbart.

In Bezug auf die **Verfahrenstechnik** wurde folgende Systematik entwickelt (Tabelle 1).

Tabelle 1: Wesentliche verfahrenstechnische Begriffe im Sinne der Bearbeitung.

Begriff	Erläuterung
Prozesse	Natürlich ablaufende oder künstlich initiierte physikalische Vorgänge, chemische Reaktionen oder biologische Metabolismen.
Verfahren	Spezielle Ausgestaltung eines oder mehrerer Prozesse zum Erreichen konkreter Zielvorstellungen, z. B. bei der Wasserbehandlung.
Verfahrensprinzipien	Kriterien zur systematischen Gliederung von Verfahren auf der Basis von grundlegenden Prozessen.
Technologie	Konzeption und Auslegung der anlagentechnischen Umsetzung eines oder mehrerer Verfahren zum Erreichen eines Behandlungszieles.
Maßnahme	Standortkonkretes wasserwirtschaftliches Vorhaben zur Minderung der morphologischen oder stofflichen Belastungen durch den Braunkohlenbergbau in Fließgewässern. Eine Maßnahme kann ein oder mehrere Verfahren bzw. Technologien einschließen.

Unter **Investitionskosten** wird die Gesamtheit der einmaligen Kosten für die Durchführung eines wasserwirtschaftlichen Vorhabens bis zur Inbetriebnahme einer Anlage bzw. bis zum Beginn der Durchführung einer Maßnahme verstanden. Dieser Abschnitt beinhaltet die komplette Ingenieurplanung, den Grundstückserwerb, die erforderlichen Genehmigungsverfahren, Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen, den Bau, den Einfahr- bzw. Testbetrieb, eine ggf. erforderliche verfahrenstechnische Optimierung sowie die Inbetriebnahme. Die bauliche Infrastrukturanbindung einer Anlage wird ebenfalls den Investitionskosten zugerechnet.

Bei komplexen Anlagen auf der Basis mehrerer Verfahren oder Technologien können die Investitions- und Betriebskosten auf räumlich und/oder verfahrenstechnisch eigenständige Anlagenteile bezogen werden. Das gilt auch für ergänzende Anlagen zur Wasserfassung sowie Zuleitung und Ableitung des Roh- und Klarwassers. In solchen Fällen sind diese Anlagenteile explizit abzugrenzen.

Die **Betriebskosten** umfassen die Gesamtkosten, die ab dem Zeitpunkt der Inbetriebnahme für die Unterhaltung und den Betrieb von Anlagen bzw. Maßnahmen anfallen. Das beinhaltet Fixkosten, die unabhängig vom tatsächlichen Betrieb der Anlage sind, wie z. B. die Grundsteuer und den Grundpreis für Medienanschlüsse, und variable Kosten, die von den konkreten Produktionsbedingungen abhängen, wie z. B. Energiekosten für Pumpen oder Rohstoffkosten für NM/FM und FHM. Die Betriebskosten werden in anderen Studien meist als spezifische Kosten oder spezifische Behandlungskosten bezeichnet, wobei diese Begriffe

beim Zitieren von Kostenangaben i. d. R. nicht erläutert werden und auch nicht zwischen den fixen und den variablen Kosten unterschieden wird. Meist werden die spezifischen Behandlungskosten als Kosten pro Kilogramm abgetrenntes Eisen bzw. Sulfat oder seltener pro Kubikmeter behandelten Rohwassers angegeben.

Die Investitions- und Betriebskosten von künftigen Maßnahmen werden in dieser Bearbeitung auf Basis des aktuellen Preisindex (Jahr 2019) ohne Auf- oder Abzinsung oder sonstige ökonomische Faktoren (z. B. Inflationsrate) ausgewiesen. Vorzugsweise wird von bergbauspezifischen Kostenansätzen der LMBV und LE-B ausgegangen.

Die **Nutzungsdauer** von Anlagen kann unter verschiedenen Aspekten angegeben werden. Wichtige Zeithorizonte für die Planung von Anlagen sind in der Praxis die technische und die geplante Nutzungsdauer. Erstere umfasst den Zeitraum, in dem eine Anlage technisch in der Lage ist, ihren Verwendungszweck zu erfüllen. Sie kann durch vorbeugende Instandhaltung verlängert werden. Die geplante oder geschätzte Nutzungsdauer ist der im Zuge der Anlagenplanung angenommene Zeitraum ihrer betrieblichen Nutzung.

Bei der Angabe von Stoffkonzentrationen oder -frachten werden folgende **Konventionen** vereinbart:

- die Angabe der Eisenfracht erfolgt in der Maßeinheit kg/d,
- die Angabe von Sulfatfrachten erfolgt in der Maßeinheit t/a sowie
- die Angaben für Eisen (Konzentrationen, Frachten, Massen, Kubaturen etc.) beziehen sich immer auf Eisen-gesamt, sofern sie nicht näher spezifiziert werden.

4.2 Vorgängerprojekte

Verfahren, Technologien und konkrete Maßnahmen zur Behandlung von bergbaulich beeinflussten Wässern standen in den zurückliegenden zwei Jahrzehnten im Fokus zahlreicher Untersuchungen. Auf die Ergebnisse dieser Vorgängerprojekte wird in der vorliegenden Studie zurückgegriffen, sofern sie für die Minderung der Belastung von Fließgewässern durch Eisen, Sulfat und Versauerung relevant sind. Konkret sind das insbesondere die Teilprojekte (TP) im Rahmen des VODAMIN- und Vita-Min-Projektes sowie weitere Untersuchungen im Auftrag von Behörden oder der LMBV sowie unter Beteiligung der LE-B. Die Bearbeitung des VODAMIN-Projektes erfolgte von 2010 bis 2013. Das thematisch folgende Vita-Min-Projekt wurde im Jahr 2017 begonnen und wird im Jahr 2020 abgeschlossen.

Im Rahmen des durch die EU geförderten, grenzüberschreitenden **VODAMIN**-Projektes wurden u. a. drei Studien zu Reinigungsverfahren für Grund- und Oberflächenwässer im Braunkohlenbergbau durchgeführt, die sich schwerpunktmäßig auf die Verhältnisse des Lausitzer Reviers bezogen. Die Wasserreinigungsverfahren wurden zusammenfassend dargestellt und fachlich erläutert. Innovative Lösungen aus anderen Regionen sollten auf ihren Einsatz in der Lausitz geprüft werden. Dabei waren Kosten-Nutzen-Betrachtungen und genehmigungsrechtliche Aspekte zu berücksichtigen. Es handelt sich im Einzelnen um folgende VODAMIN-Teilprojekte:

- TP 04: Reinigungsverfahren von Grundwasser und Oberflächengewässern, veröffentlicht in LfULG (2012),
- TP 09: Grubenwasserreinigung – Beschreibung und Bewertung von Verfahren, veröffentlicht in LfULG (2013b) sowie
- TP 14: Verfahren zur Fassung, Ableitung und Reinigung bergbaulich kontaminierter Grundwässer, veröffentlicht in LfULG (2013a).

Ziel der Arbeiten im Projekt **Vita-Min** war es, das bestehende Wissen zusammenzufassen, aktuelle nationale und internationale Forschungen auf ihre Anwendbarkeit zu prüfen und damit zu einem effektiven Sanierungsprozess beizutragen. Die folgenden drei Teilprojekte sind für die vorliegende Studie von Bedeutung:

- TP 1.1: Analyse des anthropogen und natürlich bedingten Zutrittes von Eisen und Sulfat in bergbaubeeinflusste Fließgewässer, veröffentlicht in LfULG (2019b),
- TP 1.8: Reinigungsverfahren sowie wirtschaftliche Bewertung und Selektion der Best-Praxis-Verfahren gegen Acid-Mine-Drainage, veröffentlicht in LfULG (2019a) sowie
- TP 1.9: Recherche und Wirtschaftlichkeit (mikro-)biologischer Verfahren zur Reinigung von Bergbauwässern, veröffentlicht in LfULG (2018).

In den VODAMIN- und Vita-Min-Projekten erfolgte eine umfassende Sichtung internationaler und nationaler Veröffentlichungen sowie unveröffentlichter nationaler Studien, die den Charakter von sogenannten Metastudien haben. Neue prozess- oder verfahrenstechnische Untersuchungen wurden nicht angestellt. Der Fokus lag auf bergbaulich beeinflussten Grund- und Oberflächenwässern. Neben Eisen, Sulfat und dem pH-Wert wurden weitere Kennwerte wie Ammonium, bergbautypische Metalle- und Halbmetalle, u. a. Cadmium, Arsen, Blei und Zink, betrachtet. Die Aufgabenstellung dieser Vorgängerprojekte war damit weiter gefasst als in der vorliegenden Bearbeitung. Die Bearbeiter der Vita-Min-Studien hatten bereits eine Vorauswahl der potenziell anwendbaren Verfahren/Technologien getroffen und die Detailliertheit der Beschreibungen entsprechend angepasst. Steckbriefe (StB) wurden i. d. R. für Verfahren und Technologien mit konkretem Anwendungspotenzial für die Bergbausanierung erstellt. Soweit verfügbar, wurden Investitions- und Betriebskosten aus Praxisbeispielen aufgeführt.

Die VODAMIN- und Vita-Min-Studien basieren v. a. auf der Auswertung von Primärliteratur mit den daraus resultierenden Nachteilen hinsichtlich der Datenqualität. Das betrifft einerseits die eingeschränkte Nachvollziehbarkeit der getroffenen Aussagen und andererseits fehlende technische, technologische und finanzielle Angaben, wie z. B.:

- Bandbreiten für die chemische Beschaffenheit der Rohwässer,
- Störstoffe mit entsprechenden Konzentrationsangaben,
- Angaben zum Volumenstrom der Rohwässer,
- Reinigungsleistung,
- anfallende Reststoffe sowie
- Investitions- und Betriebskosten.

Die beschriebenen Verfahren, Technologien und Maßnahmen sind zudem sehr inkohärent, sowohl zeitlich und technisch als auch hinsichtlich der finanziellen Aspekte. So datiert die Primärliteratur teilweise Jahrzehnte zurück. Die beschriebenen Anlagen weisen ganz unterschiedliche Entwicklungsstände auf (siehe Techniklausel in Abschn. 5.2.1). Die Kostangaben sind häufig nicht aktuell, z. T. in Fremdwährungen und oft ohne ausreichende Information zur Bezugsgröße (Anlage, Anlagenteile, Menge der Einsatzstoffe etc.). Diese Nachteile sind überwiegend der unzureichenden Datenqualität der Primärliteratur geschuldet und können folgendermaßen zusammengefasst werden:

- keine konsistente Datengrundlage,
- die technischen und verfahrenstechnischen Angaben sind nicht ausreichend bewertungsorientiert und
- die Kostangaben sind nicht belastbar.

Für die vorliegende Bearbeitung wurde deshalb ein anderer Ansatz gewählt. Die Kosten sollen auf der Grundlage zeitnaher Informationen der Bergbauunternehmen im Lausitzer

Braunkohlenrevier zu umgesetzten und geplanten Maßnahmen zur Verbesserung der Fließgewässergüte erhoben werden. Diese Herangehensweise orientiert sich an der Studie LfULG (2015) zur Maßnahmenplanung und Bestimmung der Verhältnismäßigkeit von Maßnahmen für bergbaulich beeinflusste Oberflächenwasserkörper im sächsischen Teil des Lausitzer Braunkohlenreviers.

Der Ermittlung von Kosten für Maßnahmen zur Überwindung nachteiliger Einflüsse des Braunkohlenbergbaus auf die Beschaffenheit von Grundwasser und von Oberflächengewässern liegen unter anderen folgende zwei Erwägungen zugrunde:

1. die Vorstellung, aus einer Reihe gleichwertig geeigneter Maßnahmen für eine konkrete Problemstellung, die jeweils kostengünstigsten Maßnahmen auswählen zu können (Prinzip der Wirtschaftlichkeit) sowie
2. Daten zur Bewertung der Verhältnismäßigkeit auf monetärer Grundlage zur Verfügung zu stellen (Prinzip der Verhältnismäßigkeit).

4.3 Behandlung bergbaubeeinflusster Fließgewässer

4.3.1 Grundlegende Prozesse, Verfahrensprinzipien und Behandlungsziele

Für die potenziellen Verfahren zur Minderung der bergbaubedingten Beeinflussung von Fließgewässern durch Eisen, Sulfat und Versauerung wurde eine Vorauswahl anhand der Erfahrungen in den deutschen Braunkohlenrevieren unter Berücksichtigung der Untersuchungen in den Vorgängerprojekten, vor allem LfULG (2015) und LfULG (2019a), getroffen. Die Gliederung orientiert sich an grundlegenden Prozessen und folgenden übergeordneten Verfahrensprinzipien:

- Mengen- und Beschaffenheitssteuerung,
- physikalische Behandlungsverfahren, vor allem
 - hydraulische Verfahren,
 - mechanische Verfahren,
- chemische Behandlungsverfahren und
- biologische Behandlungsverfahren.

Diese Zuordnung von Verfahren kann nicht in allen Fällen eindeutig vorgenommen werden, da sie häufig mehrere elementare Prozesse kombinieren. Die Adsorptionsverfahren wurden beispielsweise den physikalischen Behandlungsverfahren zugeordnet, obwohl sie sowohl auf physikalischen als auch auf chemischen Prozessen beruhen können. Die passive Eisensedimentation ist beispielsweise ein überwiegend physikalischer Prozess und die Eisenfällung mit Flockungsmitteln (FM) und Flockungshilfsmittel (FHM) ein physikochemischer Prozess. Die Gliederung nach der Tabelle 2 erfüllt jedoch den beabsichtigten praktischen Zweck.

Die Behandlungsziele der Verfahren wurden unter Berücksichtigung der spezifischen Aufgabenstellung dieser Studie hinsichtlich der Kennwert Eisen, Sulfat und Versauerung bzw. Acidität (Aci) bewertet (Tabelle 2).

Tabelle 2: Gliederung der Behandlungsverfahren nach Verfahrensprinzipien, ihre verfahrenstechnische Untersetzung und Auslegung sowie vorrangige Behandlungsziele im Sinne dieser Studie.

Verfahrensprinzip	Verfahrenstechnische Untersetzung	Verfahrenstechnische Auslegung	Vorrangiges Behandlungsziel			
			Fe	SO ₄	AcI	
Mengen- und Beschaffenheitssteuerung	Flussgebietsbewirtschaftung	Wasserüberleitung, Wasserspeicherung		■	□	
Hydraulische Verfahren	Dichtwand	Schlitzfräs- und Schlitzgreifverfahren	■	□	□	
	Infiltration	Infiltrationsriegel	□	■		
		Abfangen	Graben	■		□
			Dränage	■		□
		Brunnenriegel	■		□	
Physikalische Behandlungsverfahren	Filtrationsverfahren	Langsamsandfiltration	■			
		Schnellfiltration	■			
		Filtration über Decarbolith	■		□	
	Adsorptionsverfahren	Ionenaustausch	□	■		
		Aktivkohle	■			
		Zeolith	■			
	Membranverfahren	Membranelektrolyse	□	■	■	
Nanofiltration			■			
Chemische Behandlungsverfahren	Chemische Neutralisation	Branntkalk CaO	□		■	
		Löschkalk Ca(OH) ₂	□		■	
		Kalkstein CaCO ₃	□		■	
		Soda Na ₂ CO ₃	□		■	
		Natronlauge NaOH	□		■	
	Pufferung	Kohlendioxid CO ₂			■	
	Aerobe Verfahren der Eisenfällung	Eisenoxidation	■			
		Eisensedimentation passiv	■			
		Eisenfällung mit FM/FHM	■			
		Schwermannitfällung	■	□		
Aerobe Verfahren der Sulfatfällung	Bariumsulfatfällung		■			
	Ettringitfällung		■			
Biologische Behandlungsverfahren	Anaerobe Verfahren der Sulfatreduktion	Heterotrophe Sulfatreduktion	□	□	■	
		Autotrophe Sulfatreduktion	□	□	■	

Erläuterung:

■ ... primäres Behandlungsziel

□ ... sekundäres Behandlungsziel

Im Folgenden werden die Verfahren zur Verbesserung der Wasserbeschaffenheit von Fließgewässern beschrieben. Dabei werden, soweit möglich, die speziellen Verhältnisse und Erfahrungen im Lausitzer Braunkohlenrevier berücksichtigt. Weiterführende Informationen zu den Einsatzbereichen der Verfahren und Technologien werden im Abschnitt 5.2.3 gegeben.

4.3.2 Mengen- und Beschaffenheitssteuerung

Zur Steuerung und Kontrolle der Flutung von Bergbaufolgeseen im Lausitzer Braunkohlenrevier wurde im Jahr 2000 die Flutungszentrale Lausitz (FZL) gebildet. Unter Nutzung moderner Rechen- und Kommunikationstechnik sowie speziell entwickelter Modelle steuert diese Organisationseinheit der LMBV länderübergreifend die Wassermengen und die Wasserbeschaffenheit in den Flussgebieten (**Flussgebietsbewirtschaftung**) der Spree, Schwarzen Elster und Lausitzer Neiße (Bild 2). Sie agiert im Rahmen wasserrechtlicher Genehmigungen und der Bewirtschaftungsgrundsätze der länderübergreifenden Arbeitsgruppe (AG) „Flussgebietsbewirtschaftung Spree-Schwarze Elster“.

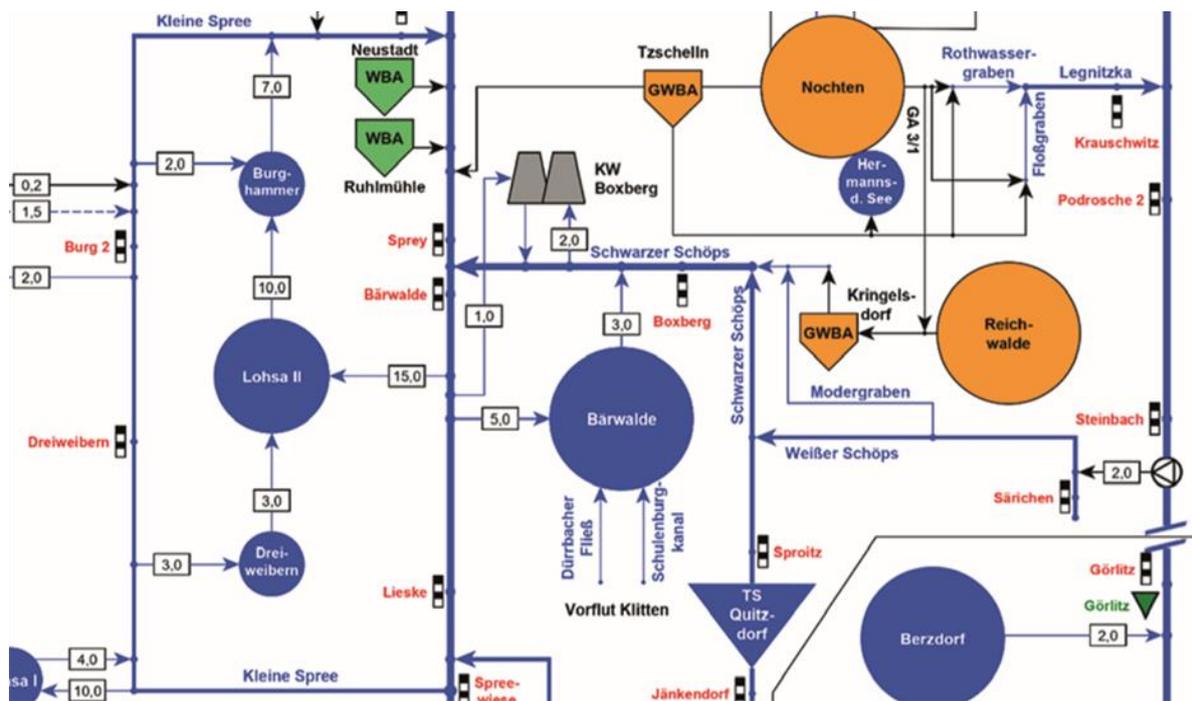


Bild 2: Flutungszentrale Lausitz: Ausschnitt aus der Netzstruktur der oberirdischen Gewässer im Lausitzer Braunkohlenrevier, Quelle: LMBV.

Neben der Entwicklung der Bergbaufolgeseen rücken die Ausleitungen aus den Bergbaufolgeseen in die Fließgewässer zunehmend in den Vordergrund. Die FZL orientiert sich dabei an den in dieser Arbeitsgruppe erarbeiteten und abgestimmten Immissionsrichtwerten für ausgewählte bergbaurelevante Beschaffenheitskennwerte, hier insbesondere für Eisen, Sulfat und den pH-Wert (siehe Abschn. 5.1.2).

4.3.3 Hydraulische Verfahren

Die hydraulischen Verfahren dienen dem Abfangen stark belasteter Grundwasserströme, z. B. diffuser Eiseneinträge in Fließgewässer, der Verhinderung bzw. maßgeblichen Minderung derselben durch Unterbindung einer Grundwasserströmung (Dichtwand) oder durch Stabilisierung des Wasserhaushaltes (Infiltration und Versickerung). Die hydraulischen Verfahren können damit prinzipiell für alle drei Beschaffenheitskennwerte wirksam werden.

4.3.4 Physikalische Behandlungsverfahren

4.3.4.1 Filtrationsverfahren

Durch Filtrationsverfahren werden gelöste und partikuläre Wasserinhaltsstoffe zurückgehalten. Die Verfahren sind deshalb auch zur Abscheidung von Eisenhydroxidflocken geeignet.

Bei der **Langsandsandfiltration** durchströmt das zu reinigende Rohwasser einen porösen Körper, wobei mehrere Filtrationsprinzipien zur Wirkung kommen:

- die Oberflächenfiltration (Siebwirkung an der Oberfläche der Filterschüttung),
- die Kuchenfiltration (Filtrationswirkung im anwachsenden Filterkuchen) und
- die Tiefenfiltration (Ablagerung von Partikeln im Porenraum des Filters).

Die Oberflächenfiltration geht bei entsprechender Betriebsdauer des Filters in die Kuchenfiltration über. Als Filtermaterial für Eisenhydroxidflocken sind natürliche, chemisch inerte Mittel- bis Grobsande geeignet. Die Filtration erfolgt unter Nutzung der natürlichen hydraulischen Gradienten. Aufgrund einer begrenzten hydraulischen Flächenbelastung der Langsandsandfilter sind entsprechend große Filterflächen erforderlich. Aufgrund der voluminösen Ablagerungen ist die Tiefenfiltration zur Abscheidung von Eisenhydroxidflocken nur begrenzt geeignet.

Die flächenspezifische Leistung von Sandfiltern kann durch hydraulischen Druck deutlich erhöht werden. Diese sogenannte **Schnellfiltration** wird in geschlossenen Behältern mit Druckstufen bis 10 bar durchgeführt. Die Filter werden automatisch rückgespült.

Decarbolith ist eine Produktbezeichnung für halbgebrannten Dolomit ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgO}$). Es wird in der Trinkwasseraufbereitung als chemisch reagierendes Filtermaterial in Festbettfiltern zur Entsäuerung und Filtration von Grund- und Oberflächenwässern eingesetzt, ggf. in Verbindung mit einer Enteisung und Entmanganung.

4.3.4.2 Adsorptionsverfahren

Unter Adsorption wird in der Wasserbehandlung allgemein die Entfernung von gelösten Wasserinhaltsstoffen durch Anlagerung an die Oberfläche von Feststoffen verstanden. Das Prinzip findet u. a. bei **Ionenaustauschverfahren** Anwendung, wo Ionen des zu behandelnden Wassers an den funktionellen Gruppen der Austauscheroberflächen durch andere Ionen in äquivalenter Menge ersetzt werden. Verfahrensabhängig können damit u. a. Schwer- und Halbmetalle, z. B. Eisen, Arsen, Cadmium, Nickel und Zink, sowie Ammonium abgetrennt werden. Eine Sulfatabtrennung ist mit Anionenaustauschern möglich.

In technischen Anwendungen der Adsorptionsverfahren kommen u. a. poröse **Kunsthharze** und Zeolithe zum Einsatz, wobei die verschiedenen Ionenaustauscher ladungsspezifisch (Kationenaustauscher, Anionenaustauscher) und selektiv auf bestimmte Kationen und Anionen wirken. **Zeolithe** gehören zur Mineralgruppe der Gerüstsilikate. Sie kommen in der Natur in abbauwürdigen Mengen vor, können aber auch synthetisch hergestellt werden. Infolge ihrer besonderen Kristallstruktur, die durch offene Kanäle gekennzeichnet ist, verfügen sie über eine sehr große innere Oberfläche, die durch Wassermoleküle und Kationen (z. B. Natrium) besetzt sind. Diese Kationen können gegen andere Kationen ausgetauscht werden. Organische, aber auch anorganische Spurenstoffe lassen sich durch Adsorption an körniger oder pulverförmiger **Aktivkohle** aus dem Wasser entfernen.

4.3.4.3 Membranverfahren

Die **Membranelektrolyse** ist ein elektrochemisches Wasseraufbereitungsverfahren, bei dem die Elektrolyse mit einem ionenselektiven Membran-Trennprozess gekoppelt wird. Sie kann zur Behandlung saurer, stark sulfathaltiger Rohwässer eingesetzt werden. Dabei kommt es im Kathodenraum zur Anhebung des pH-Wertes und Fällung von Kationen, z. B. Eisen und Aluminium, während Sulfat durch die anionenselektive Membran in den Anodenraum wandert. Zur Verhinderung der Fällung der Hydroxide von Calcium und Magnesium kann in den Kathodenraum Kohlendioxid injiziert werden. Bedingt durch die im Vergleich zu den Sulfationen geringere Membranpermeabilität der Hydrogencarbonationen verbleiben diese im aufbereiteten Wasser, das somit neben geringeren Sulfatkonzentrationen zusätzlich durch eine gute Pufferung gekennzeichnet ist.

Bei der **Nanofiltration** wird das zu behandelnde Wasser bei hohen Drücken von etwa 3 bis 20 bar, LfULG (2019a), durch semipermeable Membranen gepresst, Damit ist eine Abtrennung von Wasserinhaltsstoffen im Größenbereich von etwa 1 bis 10 Nanometer möglich, wobei der Rückhalt auf der Siebwirkung und auf Abstoßungseffekten der geladenen Membran beruht. Mit dem Verfahren lassen sich u. a. zweiwertige Sulfat-, Calcium- und Magnesiumionen sowie größere einwertige Ionen von Schwermetallen abtrennen. Diese Stoffe reichern sich im Konzentrat an, das weiteren Behandlungsschritten (z. B. Kristallisation und Fällung von Gips) unterzogen werden muss.

4.3.5 Chemische Behandlungsverfahren

4.3.5.1 Chemische Neutralisation

Die Neutralisation saurer und versauerungsdisponierter Bergbauwässer erfolgt standardmäßig durch Zugabe alkalischer Stoffe. Zum Einsatz kommen Branntkalk CaO, Kalkhydrat Ca(OH)₂, Kalksteinmehl CaCO₃, Soda Na₂CO₃ und seltener Natronlauge NaOH (Gleichung 1). Die Reaktionen des Branntkalks, Löschkalks und der Natronlauge führen aufgrund des fehlenden Hydrogencarbonatpuffers bereits bei geringer Überdosierung zu sehr hohen pH-Werten. Durch Kalkstein und Soda wird im behandelten Wasser ein Hydrogencarbonatpuffer aufgebaut. Die Löslichkeit von Kalkstein ist deutlich schlechter als die der anderen Neutralisationsmittel. Die Löslichkeit kann durch entsprechende technologische Vorbereitung (z. B. Feinmahlen zum Kalksteinmehl) und Ergänzungen (aktive Einmischung des NM) verbessert werden.

Gleichung 1: Chemische Neutralisation mit Branntkalk, Löschkalk, Calciumkarbonat, Soda und Natronlauge.

$2\text{H}^+ + \text{CaO} \rightarrow \text{Ca}^{2+} + \text{H}_2\text{O}$
$2\text{H}^+ + \text{Ca}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{Ca}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O}$
$\text{H}^+ + \text{CaCO}_3 \rightarrow \text{Ca}^{2+} + \text{HCO}_3^-$
$\text{H}^+ + \text{Na}_2\text{CO}_3 \rightarrow 2\text{Na}^+ + \text{HCO}_3^-$
$\text{H}^+ + \text{NaOH} \rightarrow \text{Na}^+ + \text{H}_2\text{O}$

Mit der Anhebung des pH-Wertes werden die Oxidation von Eisen(II) zu Eisen(III), die Hydrolyse des entstehenden Eisen(III) zu Eisen(III)hydroxid und dessen Fällung befördert (s. Gleichung 3). In Abhängigkeit vom pH-Wert werden auch Aluminium und weitere Metalle abgeschieden.

4.3.5.2 Pufferung

Viele neutralisierte Bergbaufolgeseen im Lausitzer Braunkohlenrevier unterliegen einer Rückversauerung, die durch den meist langfristig anhaltenden Eintrag von Acidität mit dem zuströmenden Grundwasser hervorgerufen wird. Der Rückversauerung kann im begrenzten Maße durch **Pufferung mit CO₂** begegnet werden. Damit werden die Wasserbeschaffenheit stabilisiert und die Behandlungsintervalle verlängert. Die CO₂-Begasung des Seewassers baut einen Hydrogencarbonatpuffer auf, der in neutralen Seen das bestimmende Puffersystem darstellt (Gleichung 2):

Gleichung 2: Dissoziation der Kohlensäure.

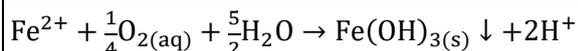


Die CO₂-Begasung kann mit dem Eintrag der Neutralisationsmittel (Branntkalk, Kalkhydrat, Kalksteinmehl etc.) kombiniert werden oder separat nach der Neutralisation erfolgen. Alternativ zu den handelsüblichen Neutralisationsmitteln können zur Neutralisation auch Reststoffe mit alkalischen Eigenschaften verwendet werden, wie z. B. Kraftwerksaschen oder Eisenhydroxidschlämme.

4.3.5.3 Aerobe Verfahren der Eisenfällung

Voraussetzung für eine hochgradige Abscheidung von Eisen ist die vollständige **Oxidation** des zweiwertigen Eisens (Gleichung 3). Für die Eisenabscheidung gibt es zahlreiche Möglichkeiten. Bei der **unterirdischen Enteisung** wird ein Teilstrom des behandelten Wassers, der eisenfrei ist, mit Sauerstoff angereichert und in den Untergrund reinfiltriert. Die Oxidation des Eisens erfolgt im Untergrund. Das Eisen legt sich als dreiwertiges Eisenoxidhydrat an das Korngerüst an und bietet hier zusätzliche Adsorptionsplätze für das zweiwertige Eisen im Grundwasser. Die Oxidation erfolgt als Oberflächenreaktion, wodurch sich die vergleichsweise hohe Dichte der Eisenkrusten am Korngerüst begründet.

Gleichung 3: Summarische Oxidation, Hydrolyse und Fällung von Eisen.

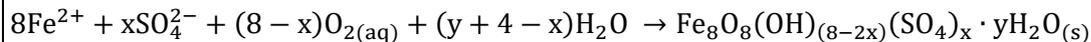


Auch in den Oberflächengewässern liegen quellennah beträchtliche Anteile des Eisens in zweiwertiger gelöster Form vor (Klarwassereisen). Erst im Zuge der Oxidation des Eisens und seiner Umwandlung in Eisenhydroxid wird es durch Sedimentation in den Gewässern partikulär abgeschieden. Sowohl die Oxidation als auch die Sedimentation ordnen sich Exponentialfunktionen unter. Hohe Umsatz- und Abscheidegrade werden nur bei einer entsprechend langen Verweilzeit erreicht. In Flüssen ist die Abscheidung von Eisen deshalb meist sehr ineffizient. Hohe Abscheideraten werden in Teichen, Seen und Talsperren mit einer mehrwöchigen Verweilzeit und unter strömungsberuhigten Bedingungen erreicht. Im ungünstigsten Fall ist das Wasser versauerungsdisponiert. Bei niedrigen pH-Werten bleibt das Eisen als echt gelöstes dreiwertiges Ion in Lösung und wird nur anteilig abgeschieden.

Der langsamste und damit der prozesslimitierende Schritt der natürlichen Eisenabscheidung ist meist die Oxidation nach der Gleichung 3. Die Oxidation kann durch Erhöhung des pH-Wertes stark beschleunigt werden. Dieser Zusammenhang wird in einer GWRA bzw. GWBA genutzt. Durch den Einsatz von **Neutralisationsmitteln** (Kalkung) wird die Oxidation stark beschleunigt. Diese Einsatzstoffe werden deshalb auch als **Flockungsmittel** (FM) bezeichnet. Außerdem wird einer Versauerung entgegengewirkt. Die Anwendung von **Flockungshilfsmitteln** (FHM) beschleunigt den Sedimentationsprozess.

Die spontane chemische Ausfällung von **Schwertmannit** unter aeroben Verhältnissen aus pH-sauren, stark eisen- und sulfathaltigen Wässern kann sowohl in technischen Anlagen als auch im Naturraum genutzt werden (Gleichung 4). Bei anaeroben, versauerungsdisponierten Wässern ist eine vorgeschaltete Belüftung erforderlich. Mit dem Schwertmannitverfahren sind Reinigungsleistungen bis 50 % für Eisen, eine anteilige Mitfällung von Sulfat bis etwa 10 % sowie eine fast vollständige Abscheidung von Arsen erreichbar. Das Verfahren basiert auf der Eisenoxidation und -hydrolyse sowie der Bildung und chemischen Ausfällung von Schwertmannit. Die Prozesse laufen bei pH-Werten um $\text{pH} \approx 3$ auf dominant abiotischem Weg ab. Die anfallenden Schwertmannitschlämme sind weitgehend monomineralisch, im Unterschied zu Eisenhydroxidschlämmen (siehe oben) vergleichsweise kompakt und stark sauer.

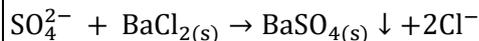
Gleichung 4: Ausfällung von Schwertmannit.



4.3.5.4 Sulfatfällung

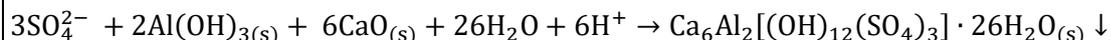
Die meisten Sulfatsalze sind gut wasserlöslich. Eine Ausnahme bildet Bariumsulfat BaSO_4 . Im Konzentrationsbereich der Sulfatbelastung im Grundwasser und in den Fließgewässern des Braunkohlenbergbaus wäre allein die **Bariumsulfatfällung** nach der Gleichung 5 chemisch geeignet, die Sulfatkonzentration durch Fällung auf jedes gewünschte Maß zu mindern.

Gleichung 5: Sulfatfällung mit Bariumchlorid.



Die **Ettringitfällung** ist ein Verfahren zur aeroben Sulfatfällung aus dem Grund- oder Oberflächenwasser in technischen Anlagen. Das Verfahren basiert auf der Ausfällung von schwerlöslichem Ettringit nach der Gleichung 6 durch Anhebung des pH-Wertes mit Branntkalk oder Kalkhydrat auf Werte von etwa $\text{pH} \approx 11 \dots 12$ und den Zusatz von reaktivem Aluminiumhydroxid oder Calciumaluminaten unter mechanischer Vermischung. Das Prozesswasser muss nachfolgend durch CO_2 -Zugabe neutralisiert werden, wobei sich ein Kalkschlamm mit Calcit CaCO_3 bildet.

Gleichung 6: Ettringitfällung.



4.3.6 Biologische Behandlungsverfahren

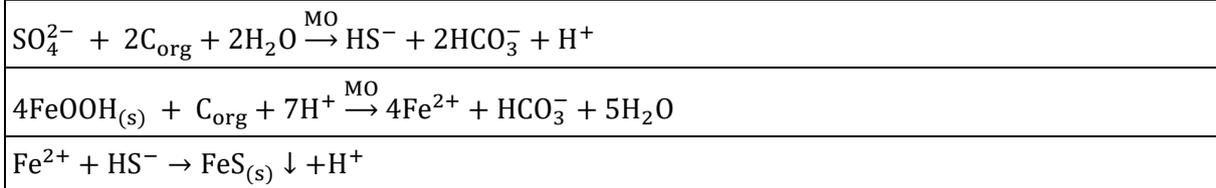
4.3.6.1 Heterotrophe Sulfatreduktion

Die heterotrophe Sulfatreduktion ist ein anaerober Abbauprozess organischer Substanz durch Mikroorganismen (MO), sogenannte sulfatreduzierende Bakterien (SRB). Dieser Prozess ist unter anoxischen Milieubedingungen in der Natur universell und hat geologische Bedeutung.

Das Prinzip der Sulfatreduktion beruht auf der chemischen Reduktion von Sulfatschwefel mit der Oxidationszahl $\text{OZ} = +6$ zu Disulfidschwefel mit der Oxidationszahl $\text{OZ} = -2$. Diese starke Redoxreaktion mit $\Delta\text{OZ}(\text{S}) = -8$ hat gleichzeitig eine starke Säure-Basen-Tönung. Durch den Abbau einer starken Säure (Schwefelsäure H_2SO_4) zu einer schwachen Säure (Schwefelwasserstoff H_2S) wird bei dieser Redoxreaktion Alkalinität produziert (Gleichung 7 oben). Diese Redoxreaktion verläuft natürlicherweise in einem stark anoxischen Milieu. Sauerstoff und Nitrat stören die Sulfatreduktion. Sofern dreiwertiges Eisen vorhanden ist, wird dieses beiläufig mit reduziert (Gleichung 7 Mitte mit $\Delta\text{OZ}(\text{Fe}) = -1$). Das zweiwertige Eisen dient als

Bindungspartner für den reduzierten Schwefel. Durch die Ausfällung von Eisenmonosulfiden werden die wichtigsten Reaktionspartner zudem aus dem Wasser entfernt (Gleichung 7 unten).

Gleichung 7: Heterotrophe Sulfatreduktion, Eisenreduktion und Fällung von Eisenmonosulfid.

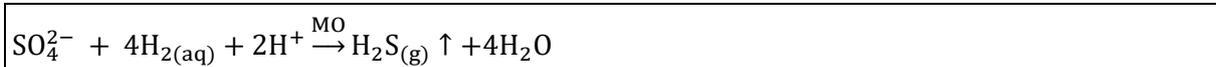


Wasserbehandlungssysteme, die zur Verringerung der Acidität sowohl auf der Kalklösung als auch auf der Sulfatreduktion beruhen, werden als reduzierende und Alkalinität produzierende Systeme (kurz: RAPS) bezeichnet. Da am Prozess der Sulfatreduktion Mikroorganismen beteiligt sind, wird auch der Begriff biogene Alkalinitätsproduktion verwendet.

4.3.6.2 Autotrophe Sulfatreduktion

Die Sulfatreduktion kann in technischen Reaktoren im anoxischen Milieu auch als mikrobiell katalysierte Redoxreaktion mit Wasserstoff als Reduktionsmittel (Elektronendonator), als sogenannte autotrophe Sulfatreduktion, geführt werden, Bilek et al. (2007). Bei der autotrophen Sulfatreduktion ist der Wasserstoff das Reduktionsmittel genutzt (Gleichung 8). Sofern der Redoxreaktion keine geeigneten Reaktionspartner, wie z. B. Eisenoxide, zur Seite gestellt werden, entsteht Schwefelwasserstoff.

Gleichung 8: Autotrophe Sulfatreduktion.



5 Handlungsgrundlagen

5.1 Rechtlicher Rahmen

5.1.1 Rechtsnormen

5.1.1.1 Umweltziele, Maßnahmenprogramme und Bewirtschaftungspläne für OWK

Am 22.12.2000 ist die Wasserrahmenrichtlinie der Europäischen Gemeinschaft (EG-WRRL) in Kraft getreten. Sie gibt den Ordnungsrahmen für den Schutz von Binnenoberflächengewässern, Übergangsgewässern, Küstengewässern und des Grundwassers vor. Im Artikel 4 dieser Richtlinie werden als Umweltziele für Oberflächengewässer die Verhinderung einer Zustandsverschlechterung, das Erreichen eines guten ökologischen Zustands bzw., für alle künstlichen und erheblich veränderten Wasserkörper, eines guten ökologischen Potenzials und eines guten chemischen Zustands bis Ende 2015 genannt. Außerdem sollen die Mitgliedstaaten die notwendigen Maßnahmen ergreifen, um die Verschmutzung durch prioritäre Stoffe schrittweise zu reduzieren und die Einleitungen, Emissionen und Verluste prioritärer gefährlicher Stoffe zu beenden oder schrittweise einzustellen, EG-WRRL (2000).

Wichtige Instrumente zum Erreichen dieser Ziele sind die Bewirtschaftungspläne und Maßnahmenprogramme (MNP) auf Ebene der Flussgebietseinheiten. Der erste sechsjährige Bewirtschaftungszeitraum (BWZ) begann im Jahr 2009. Derzeit werden die Bewirtschaftungspläne und Maßnahmenprogramme des zweiten BWZ (2016-2021) umgesetzt und gleichzeitig der dritte BWZ (2022-2027) vorbereitet.

Die Umsetzung der Anforderungen der EG-WRRL in Deutschland erfolgte im Hinblick auf Fließgewässer im Wesentlichen durch das Wasserhaushaltsgesetz (WHG) und durch die Oberflächengewässerverordnung (OGewV).

Nach § 27 WHG (2018) sind oberirdische Gewässer, soweit sie nicht als künstlich oder erheblich verändert eingestuft sind, so zu bewirtschaften, dass eine Verschlechterung ihres ökologischen und chemischen Zustands vermieden wird (Verschlechterungsverbot) und gleichzeitig ein guter ökologischer und ein guter chemischer Zustand erhalten oder erreicht werden (Verbesserungsgebot). Oberirdische Gewässer, die als künstlich oder erheblich verändert eingestuft werden, sind so zu bewirtschaften, dass eine Verschlechterung ihres ökologischen Potenzials und ihres chemischen Zustands vermieden wird und gleichzeitig ein gutes ökologisches Potenzial und guter chemischer Zustand erhalten oder erreicht werden.

5.1.1.2 Guter ökologischer Zustand und gutes ökologisches Potenzial von OWK

Die methodischen Vorgaben der EG-WRRL zur Einstufung des ökologischen Zustands bzw. des ökologischen Potenzials von Oberflächengewässern werden in Deutschland durch die Verordnung zum Schutz der Oberflächengewässer (OGewV - Oberflächengewässerverordnung) mit konkreten Kriterien untersetzt.

Für die Einstufung des ökologischen Zustandes bzw. des ökologischen Potenzials eines Oberflächenwasserkörpers sind nach § 5 Abs. 4 OGewV (2016) die biologischen Qualitätskomponenten (QK) nach Anl. 3 Nr. 1 maßgebend. Bei der Bewertung der biologischen QK sind die hydromorphologischen QK nach Anl. 3 Nr. 2 OGewV (2016) sowie die entsprechenden allgemeinen physikalisch-chemischen QK (ACP) nach Anl. 3 Nr. 3 OGewV (2016) in Verbindung mit der Anl. 7 OGewV (2016) unterstützend heranzuziehen.

Für die Ableitung von bergbauspezifischen Maßnahmen im Rahmen der vorliegenden Studie sind die ACP nach Tabelle 3 für den guten ökologischen Zustand und das gute ökologische Potenzial von Fließgewässern relevant, Anl. 7 Nr. 2.1 OGeWV (2016). Die Spannweiten der Orientierungswerte ergeben sich aus den unterschiedlichen Anforderungen an die verschiedenen Fließgewässertypen entsprechend Anl. 1 Nr. 2.1 OGeWV (2016). Die Orientierungswerte ausgewählter bergbautypischer ACP für die Fließgewässertypen des Untersuchungsraumes sind in der Tabelle 4 aufgeführt.

Tabelle 3: Spannweiten ausgewählter bergbautypischer ACP zur Einstufung des guten ökologischen Zustands bzw. des guten ökologischen Potenzials der Fließgewässer im Untersuchungsraum.

Kenngroße	Wert	Einheit	Statistische Kenngroßen und Geltungsbereich
Eisen	≤ 0,7 bis ≤ 1,8	mg/L	(1)
Sulfat	≤ 75 bis ≤ 200	mg/L	(1) (4)
pH-Wert	5,5 bis 8,5	---	(2) (3)
Ammonium-Stickstoff	≤ 0,1 bis ≤ 0,2	mg/L	(1)

- (1) Mittelwert als arithmetisches Mittel aus den Jahresmittelwerten von maximal drei aufeinander folgenden Kalenderjahren.
- (2) Minimalwert als arithmetisches Mittel aus den Jahresminimalwerten von maximal drei aufeinander folgenden Kalenderjahren.
- (3) Maximalwert als arithmetisches Mittel aus den Jahresmaximalwerten von maximal drei aufeinander folgenden Kalenderjahren.
- (4) Die Werte gelten ausschließlich dort, wo höhere Sulfatkonzentrationen anthropogen bedingt sind.

Tabelle 4: Ausgewählte bergbautypische ACP zur Einstufung des guten ökologischen Zustands bzw. des guten ökologischen Potenzials für die im Untersuchungsraum vertretenen Fließgewässertypen.

Fließgewässertyp		Eisen	Sulfat	pH	NH ₄ -N
		(1)	(1) (2)	(3) (4)	(1)
		[mg/L]	[mg/L]	[-]	[mg/L]
5	Grobmaterialreiche silikatische Mittelgebirgsbäche	≤ 0,7	≤ 75	6,5 - 8,5	≤ 0,1
5.1	Feinmaterialreiche silikatische Mittelgebirgsbäche	≤ 0,7	≤ 75	6,5 - 8,5	≤ 0,1
9	Silikatische fein- bis grobmaterialreiche Mittelgebirgsbäche	≤ 0,7	≤ 75	7,0 - 8,5	≤ 0,1
11	Organisch geprägte Bäche (5) (7)	≤ 1,8	≤ 75	5,5 - 8,0	≤ 0,1
12	Organisch geprägte Flüsse (5) (7)	≤ 1,8	≤ 75	5,5 - 8,0	≤ 0,1
14	Sandgeprägte Tieflandbäche (6)	≤ 1,8	≤ 140	6,5 - 8,5	≤ 0,1
15	Sand- und lehmgeprägte Tieflandflüsse	≤ 1,8	≤ 200	7,0 - 8,5	≤ 0,2
15 g	Große sand- und lehmgeprägte Tieflandflüsse	≤ 1,8	≤ 200	7,0 - 8,5	≤ 0,2
16	Kiesgeprägte Tieflandbäche (6)	≤ 1,8	≤ 140	6,5 - 8,5	≤ 0,1
17	Kiesgeprägte Tieflandflüsse	≤ 1,8	≤ 200	7,0 - 8,5	≤ 0,2
18	Lösslehmgeprägte Tieflandbäche	≤ 1,8	≤ 200	7,0 - 8,5	≤ 0,2
19	Kleine Niederungsließgewässer in Fluss- und Stromtälern (7)	≤ 1,8	≤ 200	7,0 - 8,5	≤ 0,2
21 Subtyp 21 N	Seeausflussgeprägte Fließgewässer des Norddeutschen Tieflandes	---	---	7,0 - 8,5	≤ 0,2

Fließgewässertypen nach Anlage 1 Nr. 2.1 OGeWV (2016); ACP nach Anlage 7 Nr. 2.1.2 OGeWV (2016)

- (1) Mittelwert als arithmetisches Mittel aus den Jahresmittelwerten von maximal drei aufeinander folgenden Kalenderjahren.
- (2) Die Werte gelten ausschließlich dort, wo höhere Sulfatkonzentrationen anthropogen bedingt sind.
- (3) Minimalwert als arithmetisches Mittel aus den Jahresminimalwerten von maximal drei aufeinander folgenden Kalenderjahren.
- (4) Maximalwert als arithmetisches Mittel aus den Jahresmaximalwerten von maximal drei aufeinander folgenden Kalenderjahren.
- (5) Basenarm.
- (6) Silikatisch.
- (7) Im Norddeutschen Tiefland.

In der Anlage 6 der OGewV (2016) werden Umweltqualitätsnormen (UQN) für chemische Qualitätskomponenten für flussgebietsspezifische Schadstoffe (synthetische und nicht-synthetische Schadstoffe in Wasser, Sedimenten oder Schwebstoffen) zur Beurteilung des ökologischen Zustandes und des ökologischen Potenzials von Oberflächenwasserkörpern aufgeführt. Diese UQN sind als Jahresdurchschnittswert (JD) und teilweise auch als zulässige Höchstkonzentration (ZHK) angegeben.

Für bergbauspezifische Maßnahmen im Rahmen der vorliegenden Studie sind die in der Tabelle 5 dargestellten Umweltqualitätsnormen relevant.

Tabelle 5: Ausgewählte Umweltqualitätsnormen für flussgebietsspezifische Schadstoffe zur Beurteilung des ökologischen Zustands bzw. des ökologischen Potenzials.

Stoffe	Medium	JD-UQN	ZHK-UQN	Einheit	Hinweise
Arsen	Schwebstoff oder Sediment	40	---	mg/kg	(1)
	Wasser	---	---	µg/L	(2)
Zink	Schwebstoff oder Sediment	800	---	mg/kg	(1)
	Wasser	---	---	µg/L	(2)

- (1) Werden Schwebstoffe mittels Durchlaufzentrifuge entnommen, beziehen sich die Umweltqualitätsnormen auf die Gesamtprobe. Werden Sedimente und Schwebstoffe mittels Absetzbecken oder Sammelkästen entnommen, beziehen sich die Umweltqualitätsnormen bei Metallen auf die Fraktion kleiner als 63 µm. Im Übrigen beziehen sich Umweltqualitätsnormen für Schwebstoffe und Sedimente auf die Trockensubstanz.
- (2) UQN für Wasser sind, wenn nicht ausdrücklich anders bestimmt, als Gesamtkonzentrationen in der gesamten Wasserprobe ausgedrückt.

5.1.1.3 Einstufung des ökologischen Zustandes bzw. Potenzials von OWK

Die Einstufung des ökologischen Zustandes bzw. des ökologischen Potenzials von Oberflächenwasserkörpern wird durch die jeweils zuständige Behörde vorgenommen. Bei der Einstufung des ökologischen Zustands werden nach § 5 Abs. 1 OGewV (2016) fünf Klassen unterschieden: sehr guter, guter, mäßiger, unbefriedigender und schlechter Zustand. Das ökologische Potenzial wird entsprechend § 5 Abs. 2 OGewV (2016) ebenfalls in fünf Klassen untergliedert: höchstes, gutes, mäßiges, unbefriedigendes und schlechtes (Tabelle 6).

Tabelle 6: Einstufung des ökologischen Zustandes bzw. des ökologischen Potenzials von Oberflächenwasserkörpern.

Klasse	Beschreibung
sehr gut (sehr guter Zustand bzw. höchstes Potenzial)	<ul style="list-style-type: none"> Annähernd natürlicher Zustand Typspezifische Referenzbedingungen Schadstoffkonzentrationen im Bereich der Hintergrundwerte
gut	<ul style="list-style-type: none"> Zielzustand der EG-WRRL Geringfügige anthropogen bedingte Abweichungen Grenzwerte für Schadstoffe werden eingehalten
mäßig	<ul style="list-style-type: none"> Mäßige anthropogen bedingten Abweichungen
unbefriedigend	<ul style="list-style-type: none"> Sehr starke anthropogen bedingte Abweichung
schlecht	<ul style="list-style-type: none"> Biozönosen des sehr guten bzw. guten Zustandes fehlen

Die Gesamtbewertung des ökologischen Zustandes bzw. Potenzials richtet sich dabei grundsätzlich nach der biologischen Qualitätskomponente mit der schlechtesten Bewertung. Werden jedoch eine oder mehrere QK nach der Anl. 3 Nr. 3.1 OGeWV (2016), d. h. Umweltqualitätsnormen für flussgebietspezifische Schadstoffe in Verbindung mit der Anl. 6, nicht eingehalten, ist der ökologische Zustand oder das ökologische Potenzial des OWK nach § 5 Abs. 5 OGeWV (2016) höchstens als „mäßig“ einzustufen (Bild 3).

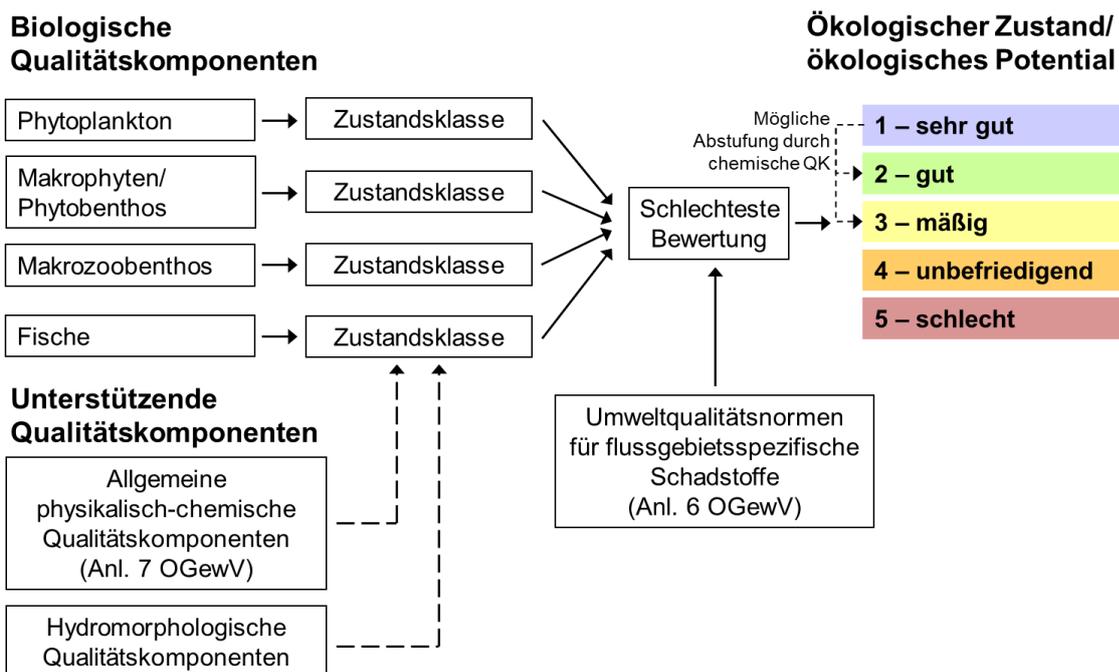


Bild 3: Bewertungsprinzip für den ökologischen Zustand bzw. das ökologische Potenzial.

5.1.1.4 Chemischer Zustand von OWK

Die Einstufung des chemischen Zustandes eines Oberflächenwasserkörpers richtet sich nach Umweltqualitätsnormen entsprechend § 6 OGeWV (2016). Für eine Einstufung des chemischen Zustandes durch die zuständige Behörde als „gut“ müssen die in der Anl. 8 Tab. 2 OGeWV (2016) aufgeführten Umweltqualitätsnormen erfüllt sein. Andernfalls ist der chemische Zustand als „nicht gut“ einzustufen. Für die vorliegende Bearbeitung sind die in der Tabelle 7 dargestellten UQN relevant.

Tabelle 7: Ausgewählte Umweltqualitätsnormen zur Beurteilung des chemischen Zustandes von Oberflächenwasserkörpern.

Stoffe	Wasserhärteklasse	JD-UQN	ZHK-UQN	Einheit	Hinweise
Cadmium und Cadmiumverbindungen	1	≤ 0,08	≤ 0,45	µg/L	(1) (2)
	2	0,08	0,45		
	3	0,09	0,6		
	4	0,15	0,9		
	5	0,25	1,5		
Nickel und Nickelverbindungen	nicht relevant	4	34	µg/L	(1) (3)

- (1) Die UQN beziehen sich auf die gelöste Phase (0,45 µm-Filtration oder gleichwertige Vorbehandlung).
- (2) Bei Cadmium und Cadmiumverbindungen hängt die Umweltqualitätsnorm von der Wasserhärte ab, die in fünf Klassenkategorien abgebildet wird (Klasse 1: < 40 mg CaCO₃/L, Klasse 2: 40 bis < 50 mg CaCO₃/L, Klasse 3: 50 bis < 100 mg CaCO₃/L, Klasse 4: 100 bis < 200 mg CaCO₃/L und Klasse 5: ≥ 200 mg CaCO₃/L). Zur Beurteilung der Jahresdurchschnittskonzentration an Cadmium und Cadmiumverbindungen wird die Umweltqualitätsnorm der Härteklasse verwendet, die sich aus dem fünfzigsten Perzentil der parallel zu den Cadmiumkonzentrationen ermittelten CaCO₃-Konzentrationen ergibt.
- (3) Die JD-UQN bezieht sich auf bioverfügbare Konzentrationen.

5.1.1.5 Einhaltung der Umweltqualitätsnormen

Die Einhaltung der Umweltqualitätsnormen wird von der zuständigen Behörde nach Maßgabe von Anlage 9 Nr. 3 der OGewV (2016) überprüft. Die Umweltqualitätsnormen, ausgedrückt als Jahresdurchschnittswerte (JD-UQN), gelten als eingehalten, wenn das arithmetische Mittel der zu unterschiedlichen Zeiten im Zeitraum von einem Jahr an jeder repräsentativen Überwachungsstelle in dem Oberflächenwasserkörper gemessenen Konzentrationen kleiner oder gleich der Umweltqualitätsnorm ist, OGewV (2016). Umweltqualitätsnormen, ausgedrückt als zulässige Höchstkonzentrationen (ZHK-UQN), gelten als eingehalten, wenn die Konzentration bei jeder Einzelmessung an jeder repräsentativen Überwachungsstelle in dem Oberflächenwasserkörper kleiner oder gleich der ZHK-UQN ist.

Unabhängig von den Vorgaben und Kriterien zur Einstufung des ökologischen Zustandes bzw. Potenzials und des chemischen Zustandes von Oberflächenwasserkörpern sind Oberflächenwasserkörper, die für die Trinkwassergewinnung genutzt werden, mit dem Ziel zu bewirtschaften, eine Verschlechterung ihrer Qualität zu verhindern und so den für die Gewinnung von Trinkwasser erforderlichen Umfang der Aufbereitung zu verringern, § 8 OGewV (2016). Die Oberflächenwasserkörper, die der Trinkwassergewinnung dienen, sind im Bewirtschaftungsplan auf Karten darzustellen.

5.1.1.6 Fristen zur Erreichung der Bewirtschaftungsziele

Ein guter ökologischer und ein guter chemischer Zustand der oberirdischen Gewässer bzw. ein gutes ökologisches Potenzial und ein guter chemischer Zustand der künstlichen und erheblich veränderten Gewässer waren gemäß § 29 WHG (2018) bis 22. Dezember 2015 zu erreichen. Die zuständigen Behörden konnten/können diese Frist unter bestimmten Bedingungen höchstens zweimal für einen Zeitraum von jeweils sechs Jahren verlängern. Lassen sich die Bewirtschaftungsziele auf Grund der natürlichen Gegebenheiten nicht innerhalb dieser Fristverlängerungen erreichen, sind nach § 29 WHG weitere Verlängerungen möglich. Außerdem können die zuständigen Behörden für oberirdische Gewässer weniger strenge Bewirtschaftungsziele nach § 30 WHG festlegen, wenn bestimmte Kriterien erfüllt sind.

Für die zum 22. Dezember 2021 zu aktualisierenden Maßnahmenprogramme und Bewirtschaftungspläne nach § 84 Absatz 1 WHG (2018) sind die Umweltqualitätsnormen (u. a. für

Arsen) nach Anl. 6 OGeV (2016) zugrunde zu legen. Diese müssen für das Erreichen des guten ökologischen Zustands spätestens ab dem 22. Dezember 2027 eingehalten werden, § 5 Abs. 5 OGeV (2016).

Abweichend von § 29 Abs. 1 des WHG (2018) ist der gute chemische Zustand für die in Anl. 8 Tab. 1 Spalte 4 OGeV (2016) aufgeführten Stoffe (u. a. Nickel- und Nickelverbindungen) bis zum 22. Dezember 2021 zu erreichen.

5.1.1.7 Anforderungen an Grund- und Trinkwasser

Neben den Kriterien der OGeV zur Einstufung des ökologischen Zustandes bzw. ökologischen Potenzials und des chemischen Zustandes von Oberflächenwasserkörpern sowie den Anforderungen an die Bewirtschaftung von Oberflächenwasserkörpern, die für die Trinkwassergewinnung genutzt werden, sind bei der Ableitung von Maßnahmen auch die Grenz- und Schwellenwerte für Trink- bzw. Grundwasser zu berücksichtigen.

Die Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch, die Trinkwasserverordnung TrinkwV (2018), gewährleistet die Genusstauglichkeit und Reinheit von Trinkwasser. Im Trinkwasser dürfen festgesetzte Grenzwerte (GRW) für chemische Kennwerte nicht überschritten werden, die eine Schädigung der menschlichen Gesundheit besorgen lassen.

In der Verordnung zum Schutz des Grundwassers, Grundwasserverordnung GrwV (2017), sind Schwellenwerte (SW) zum Schutz der menschlichen Gesundheit und der Umwelt festgelegt. Diese Konzentrationen eines Schadstoffes, einer Schadstoffgruppe oder der Wert eines Verschmutzungsindikators im Grundwasser bilden die Grundlage zur Beurteilung des chemischen Grundwasserzustands.

5.1.2 Vollzug

5.1.2.1 Flussgebietsgemeinschaft Elbe

Die Spree und die Schwarze Elster gehören zum Flusseinzugsgebiet der Elbe, an dem vier Staaten (Deutschland, Tschechien, Österreich und Polen) Anteil haben. Die zehn Bundesländer (im Folgenden „Länder“ genannt), die in Deutschland entweder von der Elbe selbst oder von Ihren Nebenflüssen durchströmt werden, haben sich im Jahr 2004 mit der Bundesrepublik Deutschland, vertreten durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (im Folgenden „Bund“ genannt) zur Flussgebietsgemeinschaft (FGG) Elbe zusammengeschlossen. Die FGG Elbe ist u. a. für die nationale und internationale Koordination und Abstimmung der Bewirtschaftung der Gewässer nach der Wasserrahmenrichtlinie der Europäischen Gemeinschaft verantwortlich. Das beinhaltet die Erfüllung der umfangreichen Berichtspflichten an die Europäische Union, wozu die Maßnahmenprogramme nach Art. 11 EG-WRRL (2000) und die Bewirtschaftungspläne nach Art. 13 EG-WRRL (2000) für die Flusseinzugsgebiete gehören.

5.1.2.2 Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser

Die Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) als ein Arbeitsgremium der Umweltministerkonferenz hat im Januar 2017 den Maßstab zur bundeseinheitlichen Bewertung von Veränderungen der Grundwasserbeschaffenheit „Ableitung von Geringfügigkeitsschwellen für das Grundwasser“ in der Fassung von 2016 herausgegeben, LAWA (2017). Mit der Geringfügigkeitsschwelle (GFS) werden Konzentrationen definiert, bei denen trotz einer Erhöhung der Stoffgehalte gegenüber regionalen Hintergrundwerten keine relevanten ökotoxischen Wirkungen auftreten können und die Anforderungen der Trinkwasserverordnung

oder entsprechend abgeleiteter Werte eingehalten werden. Damit soll das Grundwasser überall für den menschlichen Gebrauch als Trinkwasser nutzbar bleiben und als Lebensraum intakt gehalten werden, unter anderem weil Grundwasser Bestandteil des Naturhaushalts ist und den Basisabfluss von Oberflächenwasser bildet oder den Charakter grundwasserabhängiger Landökosysteme beeinflusst.

Die im Rahmen dieser Studie relevanten Geringfügigkeitsschwellen wurden in die Übersicht zu den Bewertungsgrundlagen für die Ableitung von bergbauspezifischen Maßnahmenkonzepten aufgenommen (Tabelle 8). Sie sind nicht rechtsverbindlich, stellen aber ein von technischem und rechtlichem Sachverstand getragenes Hilfsmittel zur zahlenmäßigen Beurteilung von Schadstoffbelastungen des Grundwassers und zur Ermittlung von Grenzwerten im konkreten Einzelfall dar, OVG NRW (2018). Diese Ergebnisse der intensiven Auseinandersetzung der LAWA mit dem Medium Grundwasser ergänzen die Regelungen der OGewV zum Oberflächenwasser.

Tabelle 8: Bewertungsgrundlagen für die Ableitung von bergbauspezifischen Maßnahmenkonzepten im Rahmen dieser Studie.

Kenngröße	Wert	Maßeinheit	Grundlage	Medium	Norm	Anwendungsbereich
Ammonium-Stickstoff (1)	≤ 0,1 bis ≤ 0,3	mg/L	OGewV (2016)	OW	ACP	Fließgewässer (alle Fließgewässertypen)
Ammonium	0,5	mg/L	GrwV (2017)	GW	SW	Grundwasserzustand von Grundwasserkörpern
Ammonium	0,50	mg/L	TrinkwV (2018)	TW	GrW	Trinkwasser
Arsen	40	mg/kg	OGewV (2016)	OW	JD-UQN	Schwebstoff oder Sediment oberirdischer Gewässer
Arsen	10	µg/L	GrwV (2017)	GW	SW	Grundwasserzustand von Grundwasserkörpern
Arsen	3,2	µg/L	LAWA (2017)	GW	GFS	Grundwasser für Trinkwasser und als Lebensraum
Arsen	10	µg/L	TrinkwV (2018)	TW	GrW	Trinkwasser
Cadmium und Cadmiumverbindungen (2)	≤ 0,08 bis 0,25	µg/L	OGewV (2016)	OW	JD-UQN	Oberirdische Gewässer
Cadmium und Cadmiumverbindungen (1)	≤ 0,45 bis 1,5	µg/L	OGewV (2016)	OW	ZHK-UQN	Oberirdische Gewässer
Cadmium	0,5	µg/L	GrwV (2017)	GW	SW	Grundwasserzustand von Grundwasserkörpern
Cadmium	0,3	µg/L	LAWA (2017)	GW	GFS	Grundwasser für Trinkwasser und als Lebensraum
Cadmium	3	µg/L	TrinkwV (2018)	TW	GrW	Trinkwasser
Eisen (1)	≤ 0,7 bis ≤ 1,8	mg/L	OGewV (2016)	OW	ACP	Fließgewässer
Eisen	0,200	mg/L	TrinkwV (2018)	TW	GrW	Trinkwasser
Nickel und Nickelverbindungen	4	µg/L	OGewV (2016)	OW	JD-UQN	Oberirdische Gewässer
Nickel und Nickelverbindungen	34	µg/L	OGewV (2016)	OW	ZHK-UQN	Oberirdische Gewässer
Nickel	7	µg/L	LAWA (2017)	GW	GFS	Grundwasser für Trinkwasser und als Lebensraum
Nickel	20	µg/L	TrinkwV (2018)	TW	GrW	Trinkwasser

Kenngröße	Wert	Maßeinheit	Grundlage	Medium	Norm	Anwendungsbereich
Zink	800	mg/kg	OGewV (2016)	OW	JD-UQN	Schwebstoff oder Sediment oberirdischer Gewässer
Zink	58	µg/L	LAWA (2017)	GW	GFS	Grundwasser für Trinkwasser und als Lebensraum
Sulfat (1)	≤ 75 bis ≤ 200	mg/L	OGewV (2016)	OW	ACP	Fließgewässer
Sulfat	250	mg/L	GrwV (2017)	GW	SW	Grundwasserzustand von Grundwasserkörpern
Sulfat	240	mg/L	LAWA (2017)	GW	GFS	Grundwasser für Trinkwasser und als Lebensraum
Sulfat	250	mg/L	TrinkwV (2018)	TW	GrW	Trinkwasser
Wasserstoffionen-konzentration ⁽¹⁾	5,5 bis 8,5	pH-Einheiten	OGewV (2016)	OW	ACP	Fließgewässer
Wasserstoffionen-konzentration	≥ 6,5 bis ≤ 9,5	pH-Einheiten	TrinkwV (2018)	TW	GrW	Trinkwasser

(1) Differenziert nach Fließgewässertypen entsprechend Anlage 1 Nr. 2.1 OGewV (2016).

(2) Differenziert nach Wasserhärteklassen.

5.1.2.3 Land Brandenburg

Unter Berücksichtigung der Anforderungen der EG-WRRL, des WHG und der OGewV an die chemische Beschaffenheit der Spree und ihrer Zuflüsse ergingen im Land Brandenburg im April 2019 der „Bewirtschaftungserlass Sulfat (Spree)“, MLUL & MWE (2019a), und im September 2019 die „Anforderungen zur Reduzierung des bergbaubedingten Eintrags von Eisen in die Fließgewässer der Lausitz (Bewirtschaftungserlass Eisen)“, MLUL & MWE (2019b). Für die vorliegende Studie sind hieraus insbesondere die folgenden Festlegungen relevant.

Im „Bewirtschaftungserlass Sulfat (Spree)“, MLUL & MWE (2019a), wird zur Sicherung der Trinkwasserversorgung für den Pegel Neubrück, welcher maßgeblich für das Wasserwerk Briesen ist, ein Immissionsrichtwert für Sulfat von 280 mg/L als 90-Quantil festgesetzt. Die Überwachung des Immissionsrichtwertes erfolgt durch das Landesamt für Umwelt (LfU). Bei Nichteinhaltung des Immissionsrichtwertes prüft das LBGR federführend in Abstimmung mit weiteren Behörden, ob und welche Maßnahmen zur Vermeidung einer Beeinträchtigung der Trinkwasserversorgung erforderlich, geeignet und angemessen sind.

Im wasser- und bergrechtlichen Vollzug ist nach MLUL & MWE (2019a) u. a. folgendes zu beachten:

- Die Trinkwasserversorgung hat gegenüber anderen Gewässerbenutzungen Priorität.
- Führt eine Einleitung prognostisch zu einer nicht vermeidbaren oder nicht ausgleichbaren Überschreitung des Immissionsrichtwertes, ist sicherzustellen, dass es zu keiner Überschreitung des Trinkwassergrenzwertes im Reinwasser des Versorgungsunternehmens in Briesen kommt.
- Bei Erlaubnisverfahren für Gewässerbenutzungen der Spree oder ihrer Nebenflüsse und auch bei allen anderen Zulassungen von Vorhaben an der Spree sind die Auswirkungen auf die Sulfatkonzentration am Pegel Neubrück zu prüfen. Hierzu steht das Sulfatprognosemodul im Simulationssystem für die Bewirtschaftungs- und Rahmenplanung von Flussgebieten WBalMo zur Verfügung.
- Bereits erteilte Erlaubnisse sind regelmäßig auf ihre Auswirkungen hinsichtlich der Sulfatkonzentration am Pegel Neubrück zu prüfen. Erlaubnisse für die Einleitung von Abwasser sind an den Stand der Technik anzupassen.
- Erlaubnisse können, wenn beispielsweise veränderte Umweltbedingungen wie ein kurzzeitig verringerter Durchfluss dies erfordern, auch befristet geändert werden.

Um den ökologischen Zustand in den vom Bergbau beeinflussten Fließgewässern zu verbessern und den Eiseneintrag in die Gewässer zu verringern, wurden mit dem „Bewirtschaftungserlass Eisen“ für OWK im brandenburgischen Teil der Lausitz Zielwerte für Eisen-gesamt ausgewiesen. Diese Immissionsrichtwerte stellen fachliche Vorgaben dar, die in wasserrechtlichen Zulassungsverfahren und Entscheidungen zur Sicherstellung eines einheitlichen Vollzuges zu beachten sind. Der Geltungsbereich des Erlasses umfasst vorerst nur Fließgewässer-OWK gemäß Anlage 1 Nr. 2.1 OGewV (2016), also berichtspflichtige Fließgewässer mit einem Einzugsgebiet von 10 km² oder größer.

Bis Ende 2027 sollen die Oberflächenwasserkörper den guten ökologischen Zustand bzw. das gute ökologische Potenzial erreichen. Die Eisenkonzentrationen, mit denen dieses Bewirtschaftungsziel erreicht werden kann, hängen vom Gewässertyp ab. Sie entsprechen den Orientierungswerten nach Anl. 7 Nr. 2.1.2 der OGewV (2016). Für die in dieser Studie zu bewertenden Fließgewässer-OWK im brandenburgischen Teil des Untersuchungsraumes beträgt der Orientierungswert für Eisen einheitlich $\leq 1,8$ mg/L.

Sofern keine negative Zustandsänderung zu befürchten ist, sind für OWK, die bereits zum jetzigen Zeitpunkt den Orientierungswert von $\leq 1,8$ mg/L Eisen einhalten, keine Maßnahmen zur Verringerung der Eisenkonzentration zu veranlassen. Im Vollzug ist jedoch das Verschlechterungsverbot zu beachten.

Für Oberflächenwasserkörper, die wegen der Überschreitung des Orientierungswertes von $\leq 1,8$ mg/L für Eisen nicht in einem guten ökologischen Zustand sind, sind Maßnahmen zur Verringerung der Eisenbelastung erforderlich, um das Bewirtschaftungsziel zu erreichen (Verbesserungsgebot).

5.1.2.4 Freistaat Sachsen

Das Sächsische Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft (SMUL) hat im März 2016 den Vollzugsbehörden (Landesdirektion Sachsen, Sächsisches Oberbergamt und untere Wasserbehörden) ein Grundlagenpapier zum wasserrechtlichen Rahmen für Sanierungsziele zu den Kennwerten Eisen und Sulfat in den vom Bergbau beeinflussten OWK übergeben, SMUL (2016). Darin wurde festgelegt, dass der ökologisch begründete Orientierungswert der OGewV für den Kennwert Eisen-gesamt von $\leq 1,8$ mg/L in den bergbaubeeinflussten OWK anzustreben ist, da damit in der Regel gewährleistet ist, dass Eisen keinen begrenzenden Kennwert für die Zielerreichung eines guten ökologischen Zustandes bzw. eines guten ökologischen Potenzials gemäß § 27 WHG (2018) darstellt.

Für den Sanierungszeitraum bis zum Jahr 2027 wurde für die OWK Spree 4 und Kleine Spree 2 jeweils ein Zielwert von $\leq 3,0$ mg/L benannt. Für den Kennwert Sulfat wird ausgeführt, dass eine Absenkung der Sulfatbelastung auf den aus ökologischen Gesichtspunkten abgeleiteten Orientierungswert der OGewV von ≤ 200 mg/L bis zum Jahr 2027 unrealistisch ist. Es soll daher angestrebt werden, über eine gezielte Mengen- und Beschaffenheitsbewirtschaftung sich dem Ziel so weit wie möglich zu nähern, um den ökologischen Erfordernissen weitgehend Rechnung zu tragen. Für den Sanierungszeitraum bis zum Jahr 2027 wurde für den OWK Spree 4 ein Zielwert von ≤ 450 mg/L vorgegeben und für den OWK Kleine Spree 2 das Ziel „bestmögliche Minderung“ formuliert.

Auf der Grundlage vorgenannter Sanierungsziele hat das Sächsische Oberbergamt (SOBA) mit Schreiben vom 15.11.2016 die LMBV aufgefordert, einen bergrechtlichen Betriebsplan vorzulegen, welcher ein Gesamtkonzept zur Verbesserung der Wasserbeschaffenheit in den Fließgewässern im Spreegebiet Südraum beinhaltet, SOBA (2016). Daran wird gegenwärtig gearbeitet.

5.1.2.5 Länderübergreifende interministerielle Arbeitsgruppe Brandenburg-Sachsen zur Sanierung des Wasserhaushaltes in der Lausitz

Mit Schreiben vom 08.09.1999 hatte die länderübergreifende interministerielle Arbeitsgruppe Brandenburg-Sachsen zur Sanierung des Wasserhaushaltes in der Lausitz die Bildung einer Arbeitsgruppe (AG) „Flussgebietsbewirtschaftung Spree-Schwarze Elster“ beschlossen, SMUL (1999). Dieser AG wurde das Mandat erteilt, die Sanierung des Wasserhaushaltes in der Lausitz fachlich zu begleiten und die Flussgebietsbewirtschaftung (FGB) in den Flussgebieten Spree und Schwarze Elster durchzuführen. Die AG hat daraufhin Grundsätze für die länderübergreifende Bewirtschaftung der Flussgebiete Spree und Schwarze Elster erstellt, auf deren Grundlage im Flussgebiet gearbeitet wird. Neben der Festlegung von Rangfolgen für Wasserentnahmen sind darin auch Immissionsrichtwerte für die Fließgewässer benannt.

5.1.2.6 Arbeitsgruppe „Flussgebietsbewirtschaftung Spree-Schwarze Elster“

In der AG „FGB Spree-Schwarze Elster“ arbeiten Behörden der Länder Sachsen, Brandenburg, Berlin und Sachsen-Anhalt, die Bergbauunternehmen LEAG und LMBV, Gewässerunterhaltungsverbände, Wissenschaftler und beratende Experten zusammen, um die Flussgebietsbewirtschaftung übergreifend zu koordinieren.

Diese AG hat Grundsätze für die länderübergreifende Bewirtschaftung der Flussgebiete von Spree, Schwarzer Elster und Lausitzer Neiße erarbeitet und abgestimmt. Diese liegen aktuell in der Fassung von April 2019 vor, AG FGB (2019). Bezüglich der Sulfatsteuerung wird darin ausgeführt, dass bis zum Erreichen einer Sulfatkonzentration im Wasserspeichersystem (WSS) Lohsa II und in den Vorflutern, welche die Einhaltung des Immissionsrichtwertes in der Spree im Bereich Spremberg-Wilhelmstal nicht gefährdet, eine gesteuerte Abgabe aus dem WSS Lohsa II erforderlich ist. Des Weiteren werden Abgaben aus dem Speicherbecken (SB) Bärwalde sowie aus den Talsperren Bautzen und Quitzdorf unter bestimmten Prämissen bereitgestellt.

Der AG FGB Spree-Schwarze Elster sind vier Arbeitskreise (AK) untergeordnet:

- AK Wassermenge,
- AK Wasserbeschaffenheit,
- AK Wasserrechtlicher Vollzug und
- der befristete AK Hochwasserrückhalt.

Ein Arbeitsgremium des AK Wasserbeschaffenheit befasst sich mit dem Eisen- und Sulfatmonitoring.

Die AG „FGB Spree-Schwarze Elster“ hat ausgehend von den Vorgaben und Zielstellungen der EG-WRRL sowie der Länder zur Gewässergüte, der aktuellen Beschaffenheit in den Gewässern und der bestehenden und künftigen Nutzungen für die Vorfluter Spree, Schwarze Elster und Lausitzer Neiße Immissionsrichtwerte für ausgewählte bergbaurelevante Beschaffenheitskennwerte erarbeitet und abgestimmt, Anl. 4 in AG FGB (2019). Diese werden für die Spree und für die Schwarze Elster mit Ausnahme von Kupfer, das nicht Bestandteil dieser Studie ist, in der Tabelle 9 dargestellt.

Tabelle 9: Ausgewählte Immissionsrichtwerte der AG „Flussgebietsbewirtschaftung Spree-Schwarze Elster“.

	Immissionsrichtwerte (Stand 03/2017)				
	pH-Wert	Eisen-gesamt	Sulfat * im 90- Perzentil	Ammonium- Stickstoff **	Zink
	-	mg/L ***	mg/L	mg/L ***	mg/L
Gewässer: Spree					
Profil					
Sprenberg Wilhelmstal	6,5 – 8,5	3 ⁽¹⁾	450****	---	---
Großes Fließ, Fehrow		1,8	300	0,3 ⁽¹⁾	---
Leibsch		1,8	300		1
Neubrück		1,8	280		---
Rahnsdorf		---	220	---	---
Gewässer: Schwarze Elster					
Profil					
Kleinkoschen	6,5 – 8,5	1,8	150	0,3 ⁽¹⁾	1
Biehlen		1,8	450		---
Elsterwerda		3 ⁽¹⁾	400		1
Arnsnesta		3 ⁽¹⁾	300		---
Gorsdorf		3 ⁽¹⁾	300		350 ⁽²⁾

* Mit den derzeitigen Bewirtschaftungsmaßnahmen erreichbare Sulfatwerte.

** NH₄-N in den Sommermonaten.

*** Als Jahresmittelwert.

**** Zeitweiser Ersatz für Immissionsrichtwert Zerre 400 mg/L.

⁽¹⁾ Immissionsrichtwert für den 2. Bewirtschaftungsplan; langfristig sind die Orientierungswerte der OGewV (2016) anzustreben.

⁽²⁾ Werte beziehen sich auf Schwebstoff; Angaben in mg/kg.

5.1.2.7 Zuständige Behörden

Die Einleitungen des Bergbaus in die Oberflächengewässer sind durch das Wasserrecht geregelt. Die Festlegung von Emissionswerten dafür wird im Rahmen von wasserrechtlichen Erlaubnissen und Bewilligungen vorgenommen (Tabelle 10).

Tabelle 10: Emissionswerte von Einleitungen des Braunkohlenbergbaus in Fließgewässer.

Maßnahme	Träger	Aufnehmendes Gewässer	pH-Wert	Eisen- gesamt	Eisen- gelöst
			-	mg/L	mg/L
GWBA Kringelsdorf	LE-B	Schwarzer Schöps	6,5-8,5	≤ 3	≤ 1
GWBA Tzschelln	LE-B	Spree	6,5-8,5	≤ 3	≤ 2
GWBA Schwarze Pumpe	LE-B	Spree	6,5-9,0	≤ 3	≤ 1
GWBA Jänschwalde	LE-K	Malxe	6,0-8,8	≤ 2	≤ 1
GWBA Am Weinberg	LE-B	Steinitzer Wasser, Döbberner Graben, Petershainer Fließ, Hühnerwasser	6,5-8,5	≤ 3	≤ 1
		Kochsa	6,5-8,5	≤ 5	≤ 2
GWVBA Trebendorf	LE-B	Ökowasserzuführung zum FFH-Gebiet „Altes Schleifer Teichgelände“	---	≤ 3	---
GWRA Rainitza	LMBV	Rainitza; Ökowasser für das Cunersdorfer Fließ und für das Rahnsdorfer Fließ	6,0-8,5	≤ 3	≤ 1
GWRA Pößnitz	LMBV	Pößnitz	6,0-8,5	≤ 5 ⁽¹⁾ ≤ 3 ⁽²⁾	≤ 2 ⁽¹⁾ ≤ 1 ⁽²⁾
GWRA bzw. WBA Vetschau	LMBV	Vetschauer Mühlenfließ	6,0-8,5	≤ 3	≤ 1
WBA Plessa	LMBV	Hammergraben	6,5-8,5	≤ 3	---

(1) Während der Ertüchtigung der GWRA.

(2) Nach der Ertüchtigung der GWRA.

Eisen wird durch die Wasserbehandlung in technischen Anlagen überwiegend zuverlässig entfernt. Die mittleren Emissionswerte liegen meist deutlich unter den genehmigten Einleitwerten.

Für Sulfat wurden keine Emissionswerte festgelegt, weil nach dem Stand der Technik Sulfat mit verhältnismäßigen Mitteln aus dem Wasser nicht entfernt werden kann. Zur Konzentrationssenkung in betroffenen Oberflächengewässern besteht in der Regel nur die Möglichkeit einer kombinierten Wassermengen-Wassergüte-Steuerung unter Nutzung von Wasser aus Talsperren, Speicherbecken und aus bergbaulich nicht beeinflussten Einzugsgebieten.

5.2 Technische Grundlagen

5.2.1 Technik Klausel

Mit Technik Klauseln werden Verfahren und Technologien hinsichtlich ihres Entwicklungsstandes, der Verfügbarkeit, ihrer Kodifizierung (Normung, schriftliches Regelwerk), praktischen Eignung und Bewährung, der Verhältnismäßigkeit und des Kosten-Nutzen-Verhältnisses gekennzeichnet. Sie werden für den Entwurf und die Ausführung von baulichen Anlagen oder technischen Objekten vorgegeben. Bei der Nutzung von Technik Klauseln ist zu berücksichtigen, dass sie nicht umfassend legaldefiniert sind und nicht einheitlich verwendet werden.

Auf Europäischer Ebene werden in der Industrieemissionsrichtlinie IED (2010) die Begriffe „beste verfügbare Technik“ (BVT), „verfügbare Technik“, „Technik“ und „beste“ definiert.

- Der Begriff „**Beste verfügbare Technik**“ bezeichnet den effizientesten und fortschrittlichsten Entwicklungsstand, der Tätigkeiten, Betriebsmethoden und Techniken als praktisch geeignet erscheinen lässt, als Grundlage für die Festlegung von Emissionsgrenzwerten und sonstige Genehmigungsaufgaben zu dienen, um Emissionen in und Auswirkungen auf die gesamte Umwelt zu vermeiden oder, wenn dies nicht möglich ist, zu vermindern.
- Die „**Technik**“ schließt sowohl die angewandte Technologie als auch die Art und Weise ein, wie die Anlage geplant, gebaut, gewartet, betrieben und stillgelegt wird.
- Die „**verfügbare Technik**“ ist in einem Maßstab entwickelt, dass eine Anwendung unter Berücksichtigung des Kosten-Nutzen-Verhältnisses in wirtschaftlich und technisch vertretbaren Verhältnissen möglich ist, sofern sie zu vertretbaren Bedingungen für den Betreiber zugänglich ist.
- Der Begriff „**beste**“ bezeichnet die Technik, die am wirksamsten zur Erreichung eines allgemein hohen Schutzniveaus für die Umwelt insgesamt ist.

Der Begriff „**Stand der Technik**“ wird in Deutschland u. a. im Wasserhaushaltsgesetz WHG (2018) legaldefiniert:

Der Entwicklungsstand fortschrittlicher Verfahren, Einrichtungen oder Betriebsweisen, der die praktische Eignung einer Maßnahme zur Begrenzung von Emissionen in Luft, Wasser und Boden, zur Gewährleistung der Anlagensicherheit, zur Gewährleistung einer umweltverträglichen Abfallentsorgung oder sonst zur Vermeidung oder Verminderung von Auswirkungen auf die Umwelt zur Erreichung eines allgemein hohen Schutzniveaus für die Umwelt insgesamt gesichert erscheinen lässt.

Bei der Bestimmung des Standes der Technik sind unter Berücksichtigung der Verhältnismäßigkeit zwischen Aufwand und Nutzen möglicher Maßnahmen sowie des Grundsatzes der Vorsorge und der Vorbeugung, jeweils bezogen auf Anlagen einer bestimmten Art, insbesondere folgende Kriterien zu berücksichtigen:

1. Einsatz abfallarmer Technologie.
2. Einsatz weniger gefährlicher Stoffe.
3. Förderung der Rückgewinnung und Wiederverwertung der bei den einzelnen Verfahren erzeugten und verwendeten Stoffe und gegebenenfalls der Abfälle.
4. vergleichbare Verfahren, Vorrichtungen und Betriebsmethoden, die mit Erfolg im Betrieb erprobt wurden.
5. Fortschritte in der Technologie und in den wissenschaftlichen Erkenntnissen.
6. Art, Auswirkungen und Menge der jeweiligen Emissionen.
7. Zeitpunkte der Inbetriebnahme der neuen oder der bestehenden Anlagen.

8. Die für die Einführung einer besseren verfügbaren Technik erforderliche Zeit.
9. Verbrauch an Rohstoffen und Art der bei den einzelnen Verfahren verwendeten Rohstoffe (einschließlich Wasser) sowie Energieeffizienz.
10. Notwendigkeit, die Gesamtwirkung der Emissionen und die Gefahren für den Menschen und die Umwelt so weit wie möglich zu vermeiden oder zu verringern.
11. Notwendigkeit, Unfällen vorzubeugen und deren Folgen für den Menschen und die Umwelt zu verringern.
12. Informationen, die von internationalen Organisationen veröffentlicht werden.
13. Informationen, die in BVT-Merkblättern enthalten sind.

Im WHG wird also explizit auf die Verhältnismäßigkeit zwischen Aufwand und Nutzen möglicher Maßnahmen bei der Bestimmung des Standes der Technik verwiesen.

Außerdem wird mit dem Bezug auf die BVT-Merkblätter der seit dem Inkrafttreten der IED (2010) am 06. Januar 2011 gesteigerten Bedeutung dieser Dokumente für die Festlegung von Emissionsgrenzwerten, die Genehmigung von Anlagen und die Genehmigungsaufgaben Rechnung getragen, siehe Artikel 13 und 14 IED (2010). Die in den BVT-Merkblättern genannten und beschriebenen Techniken sind allerdings weder normativ noch erschöpfend. Es können andere Techniken eingesetzt werden, die mindestens ein gleiches Umweltschutzniveau gewährleisten.

Im Rahmen der Erarbeitung des StrathGP wurde das folgende Schema für die Anwendung der Technik Klausel entwickelt (Bild 4). Dabei spiegelt die Farbskala die Eignung möglicher Verfahren und Technologien zur Behandlung bergbaubeeinflusster Wässer wider.

Anerkannte Regel der Technik		bewährt, erprobt und anerkannt, empirisch gesichert, jedoch nicht zwingend kodifiziert
Stand der Technik		erprobt und anerkannt, kodifiziert
Stand von Wissenschaft und Technik	Feldmaßstab (P&D)	Verfahren in der Entwicklung, großtechnisch noch nicht erprobt
	Technikumsmaßstab	
	Labormaßstab	
Konzeption		fortschrittliche Lösungsansätze für neue Verfahrenstechniken

Bedeutung der Farbskala:

Grün	Ohne Einschränkungen anwendbar
Gelb	Erfahrungen fehlen, Ausführungsrisiko, Genehmigungsrisiko
Rosa	Forschungs- und Entwicklungsbedarf

Bild 4: Übersicht zur Anwendung der Technik Klausel.

Bei der Planung konkreter Maßnahmen empfehlen sich im Hinblick auf die Zielerreichung in kurzer Zeit und mit angemessenem Aufwand solche Verfahren und Technologien, die dem Stand der Technik bzw. mindestens den anerkannten Regeln der Technik entsprechen.

5.2.2 Verfahren und Technologien

5.2.2.1 Mengen- und Beschaffenheitssteuerung

Im Rahmen der Wassermengensteuerung werden die Fließgewässer, Talsperren und Bergbaufolgeseeen in den Flussgebieten Spree, Schwarze Elster und Lausitzer Neiße mit den Zielen der Niedrigwasseraufhöhung, des Hochwasserschutzes und der Flutung der Bergbaufolgeseeen flussgebietsübergreifend bewirtschaftet (Bild 5). Die Steuerung der Wasser-

mengen in den Fließgewässern erfolgt durch Regelung der Abgaben aus Talsperren (z. B. Quitzdorf, Bautzen, Spremberg) und Speichern (z. B. Senftenberger See, WSS Lohsa II) sowie der Flutungs- und Ausleitungsmengen von Bergbaufolgeseen. Die Bewirtschaftung der Flussgebiete erfolgt modellgestützt (Modelle: GRMSTEU und WBalMo Spree-Schwarze Elster) in Kooperation und Abstimmung mit den Fachbehörden der Länder (Landesdirektion Sachsen, LfU Brandenburg), den Landesbetrieben (z. B. Landestalsperrenverwaltung LTV Sachsen) sowie den maßgeblichen Gewässernutzern (LMBV, LE-B, LE-K). Die Bewirtschaftungsziele und -regeln werden regelmäßig in der AG „FGB Spree-Schwarze Elster“ zwischen den maßgeblichen Akteuren abgestimmt, siehe Abschn. 5.1.2.6.

Angesichts der notwendigen Sicherung der Trinkwasserversorgung aus Uferfiltrat im Unterlauf der Spree ist es weiterhin erforderlich, die Steuerung von Flutung und Ausleitung auch in Hinblick auf die Wasserbeschaffenheit, insbesondere den Kennwert Sulfat, zu optimieren. Zu diesem Zweck erfolgt in Ergänzung zur Wassermengenbewirtschaftung im Flussgebiet der Spree auch eine Wassergütebewirtschaftung (Sulfatlaststeuerung Spree). Durch die Wassergütebewirtschaftung soll die Einhaltung der Immissionsrichtwerte für Sulfat in der Spree sichergestellt werden. Die modellgestützte Gütebewirtschaftung im Spreegebiet (Gütesteuermmodell GSM Spree) erfolgt in Kombination mit der Wassermengensteuerung und bedient sich der gleichen Regelemente. Wie die Wassermengenbewirtschaftung erfolgt auch die Gütebewirtschaftung in enger Kooperation und Abstimmung mit den maßgeblichen Gewässernutzern, Fachbehörden und Landesbetrieben. Zur Überwachung der Immissionsziele werden an relevanten Profilen der Spree Online-Messstellen betrieben.



Bild 5: Zulauf von der Spree in das Wasserspeichersystem Lohsa II, Quelle: LMBV.

5.2.2.2 Hydraulische Verfahren

Dichtwand

Zur räumlichen Begrenzung der Grundwasserabsenkung oder zur Unterbindung unerwünschter Grundwasserströmungen sind in den Lockergesteinen des Lausitzer Braunkohlenreviers Dichtwände als Verfahren geeignet. Sie tragen zur Verringerung der Verwitterung von Eisensulfiden bzw. zur Reduzierung von Eisenfrachten mit dem Grundwasserstrom bei. Die Dichtwände müssen zur Unterbindung einer Unterströmung vorzugsweise in einen Grundwasserstauer, einen sogenannten Einbindehorizont, eingebunden werden. Fehlstellen im Grundwasserstauer, tektonische Störungen oder Erdbewegungen im Zusammenhang mit dem Dichtwandbau können zu lokalen Leckagen führen, bedeuten aber kein Versagen der Dichtwand. Die Zuverlässigkeit von Dichtwänden ist in der Regel sehr hoch. Die Dichtwände im Lausitzer Braunkohlenbergbau sind technologische Sonderformen einer Schlitzwand. Sie werden im Schlitzfräs- oder Schlitzgreifverfahren errichtet. Die Leistungsfähigkeit des Dichtwandbaus im Lockergestein nach dem Schlitzfräsverfahren (Bild 6) wurde in den letzten zehn Jahren von der LE-B (bzw. ihrer Rechtsvorgängerin) mit Industriepartnern bis auf 130 Meter Bautiefe gesteigert (Tabelle 11). Auch im Schlitzgreifverfahren können im Lockergestein Dichtwände mit Tiefen bis 90 Meter errichtet werden. Im Jahr 2019 hat die LMBV eine bis 30 Meter tiefe Schlitzwand zur Wasserhaltung der im Bau befindlichen WBA Plessa im Schlitzgreifverfahren herstellen lassen.

Tabelle 11: Realisierte und im Bau befindliche Dichtwände der LE-B im Lausitzer Braunkohlenrevier.

Tagebau	Verfahren	Bauzeit	Länge [km]	Tiefenbereich [m]
Cottbus-Nord	Schlitzgreifverfahren	1993-1998	7,1	51-72
	Schlitzfräsverfahren	2001-2007		
Jänschwalde	Schlitzfräsverfahren	1979-2000	10,7	52-85
		2007-2009		
Reichwalde	Schlitzfräsverfahren	2009-2014	4,2	37-50
		2015-2024 (geplant)	7,7	50-90
Welzow-Süd	Schlitzfräsverfahren	2010-2022 (geplant)	10,6	95-120

Die Investitionen in den Bau einer Dichtwand sind vergleichsweise hoch. Wenn jedoch eine Dichtwand zum dauerhaften Verbleib bestimmt ist, amortisieren sich die Investitionen gegenüber alternativen Maßnahmen mit vergleichbarer hydraulischer Wirkung, wie z. B. Brunnenriegel oder Infiltrationstrassen, sehr schnell. Der Bau einer Dichtwand erfolgt ohne Flächenverlust und ohne bleibende Nutzungseinschränkungen. Auf der Dichtwandtrasse verbleibt kein Bauwerk. Der Rückbau oder das Schlitzten der Dichtwand entfallen im Regelfall.

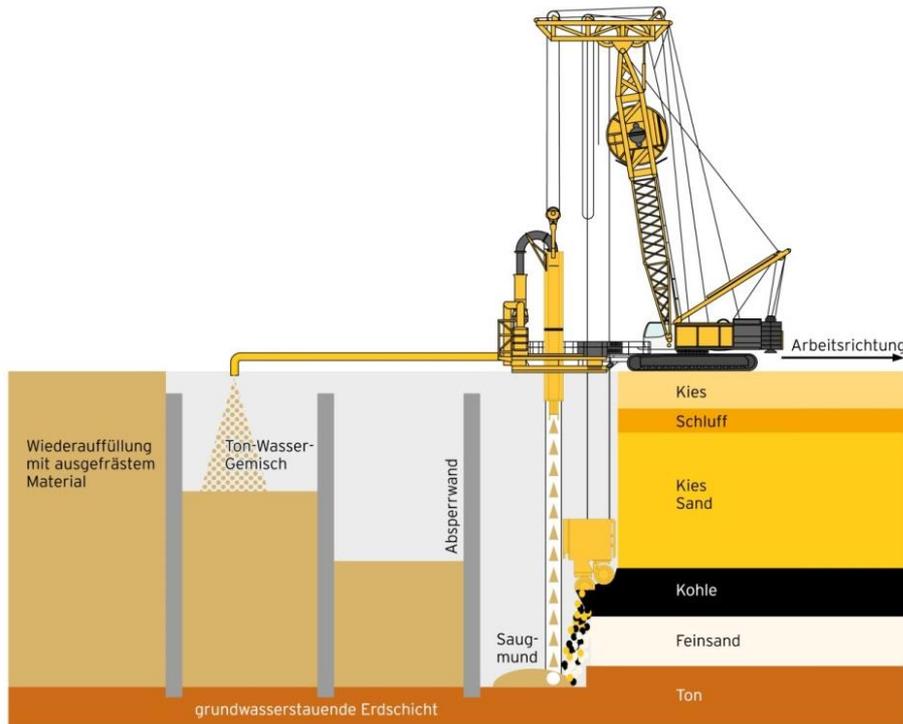


Bild 6: Prinzipskizze zur Errichtung einer Dichtwand im Lockergestein mit dem Schlitzfräsverfahren, Quelle: Arnold & Fisch (2013).

Infiltration

Eine Möglichkeit zur Verringerung nachteiliger Auswirkungen des Braunkohlenbergbaus auf Fließgewässer-OWK ist die Anwendung von Infiltration und Versickerung:

- zur Stabilisierung des Wasserhaushaltes in grundwasserabhängigen Landökosystemen (z. B. Laßzinswiesen bei Peitz) und
- für die Zufuhr von Substanzen und Nährstoffen in den Grundwasserleiter bei in-situ-Behandlungsverfahren (z. B. Feldversuch zur heterotrophen Sulfatreduktion am Altarm der Spree am Wehr Ruhlmühle).

Die Infiltration kann mittels Brunnen, Infiltrationslanzen oder Sickerschlitzen direkt in den Grundwasserleiter oder oberflächennah aus Gräben oder Teichen über die Bodenzone erfolgen.

Abfangen

Zum Abfangen stofflich belasteter Grundwasserströme vor dem Eintritt in Oberflächengewässer und zur Wasserhaltung sind verschiedene Verfahren geeignet. Ihre Auswahl hängt wesentlich von den hydrogeologischen und Standortgegebenheiten ab. In der bergbaulichen Praxis haben sich offene Gräben, Dränagen und Brunnenriegel bewährt. Letztere werden überwiegend als Vertikal- und untergeordnet als Horizontalfilterbrunnen (Bild 7) ausgeführt. Bei eisenhaltigem Grundwasser kann es infolge der Belüftung zur Ausfällung von Eisenverbindungen (Verockerung) kommen, die entsprechende Reinigungs- bzw. Regenerierungsmaßnahmen erforderlich machen.

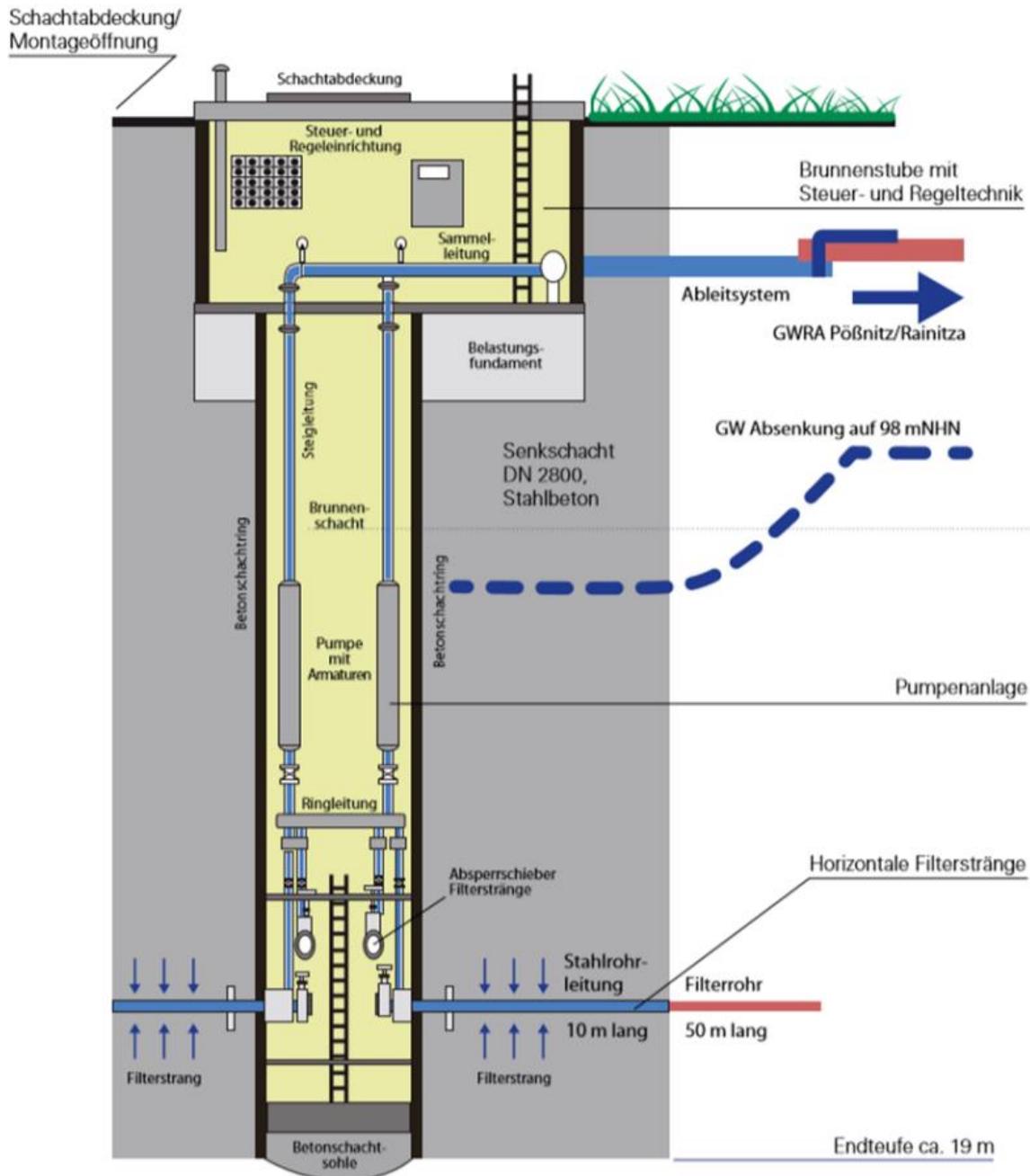


Bild 7: Querschnitt eines Horizontalfilterbrunnens, Quelle: LMBV.

5.2.2.3 Physikalische Behandlungsverfahren

Filtrationsverfahren

Die **Langsamsandfiltration** ist bevorzugt für neutrale, nicht versauerungsdisponierte Bergbauwässer mit geringen bis moderaten Gehalten an Eisen(III) $< 10 \text{ mg/L}$ geeignet. Enthalten die Rohwässer gelöste Eisen(II)ionen, sind bei der Anlagenkonzeption ausreichend hohe Verweilzeiten im Überstau- und Filterraum vorzusehen, die dessen Oxidation und Hydrolyse ermöglichen. Das Verfahren ist nicht zur Abreicherung von Sulfat und zur Neutralisation geeignet, arbeitet jedoch zuverlässig und kann bei geringen Volumenströmen als technischer Festbettfilter ausgeführt werden. Bei größeren Wassermengen sind naturräumliche Anlagen (Filterbecken) vorzuziehen. Die Langsamsandfiltration wird zur Abtrennung von Trübstoffen

z. B. bei der künstlichen Grundwasseranreicherung in Wasserwerken genutzt. Die geringe Filtergeschwindigkeit gewährleistet in Kombination mit angepassten konstruktiven Lösungen für den Zulauf in den Überstauraum eine gleichmäßige Belastung des Filters. Bei Bedarf (hohe Trübstoff- und Eisengehalte) können Absetzbecken vorgeschaltet werden. Das Klarwasser wird unter dem Filter nach der Passage der Filterkiesschüttungen mittels Dränagerohren, Gräben oder in Wasserbecken gefasst. Der Flächenbedarf ist hoch. Das Verfahren kommt jedoch ohne den Einsatz von Chemikalien und bei ausreichendem Gefälle auch ohne elektrischen Strom für Pumpen aus, was eine naturräumliche Anlagenkonzeption ermöglicht. Die Filterreinigung erfolgt mit hohem Arbeitsaufwand durch das Abtragen (Schälen) der oberen Schmutzschicht sowie durch das Reinigen, Lockern und Waschen des Filtersandes, Mutschmann & Stimmelmayer (2002). Die mittleren Filtrationsgeschwindigkeiten betragen in technischen Anlagen etwa 0,1-0,2 m/h.

Bei der **Schnellfiltration** sind die mittleren Filtrationsgeschwindigkeiten mit 5-20 m/h deutlich höher als bei der Langsamsandfiltration. In entsprechenden Batterien von Druckbehältern mit Querschnittsflächen von 2 bis 10 m² werden in Wasserwerken Volumenströme bis 0,03 m³/s behandelt.

Die Filtration über **Decarbolith** kann für Bergbauwässer mit niedrigen Eisen-, Mangan- und Aluminiumkonzentrationen angewendet werden. Dabei erfolgt eine Entsäuerung, wobei die hohen pH-Werte die Oxidation des gelösten zweiwertigen Eisens und Mangans begünstigen. Die Reaktionsprodukte werden im Filterbett zurückgehalten.

Auf Sulfat haben Filtrationsverfahren keine Wirkung.

Adsorptionsverfahren

Ionenaustauschverfahren sind für unterschiedlichste Behandlungsziele geeignet und optimierbar, bis hin zur Vollentsalzung von Wasser. Unter anderem können Metallionen wie Fe²⁺, Fe³⁺, Zn²⁺, Ni²⁺, Cd²⁺ und Arsenat aus Rohwässern abgeschieden werden. Eine Sulfat-abtrennung ist mit OH-Anionenaustauschern möglich. Störend wirken Schwebstoffe, organische Substanzen, hohe Eisengehalte, Mangan und andere Stoffe, die ggf. eine Vorreinigung erforderlich machen, Mutschmann & Stimmelmayer (2002). Die Ionenaustauscher werden mit der Zeit verbraucht und müssen regeneriert bzw. ersetzt werden. Bei hoch belasteten Wässern sind die Regenerationsintervalle entsprechend kurz. Die konzentrierten Restlösungen sind zu entsorgen oder zu verwerten. Für die großmaßstäbliche Behandlung von Bergbauwässern werden Ionenaustauschverfahren aus Kostengründen bislang wenig eingesetzt, zumal eine Aufbereitung auf Trinkwasserqualität nicht erforderlich ist, LfULG (2019a). Die Anwendungen von Ionenaustauschverfahren im Bergbau beschränken sich im Wesentlichen auf die Abtrennung vermarktungsfähiger Endprodukte, LfULG (2013b).

Zeolithe sind für die Abtrennung von Metallen, wie z. B. Zink, Kupfer, Mangan und Cadmium, aus Bergbauwässern geeignet. Allerdings werden dreiwertiges Eisen und Aluminium bevorzugt ausgetauscht, LfULG (2019a). Da dadurch die Austauscherplätze belegt werden, ist bei erhöhten Konzentrationen dieser Ionen eine entsprechende Reinigungsstufe vorzuschalten. Die spezifischen Kosten von Zeolithen sind sehr hoch. Die verbrauchten Zeolithe müssen entsorgt werden. Das hohe Abfallvolumen schränkt die Anwendung des Zeolith-Verfahrens auf Spurenstoffe ein.

Die Abtrennung organischer Spurenstoffe aus Wasser durch Adsorption an körniger oder pulverförmiger **Aktivkohle** ist in der Wasseraufbereitung Stand der Technik und weit verbreitet, Mutschmann & Stimmelmayer (2002). Eher selten wird das Verfahren zur Eliminierung anorganischer Stoffe, wie z. B. toxischer Metalle, eingesetzt. Bei störenden Verunreinigungen des Rohwassers durch Trübstoffe ist ggf. eine Vorreinigung erforderlich. Technische Anwendung findet Aktivkohle u. a. bei der Filtration und in Sedimentationsanlagen. Die spezifischen Kosten von Aktivkohle sind sehr hoch. Die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens hängt wesentlich davon ab, ob es gelingt, die erschöpfte Aktivkohle zu regenerieren. Für Wässer mit erhöhten Eisenkonzentrationen ist das Verfahren nicht geeignet.

Membranverfahren

Die Anwendung von Membranverfahren zur Behandlung von bergbaulich belasteten Wässern ist nicht Stand der Technik. Erste Erfahrungen zur Eignung und Wirtschaftlichkeit der **Membranelektrolyse** mit unterschiedlichen Rohwässern liegen von einer kleintechnischen Pilotanlage am Standort der GWRA Rainitza vor, LMBV (2012). Die Untersuchungen unter Praxisbedingungen haben gezeigt, dass in Abhängigkeit von der Beschaffenheit der Rohwässer folgende Ergebnisse erreicht werden können:

- bei CO₂-Injektion eine Sulfatabtrennung von 40 bis 45 % (max. 60 %),
- eine partielle Abscheidung von Eisen (bis ca. 50 % bei sehr geringen Ausgangskonzentrationen von ca. ≤ 1 mg/L und bis ca. 13 % bei sehr hohen Ausgangskonzentrationen um 700 mg/L),
- eine partielle Abscheidung von Aluminium und Mangan sowie
- bei CO₂-Injektion Aufbau einer Pufferkapazität von ca. 2 bis 10 mmol/L.

Das Verfahren ist bevorzugt für saure Wässer geeignet, um Kalkablagerungen in der Anlage vorzubeugen sowie Synergieeffekte der Metallabscheidung, der Neutralisation und des Aufbaus eines Hydrogencarbonatpuffers zu nutzen. Die Eisenkonzentrationen der Rohwässer sollten jedoch unter 10 mg/L liegen, da hohe Eisenkonzentrationen die Membranen beanspruchen und häufige Spülprozesse erforderlich machen. Bei Sulfatkonzentrationen < 500 mg/L ist die Effizienz der Sulfatabtrennung gering.

Vorteile des Verfahrens sind vor allem die vollständige Automatisierbarkeit, der geringe Flächenbedarf und die modulare Bauweise, die eine beliebige Anlagengröße ermöglichen. Der praktischen Anwendung der Membranelektrolyse für die Behandlung bergbaulich belasteter Wässer stehen jedoch viele Nachteile gegenüber. Das sind sehr hohe Investitions- und Betriebskosten. Insbesondere der Energieverbrauch ist sehr hoch. Weitere Nachteile sind das erforderliche Entsorgungsmanagement für die anfallenden Schlämme und für das Konzentrat. Darüber hinaus besteht erheblicher Optimierungsbedarf für einen großtechnischen Dauerbetrieb aufgrund von Unsicherheiten hinsichtlich der Gesamtnutzungsdauer der Anlagen, der Membranstandzeiten, der Reinvestitionsintervalle, der Einsatzstoffmengen und des Spülregimes. Es wurden zahlreiche Versuche unternommen, das Verfahren kostengünstiger zu gestalten, z. B. durch die Sequestration von CO₂, die Erzeugung von energetisch nutzbarem Wasserstoff und die Herstellung von Ammoniumsulfatdünger als verwertbares Koppelprodukt. Diese Ansätze sind an nicht kalkulierbaren Marktbedingungen (langfristiger Bedarf und Preisentwicklung z. B. der CO₂-Sequestration und des Düngers), genehmigungsrechtlichen Hürden (Zulassung des Düngers) und Anforderungen an die Infrastruktur (z. B. die Einspeisung von H₂ in Gasleitungen) gescheitert.

Mit dem Verfahren der **Nanofiltration** lassen sich u. a. die zweiwertigen Sulfat-, Calcium- und Magnesiumionen sowie größere einwertige Ionen von Schwermetallen mit hohem Wirkungsgrad aus neutralen und oxischen Wässern separieren. Damit kann dieses Verfahren zur Abtrennung von Sulfat aus bergbaubeeinflussten Wässern eingesetzt werden. Das Rohwasser muss jedoch weitgehend frei von Eisen und Aluminium sein. Deshalb ist ggf. eine Metallabscheidung vorzuschalten. Das Verfahren erfordert einen sehr hohen Energieaufwand.

Das Verfahren wird in der Praxis u. a. für die Aufbereitung von Grund- und Oberflächenwässern zu Trinkwasser oder in der Industrie zur Brauchwassererzeugung mit Volumenströmen von wenigen Litern pro Sekunde bis $> 1 \text{ m}^3/\text{s}$ eingesetzt. Während das Verfahren in der Trinkwasseraufbereitung Stand der Technik ist, wird es zur Aufbereitung bergbaubeeinflusster Wässer eher selten eingesetzt. In der Lausitz wurden entsprechende Untersuchungen im Labormaßstab von der BTU Cottbus (heute: BTU Cottbus-Senftenberg) mit Ablaufwässern von Grubenwasserreinigungsanlagen durchgeführt, Preuß et al. (2007).

Störend wirken sich auf das Verfahren Ablagerungen von Mineralneubildungen, wie z. B. Gips, auf den Membranen (Scaling) und das Ausfallen von Kolloiden und Metallhydroxiden (Fouling) aus. Dadurch erhöht sich der Energieverbrauch, die Reinigungsleistung sinkt und es werden zusätzliche Aufwendungen zur Vor- und Nachbehandlung des Wassers, Spülungen mit Reinigungsmitteln etc. notwendig.

Bei der Nanofiltration bergbaulich beeinflusster Gewässer reichern sich im Konzentrat oft Sulfat und Calcium an, wobei es zu einer Gipsübersättigung kommen kann. Diese kann in einem zusätzlichen Verfahrensschritt abgebaut werden. Dabei wird die bevorzugte Kristallisation an vorhandenen Gips-Kristallisationskeimen genutzt, LfULG (2019a). Die gipsgesättigte Restlösung wird in den Prozess zurückgeführt (Bild 8).

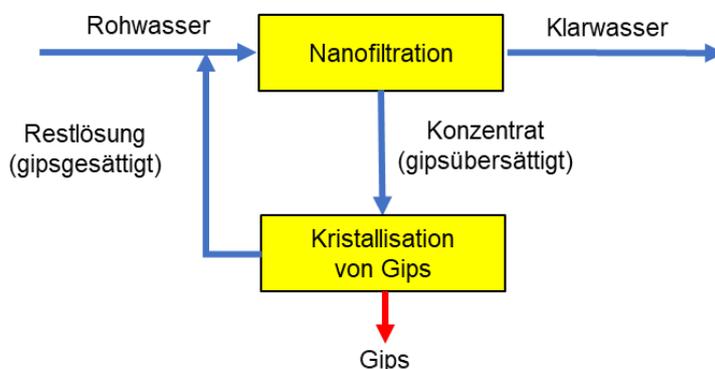


Bild 8: Verfahrensschema der Sulfatabscheidung mittels Nanofiltration und einer zusätzlichen Kristallisation von Gips.

In LfULG (2019a) werden folgende Reinigungsleistungen für die Nanofiltration angegeben:

- Gesamtmineralisation 92 % bis 98 %,
- Sulfat 87 % bis 99 % und Konzentrationsminderung von 2.500 mg/L auf $< 100 \text{ mg/L}$,
- Eisen 92 % bis 100 %.

Die Betriebskosten werden im Wesentlichen von den Energiekosten bestimmt. Der Energieaufwand bei der Aufbereitung zu Trinkwasser wird für Membranverfahren mit 4 bis 9 kWh/m³ angegeben. Der Einsatz von Chemikalien (z. B. für Anti-Scaling- und Anti-Fouling-Maßnahmen) ist dagegen gering.

5.2.2.4 Chemische Behandlungsverfahren

Chemische Neutralisation

Die chemische Neutralisation von Bergbauwässern wird in verschiedenen Technologien angewendet. Diese unterscheiden sich hinsichtlich des zu behandelnden Mediums (gefasstes Grundwasser, Standgewässer, Fließgewässer), der Art des Neutralisationsmittels (Branntkalk, Weißfeinkalk oder Kreidekalk, seltener Soda) und ihrer Applikation (fest, flüssig oder als Suspension), der Lokalität der Anwendung ex situ in technischen Anlagen (GWRA, GWBA, WBA) oder in situ in Bergbaufolgeseen (Inlake-Wasserbehandlung) oder in Fließgewässern (sogenannte Flusskläranlagen). Neben den technischen Anlagen (Bild 10) kann die chemische Neutralisation auch in naturnahen Systemen angewendet werden, die sich dann zu sogenannten hybriden Anlagen weiterentwickeln.



Bild 9: GWRA Rainitza im Jahr 2012, Quelle: LMBV.

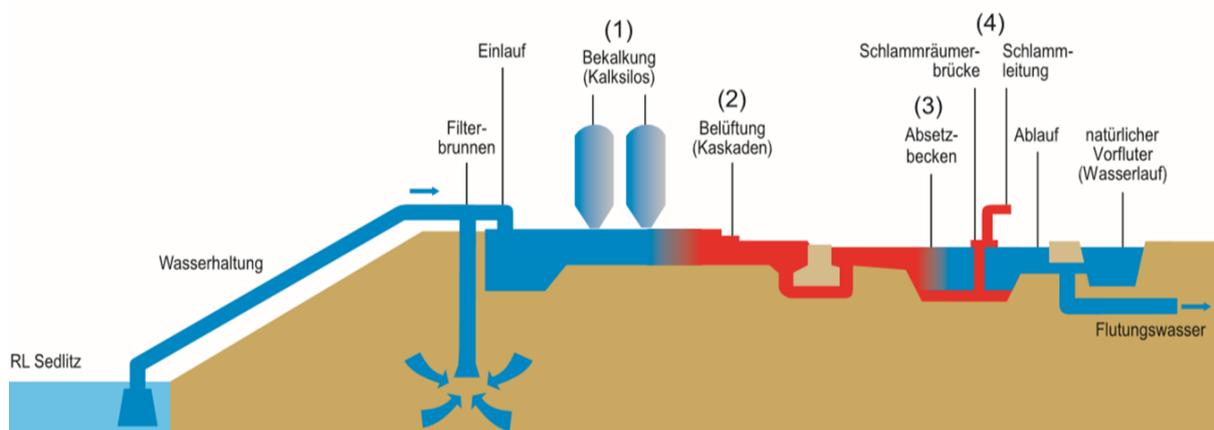


Bild 10: Schematische Darstellung der GWRA Rainitza, Quelle: LMBV.

In Abhängigkeit von der Beschaffenheit der Rohwässer, des Neutralisationsmittels und der Technologie fallen bei der chemischen Neutralisation Reststoffe mit einer großen Bandbreite der stofflichen Zusammensetzung an. In GWRA, GWBA und WBA sind das überwiegend neutrale und schwach alkalische Eisenhydroxidschlämme, seltener dominant karbonathaltige Mischschlämme. Bei Inlake-Verfahren in Bergbaufolgeseen, in Fließgewässern und bei der naturräumlichen Wasserbehandlung lagern sich die festen Reaktionsprodukte der chemischen Neutralisation zusammen mit natürlichen klastischen und organischen Sedimenten am

Gewässerboden ab. Der Anteil an organischen und mineralischen Fremdstoffen kann hier sogar dominieren. Für technische, naturräumliche und hybride Anlagen der Wasserbehandlung ist ein Schlammmanagement erforderlich. Die bei der Inlake-Wasserbehandlung erzeugten eisenhydroxidreichen Sedimente verbleiben in der Regel in den Seen.

Die Einsatzgrenzen der chemischen Neutralisation sind nahezu unbeschränkt. Sie reichen von 0,2...0,3 mmol/L z. B. bei der Wasserbehandlung an der Vorsperre Bühlow bis über 30 mmol/L, z. B. in der GWBA Tzschelln. Der besondere Anspruch an die Verfahren der chemischen Neutralisation besteht in einer Optimierung zwischen der Applikationstechnologie und der Auswahl eines kostengünstigen Neutralisationsmittels. Für die großskaligen Anwendungen in Bergbaufolgeseen und in der Spree werden bevorzugt Branntkalk, Weißfeinkalk oder feingemahlene Kalksteinmehl verwendet. In besonderen Fällen, z. B. im Grubenwasserabsetzbecken (GWAB) Raddusch, ist die Anwendung von Soda (Natriumcarbonat Na_2CO_3) vorteilhafter.

Pufferung

Zur praktischen Anwendung der CO_2 -Pufferung mit gibt es verschiedene konzeptionelle Ansätze. Die Technologien unterscheiden sich im Wesentlichen in der Art der Applikation des CO_2 und der alkalischen Stoffe sowie ihrer Einbringung in die Seen, LMBV (2017a). In der Lausitz wurden zum Eintrag von CO_2 -Gasmatten (am Lichtenauer See bzw. RL F, Schlabendorf-Nord, Bild 11), sogenannte High-Density-Hydrogencarbonat-Reaktoren (am Drehnaer See bzw. RL 12, Schlabendorf-Süd) sowie die Freistrahlscheibe) getestet. Alle Technologien erwiesen sich als gleich gut geeignet.



Bild 11: CO_2 -Applikation in Kombination mit einer Inlake-Wasserbehandlung im Lichtenauer See (links oben: Bekalkungsschiff „Barbara“; rechts: CO_2 -Tank und Verdampfersäulen; links unten: Begasungsrahmen, Fotos: LUG Cottbus).

Aerobe Verfahren der Eisenfällung

In Fließgewässern wird Eisen in einer großen Bandbreite des Verhältnisses zwischen zweiwertigem und dreiwertigem Eisen vorgefunden. Im Grundwasser liegt Eisen ausschließlich in der zweiwertigen Form vor. In der Regel dominiert deshalb in den Fließgewässern quellenah zweiwertiges Eisen und quellenfern dreiwertiges Eisen. Da das Eisen in der dreiwertigen Form ausgefällt wird, ist eine Oxidation des zweiwertigen Eisens erforderlich. Die Oxidation erfolgt unter Nutzung des atmosphärischen Sauerstoffs. Die Oxidationsgeschwindigkeit ist neben der Konzentration des zweiwertigen Eisens maßgeblich von der Sauerstoffkonzentration, von der Wassertemperatur und vom pH-Wert des Wassers abhängig, siehe MLUL (2013). Deshalb kann die Oxidationsgeschwindigkeit durch eine Neutralisationsmittelzugabe (siehe oben) wesentlich beschleunigt werden. Bei einem Massenverhältnis von $Fe : O \approx 7 : 1$ bei der Oxidation von Eisen durch Sauerstoff (s. Gleichung 3), wird Sauerstoff nur bei hohen Eisenkonzentrationen zum limitierenden Faktor. Diese Limitation wird in GWRA/GWBA/WBA mit hohen Eisenkonzentrationen im Rohwasser ($> 30 \text{ mg/L}$) durch den Einsatz von Belüftungskaskaden oder Wendelbelüftern behoben. In Fließgewässern und naturräumlichen bzw. hybriden WBA ist eine künstliche Belüftung meist nicht erforderlich.

Der zweite geschwindigkeitsbestimmende Schritt der aeroben Eisenabtrennung ist die Sedimentation. Je höher die Eisenkonzentration, desto effektiver ist in neutralisierten Gewässern in der Regel die Sedimentation. In den GWRA/GWBA/WBA der Bergbauunternehmen werden als Flockungsmittel überwiegend Weißfeinkalk (WFK) und Weißkalkhydrat (WKH) in Trockendosierung oder als Suspension genutzt (Bild 12 und Bild 13). Das Flockungsmittel erfüllt hier gleichzeitig den Zweck eines Neutralisationsmittels. Das Weißkalkhydrat wird meist vor Ort aus Branntkalk hergestellt. Das Flockungsmittel beschleunigt durch Erhöhung des pH-Wertes ($\text{pH} > 8,5$) vor allem die Oxidation des zweiwertigen Eisens, befördert die Flockung und neutralisiert die bei der Hydrolyse entstehenden Säuren.



Bild 12: Reaktionsbecken der GWRA Rainitza mit den Zuläufen der Rohwässer und den Silos zur Trockendosierung des Flockungsmittels Kalkhydrat.

Durch den Einsatz von Flockungshilfsmitteln wird die Flockung (Ausfällung und Sedimentation) des Eisenhydroxides maßgeblich beschleunigt. Als FHM kommen überwiegend polymere FHM auf der Basis von Polyacrylamid (PAA) und Polyacrylat (PA) zum Einsatz. Diese FHM sind effizient, kostengünstig und ökologisch unbedenklich. Ihr Einsatz hat sich über Jahrzehnte und weltweit zur Behandlung metallreicher Wässer im Bergbau bewährt. Alternative Flockungshilfsmittel, z. B. auf der Basis von Chitin oder aktivierter Stärke, erfordern höhere spezifische Einsatzmengen für die gleiche Wirkung und sind zudem spezifisch teurer. Ihre Anwendung ist weder wirtschaftlich noch ökologisch begründet.

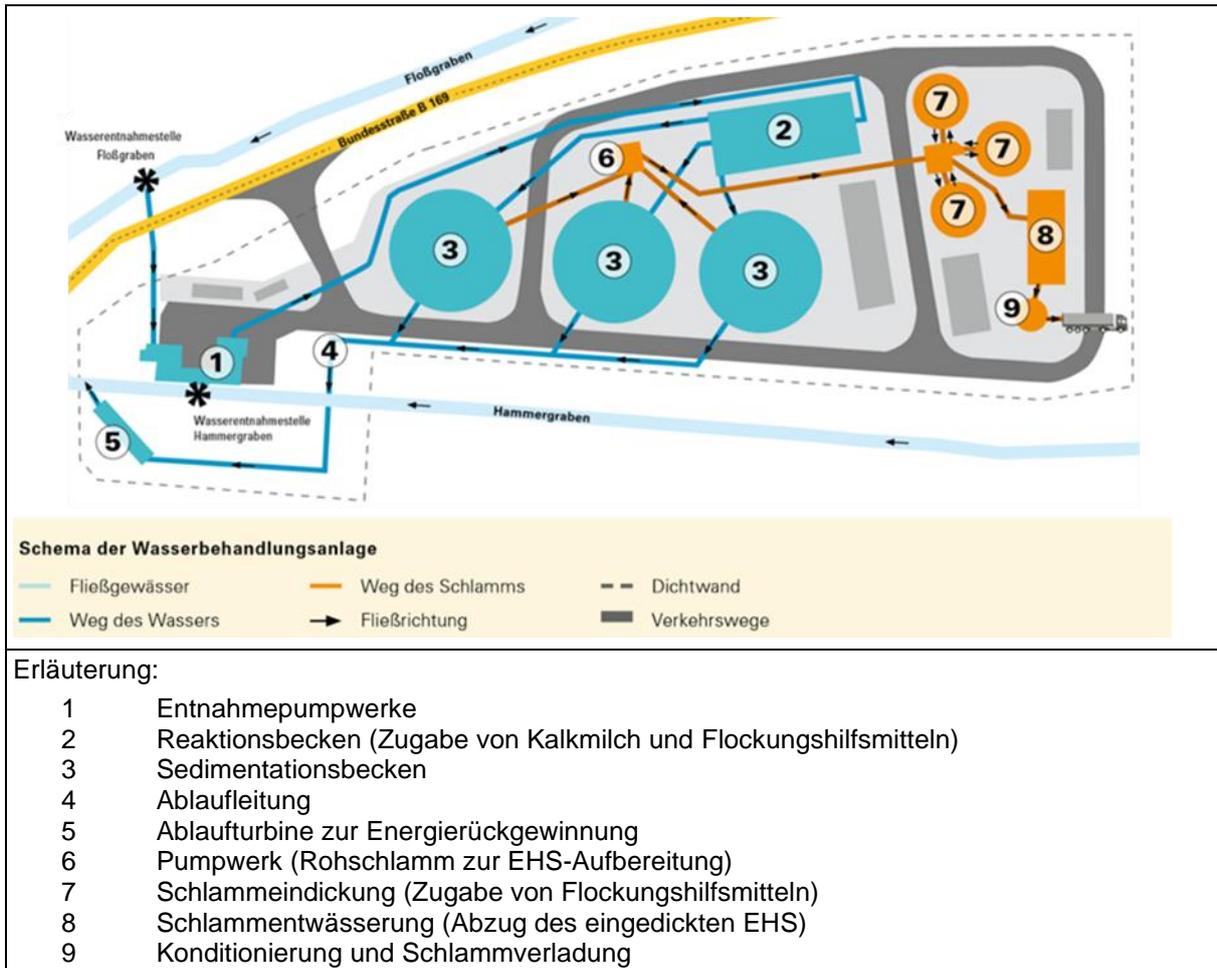


Bild 13: Funktionsweise der WBA Plessa, Quelle: LMBV.

Die Verweilzeiten des zu behandelnden, eisenreichen und ggf. versauerungsdisponierten Wassers in den GWBA bzw. GWRA und WBA kann durch die skizzierte Technologie auf wenige Stunden begrenzt werden. Mit den GWBA bzw. GWRA der Bergbauunternehmen LMBV, LE-B und LE-K wird der Stand der Technik zur Behandlung von Sumpfungswässern im Bergbau nicht nur deutschlandweit, sondern weltweit begründet (Tabelle 12).

Aus nicht versauerungsdisponierten Wässern erfolgt die Abscheidung von Eisen im Naturraum autark auch ohne den Einsatz von FM und FHM. Da die Prozesse bis zum gewünschten Reinigungsgrad sehr langsam sind, müssen lange Verweilzeiten vorgesehen werden. Je nach Belastung führen Verweilzeiten von einer bis vier Wochen zum Ziel. Sie erfordern entsprechend große Reaktions- und Absetzräume. Solche naturräumlichen Absetzteiche wurden von den Bergbaubetreibern bereits früher genutzt (Tabelle 13). Mit der Eisenbelastung der Fließgewässer erfahren sie nunmehr eine Renaissance.

Tabelle 12: Kennziffern von GWBA, GWRA und WBA im Lausitzer Braunkohlenrevier.

GWBA GWRA WBA	Betreiber	Mittlerer Durchsatz		Spanne der Eisenkonzentration im Rohwasser	FM		FHM	
		Aktuell	Kapazität		Art	Spezi-fischer Einsatz	Art	Spezi-fischer Einsatz
		m³/s	m³/s	mg/L				
Kringelsdorf	LE-B	2,8	4,0	25-30	WKH trocken	95	---	---
Tzschelln	LE-B	0,8	1,0	250-300	WFK	520	PAA/PA	0,40
Schwarze Pumpe	LE-B	2,7	4,5	40-80	WKH	115	PAA/PA	0,25
Am Weinberg	LE-B	0,3	0,5	60-130	WKH trocken	105	PAA/PA	0,50
Jänschwalde	LE-K	3,1	5	2-8	WFK	56	PAA/PA	0,50
Rainitza	LMBV	1,3	2,0	PS Bahnsdorf: 5-20 Horibrunnen Sfb: 20-40	WKH	120	PAA/PA	0,06
Pößnitz	LMBV	1	2,3	60-80	WFK trocken	120	PAA/PA	0,12
Plessa *)	LMBV	1,1	1,6	10-80 (10-130)	WFK	114 (150)	PAA/PA	0,4

*) Geplante Inbetriebnahme im Jahr 2022

Tabelle 13: Kennzeichnung ausgewählter naturräumlicher Wasserbehandlungsanlagen der Bergbaubetreiber (alle außer Betrieb i.S.d. bergbaulichen Zweckbestimmung).

Anlage	Betreiber	Tagebau	Spanne der Eisenkonzentration	Fläche	Volumen	Kapazität bzw. Volumenstrom	Minimale Verweilzeit
			mg/L				
Klein Buckow	LE-B	Tgb. Welzow-Süd ⁽¹⁾	k. A.	7,5	0,150	3,3	0,5
	LE-B	Tgb. Welzow-Süd ⁽²⁾	k. A.			0,04	43
Vetschau	LMBV	Tgb. Seese-Ost ⁽¹⁾	k. A.	7,0	0,180	k. A.	k. A.
	LMBV	Vetschauer Fließ ⁽²⁾	3 - 30			0,3	6,9
Raddusch	LMBV	Tgb. Seese-Ost ⁽¹⁾	k. A.	1,3	0,026	1,0	0,3
	LMBV	Grundwasser ⁽²⁾	10 - 30			0,005	58
Wüstenhain	LMBV	Tgb. Gräbendorf ⁽¹⁾	k. A.	3,3	0,8	2,0	4,6
Großer Salzteich	LMBV	Tgb. Greifenhain ⁽¹⁾	k. A.	12,8	0,11	1,0	1,3
Heideteich Reddern	LMBV	Tgb. Greifenhain ⁽¹⁾	k. A.	8,5	0,073	1,0	0,8
Stoßdorfer See (RL C)	LMBV	Tgb. Schlabendorf-Süd und -Nord ⁽¹⁾	k. A.	91	3,27	1,0	38
Redlitzer See (RL 1)	LMBV	Tgb. Seese-West ⁽¹⁾	k. A.	18	0,67	1,0	7,8
Kittlitzer See (RL 1a)	LMBV	Tgb. Seese-West ⁽¹⁾	k. A.	14	0,56	4,0	1,6

⁽¹⁾ ursprüngliche Nutzung

⁽²⁾ aktuelle Nutzung

Die optimalen Bedingungen für die **Schwertmannitfällung** liegen nach LfULG (2018) im Bereich von $\text{pH} = 2,8$ bis $\text{pH} = 3,1$ sowie bei Sulfatkonzentrationen über 1.000 mg/L , Bigham et al. (1994). Niedrige Temperaturen im Winterhalbjahr verzögern die Oxidation des Eisen(II) und damit die Bildung von Schwertmannit. Unter sommerlichen Bedingungen kann die Sauerstoffnachlieferung zum limitierenden Faktor werden, Arnold & Uhlmann (2002).

In einer Pilotanlage auf dem Gelände der GWBA Tzschelln (LE-B) auf der Hochkippe des Tagebaues Nochten wurde getestet, ob die Schwertmannitfällung in einer ersten Reinigungsstufe gezielt zur Enteisung des stark eisen- und sulfathaltigen Sumpfungswassers, das vornehmlich aus der Kippe stammt, nutzbar ist (Bild 14).



Bild 14: Blick auf die Pilotanlage zur Schwertmannitfällung an der GWBA Tzschelln, Quelle: GEOS (2020).

In LfULG (2019a) wurde für diese Pilotanlage eine Eisenabreicherung von 200 bis 700 mg/L auf 100 bis 300 mg/L angegeben, woraus sich eine Reinigungsleistung von ca. 50% ableiten lässt. Die Sulfatabreicherung lag bei Ausgangskonzentrationen um 2.000 mg/L bei etwa 10% bis 20% . Die vergleichsweise geringen Fällungsraten, die langen Verweilzeiten im Versuchsreaktor (1 bis 2 Std.) und vor allem das eingeschränkte Verwertungspotenzial des abgeschiedenen Schwertmannits sind die wesentlichen Hindernisse für eine großtechnische Anwendung des Verfahrens. Der behandelte Volumenstrom in der Versuchsanlage lag bei ca. 11 L/s . Die Investitionskosten werden in LfULG (2019a) bei einer Anlagenkapazität von $0,277 \text{ m}^3/\text{s}$ mit 800.000 € und die Wartungs- und Unterhaltungskosten mit $0,03 \text{ €/m}^3$ angegeben. Es fehlen Angaben zu den Kosten für die Entsorgung der anfallenden, stark sauren Schwertmannitschlämme.

Aerobe Sulfatfällung

Die **Bariumsulfatfällung** erfolgt exakt stöchiometrisch und erfordert einen sehr hohen Fällmitteleinsatz. Zur Fällung von 1.000 mg/L Sulfat aus dem Sumpfungswasser oder aus einem Grundwasser sind etwa 2.200 mg/L Bariumchlorid erforderlich. Der Rohstoffeinsatz ist enorm und teuer. Dabei entstehen außerdem sehr großen Mengen eines toxikologisch problematischen Schlammes. Das Reinwasser wird anstelle des Sulfats mit einer moläquivalenten Chloridkonzentration belastet. Für die Minderung der Sulfatkonzentration im Sumpfungswasser und in Fließgewässern ist das Verfahren der Bariumsulfatfällung nicht geeignet. Es ist wirtschaftlich nicht verhältnismäßig und verlagert lediglich das Umweltproblem.

Auf Basis der **Ettringitfällung** wurden mehrere unterschiedlich komplexe Technologien entwickelt. In LfULG (2013a) und LfULG (2019a) wird auf die SAVMIN™-Variante und die Walhalla-Variante näher eingegangen. Bei SAVMIN™ wird der gebildete Ettringit mit Schwefelsäure aufgelöst und dabei Aluminiumhydroxid zurückgewonnen, das in den Kreislauf zurückgeführt wird (Bild 15). Walhalla sieht den Einsatz von Calciumaluminaten in Form von Tonerdeschmelzzementen vor. Bei hohen Metall- und Sulfatkonzentrationen der Rohwässer kann dem Ettringit-Verfahren eine Fällung von Metallhydroxiden bzw. Gips vorgeschaltet werden. Damit sind technische Lösungen möglich, die weitgehend unabhängig von der Beschaffenheit der Rohwässer sind. Wegen der vergleichsweise moderaten Sulfatkonzentrationen in den bergbaubeeinflussten Fließgewässern in der Lausitz würde sich hier eine vorgeschaltete Gipsfällung erübrigen.

Mit der Ettringitfällung können nach LfULG (2019a) Sulfatkonzentrationen $< 300 \text{ mg/L}$ im Reinwasser erreicht werden. Neben der Sulfatabtrennung kommt es zudem zu einer effektiven Mitfällung von Metallen und Halbmetallen (z. B. Eisen, Mangan, Arsen, Cadmium) und weiteren Stoffen (z. B. Fluor). Neben diesen Vorteilen weist die Ettringitfällung nach LfULG (2019a) eine Reihe von Nachteilen auf. Dazu gehören vor allem:

- große Schlammengen,
- hohe Betriebskosten für Einsatzstoffe und Energie,
- lange Aufenthaltszeiten im Ettringit-Reaktor von ca. 2 Std. bis über 10 Std. sowie
- störender Einfluss von Natriumionen.

Die Ettringitfällung ist ein potenzielles Verfahren zur Abtrennung von Sulfat aus Bergbauwässern. Es wurde in der Vergangenheit u. a. in kleintechnischen und Pilotanlagen in Südafrika und den USA getestet. Im Gewinnungs- und Sanierungsbergbau in Deutschland kam es bisher nicht zum Einsatz.

Es liegen zudem keine verlässlichen Kostangaben vor. Diese Nachteile sind verantwortlich dafür, dass das Verfahren der Ettringitfällung bisher noch nicht großtechnisch eingesetzt wurde und nicht den Stand der Technik erreicht hat.

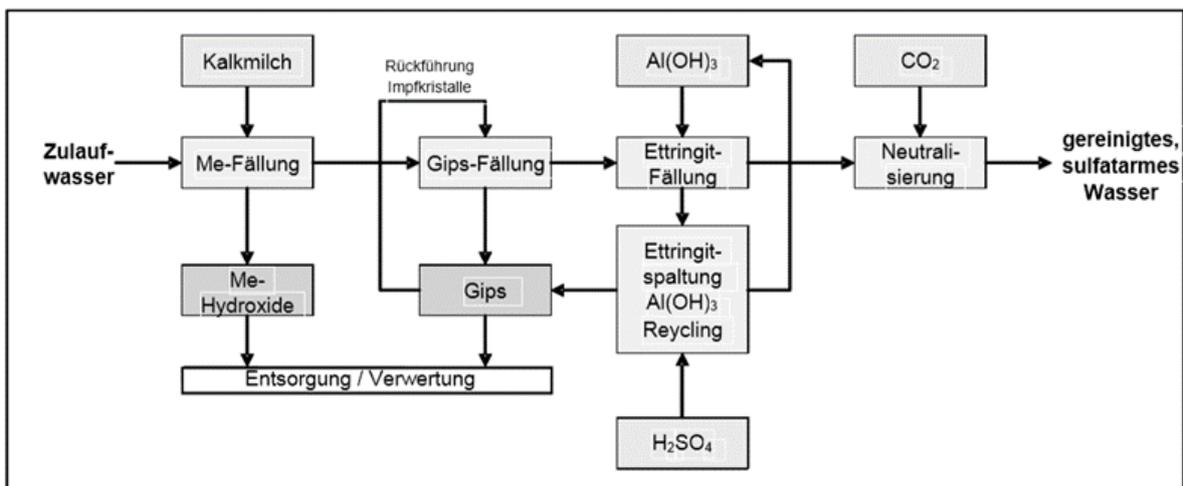


Bild 15: Verfahrensschema der Ettringitfällung nach der SAVMIN™-Technologie, Quelle: LfULG (2013a).

5.2.2.5 Biologische Behandlungsverfahren

Das Verfahren der **heterotrophen Sulfatreduktion** kann in vielfältigen technologischen Ausprägungen zur Behandlung von Bergbauwässern angewendet werden. Es lassen sich drei grundsätzliche Einsatzbereiche unterscheiden:

- als Untergrundwasserbehandlung (in situ),
- in naturräumlichen Wasserbehandlungsanlagen als VFR oder HFR (ex situ) und
- als Behandlung in technischen Festbettreaktoren (ex situ).

Zur Untergrundwasserbehandlung mittels der heterotrophen Sulfatreduktion wurden von der LMBV im Lausitzer Braunkohlenrevier drei Pilotprojekte durchgeführt:

- 1) in den pleistozänen Grundwasserleitern im südlichen Zustrombereich zum Senftenberger See, Schöpke (2004),
- 2) in der Kippe auf dem sogenannten Skadodamm, Schöpke et al. (2011), und
- 3) in den pleistozänen Grundwasserleitern der Spreewitzer Rinne im Zustrombereich zum Altarm der Spree am Wehr Ruhlmühle, FIB (2018).

Die Pilotversuche wurden jeweils mit synthetischen Organika (Glycerin) durchgeführt. Zur Gewährleistung der Langzeitstabilität der heterotrophen Sulfatreduktion mussten den Reaktionsräumen Nährstoffe (Stickstoff und Phosphor) zugeführt werden. Der Vorteil der Untergrundwasserbehandlung mittels der heterotrophen Sulfatreduktion besteht in der Größe des Reaktionsraumes und des Verbleibs der Reaktionsprodukte im Untergrund. Andererseits sind die Prozesse nur bedingt steuerbar und der Reaktionsraum ist aufgrund natürlicher Heterogenitäten bzw. der Kippenstruktur nur schwer beherrschbar.

Im Rahmen von Technikumsversuchen wurden von der LMBV Untersuchungen zur autotrophen Sulfatreduktion mit Wasserstoff durchgeführt, Bilek et al. (2007). Die **autotrophe Sulfatreduktion** sollte in Tiefschichtreaktoren mit einer Dimension von etwa 25 Meter Tiefe und 0,8 Meter Durchmesser erfolgen. Die Bereitstellung des Wasserstoffs war durch elektrochemische Wasserspaltung vor Ort vorgesehen. Der spezifische Energieverbrauch wurde mit rund 0,11 kWh pro Mol Wasserstoff bzw. 0,44 kWh pro Mol Sulfat ermittelt. Die Reinigungsleistung eines Reaktors wurde mit rund 3 kg SO_4/d , bezogen auf einen täglichen Durchsatz von 1,8 m^3 Grundwasser veranschlagt. Neben der Elektroenergie waren Kohlendioxid als Stripppgas und Aktivkohle zur Sorption des rückoxidierten Schwefels kontinuierlich erforderlich. Allein schon die niedrigen Leistungsparameter zeigen, dass die autotrophe Sulfatreduktion für die Maßstäbe des Braunkohlenbergbaus nicht in Betracht kommt. Die Kosten der in dem Vorhaben entworfenen Behandlungsanlage waren exorbitant.

Für eine Anwendung biologischer Verfahren der Wasserbehandlung im Bergbau gibt es weltweit nur wenige gut dokumentierte Beispiele. Eine umfassende Bewertung dieser Versuche wurde im Vita-Min-Teilprojekt 1.9 LfULG (2018) gegeben. Die Bearbeitungen konzentrierten sich auf Grund- und Oberflächenwasser im sächsischen Erz- und Braunkohlenbergbau. Anhand umfangreicher Recherchen wurden die Eignung der Verfahren, ihre Grenzen und ihre Wirtschaftlichkeit bewertet. In der Studie wird ausgeführt, dass die meisten Verfahren geeignet sind, die Konzentrationen der bergbaubedingten Schadstoffbelastung zu mindern, wobei es Einschränkungen beim Erreichen der Normen der OGewV bzw. GrwV gibt. Weiterhin wird ausgeführt, dass diese Vorhaben von den Sanierungsträgern meist aus wirtschaftlichen Gründen wieder eingestellt wurden. Keine der getesteten Technologien ist bislang über den Stand von P&D-Vorhaben hinausgekommen.

Als generelle Hindernisse für eine umfängliche Anwendung biologischer Verfahren zur Sanierung bergbaulich belasteter Wässer werden folgende Aspekte genannt:

- verfügbare Kohlenstoffquelle (kostengünstig, reaktiv, dauerhaft gut durchlässig (fest) bzw. flüssig zur Injektion in den Grundwasserleiter),
- Temperaturabhängigkeit (verminderte Reaktionsgeschwindigkeit im Winter),
- Gewährleistung dauerhaft anoxischer Verhältnisse zur Vermeidung der Rücklösung der Reaktionsprodukte,
- erforderliche Sauerstoff- und Nitratfreiheit der Wässer,
- hoher Flächenbedarf und
- Umgang mit den Schlämmen und Rückständen bei ex-situ-Anwendungen.

Weiterhin wird in LfULG (2018) ausgeführt, dass die technologische Umsetzung und Wirtschaftlichkeit von den spezifischen Standortbedingungen abhängig sind. Als Einsatzmöglichkeiten werden gesehen:

- geringe Volumenströme,
- lokale Hotspots und
- die in-situ-Behandlung hochbelasteter Grundwasserströme.

5.2.2.6 Zusammenfassung

Für die betrachtete Vorauswahl an Verfahren und Technologien zur Minderung der bergbaubedingten Beeinflussung von Fließgewässern durch Eisen, Sulfat und Versauerung wurde ihre Eignung hinsichtlich des Mediums (Grundwasser bzw. Oberflächenwasser) und der Anwendung in situ bzw. ex situ einer Bewertung unterzogen (Tabelle 14). Dabei wurde eine Abstufung in drei Kategorien vorgenommen: geeignet, eingeschränkt geeignet und nicht geeignet. Hochgestellte Nummern in der Tabelle 14 sind Verweise auf konkrete Maßnahmen im Lausitzer Braunkohlenrevier, die in der Tabelle 15 bezüglich ihrer Funktionalität und Technik Klausel (Bild 4 in Abschn. 5.2.1) bewertet wurden. Genormte Verfahren der industriellen Abwasserbehandlung sowie Verfahren und Technologien, für die bislang keine großtechnische Anwendung im Gewinnungs- und Sanierungsbergbau gegeben ist, wurden in der Tabelle 14 mit den Symbolen „^o“ bzw. „*“ gesondert gekennzeichnet. In der Tabelle 16 wurden die Verfahren hinsichtlich ihrer Eignung für neutrale, versauerungsdisponierte bzw. saure Wässer eingeschätzt. Zudem wurde ihre chemische Wirksamkeit im Hinblick auf die bergbaurelevanten Kennwerte Sulfat, Acidität, Eisen(II), Eisen(III), Ammonium, Arsen, Cadmium, Nickel und Zink bewertet.

Tabelle 14: Bewertung der Einsatzbereiche der Verfahren.

Verfahrensprinzip	Verfahren	Medium (Einsatzbereich)					
		Grundwasser		Oberflächenwasser			
				See, Teich, Becken		Fluss, Fließ, Graben	
		In situ	Ex situ	In situ	Ex situ	In situ	Ex situ
Vergleichmäßigung	Wasserbewirtschaftung	---	---	☐	---	■ ¹	---
Hydraulische Verfahren (im Grundwasser)	Dichtwand	■ ²	---				
	Infiltration	■	---				
	Abfangen	■ ³	---				
Filtrationsverfahren	Langsamsandfiltration	---	☐	---	☐	---	■ ¹⁸
	Schnellfiltration	---	■ ^o	---	■ ^o	---	■ ^o
	Filtration über Decarbolith	---	■ ^o	---	■ ^o	---	■ ^o
Adsorptionsverfahren	Ionenaustausch	---	■ ^o	---	■ ^o	---	■ ^o
	Aktivkohle	☐	■ ^o	---	■ ^o	---	■ ^o
	Zeolith	---	■ ^o	---	■ ^o	---	■ ^o
Membranverfahren	Membranelektrolyse	---	☐ ^o	---	■ ^o	---	■ ^o
	Nanofiltration	---	■ ^o	---	■ ^o	---	■ ^o
Chemische Neutralisation	CaO	---	■ ⁴	☐	■ ⁵	☐	■ [*]
	Ca(OH) ₂	---	■ ⁴	☐	■ ⁵	☐	■ ⁶
	CaCO ₃	---	■ [*]	■ ⁵	■ ⁵	■ [*]	■ [*]
	Na ₂ CO ₃	---	■ [*]	■ ⁷	■ [*]	■ [*]	■ [*]
	NaOH	---	■ [*]	■ [*]	■ [*]	■ ⁸	■ [*]
Pufferung	CO ₂	---	---	■ ⁹	---	---	---
Aerobe Verfahren (Metallfällung)	Eisenoxidation	■ ¹⁰	---	■ ¹¹	---	☐	---
	Eisensedimentation passiv	---	---	■ ¹²	---	■ ¹³	---
	Eisenfällung mit FM/FHM	---	■ ⁴	☐	■ ⁴	☐	■ ¹⁴
	Schwermmetallfällung	---	■ ¹⁵	---	---	---	---
Sulfatfällung	Bariumsulfatfällung	---	■ [*]	---	■ [*]	---	■ [*]
	Ettringitfällung	---	■ [*]	---	■ [*]	---	■ [*]
Anaerobe Verfahren	Heterotrophe Sulfatreduktion	■ ¹⁶	---	☐	---	---	■ ¹⁷
	Autotrophe Sulfatreduktion	■ [*]	---	---	---	---	---

Erläuterung:

■	Grundsätzlich geeignet
☐	Eingeschränkt geeignet
---	Nicht geeignet
	Nicht zutreffend

Tabelle 15: Anwendung der Verfahren am Beispiel konkreter Maßnahmen.

Nr.	Maßnahmen	Technikklausel	
		aRdT/SdT	W&T
1	Flussgebietsbewirtschaftung (FZL)	■	
2	SBP Südraum: Planungen zur Dichtwand Lohsa II	■	
3	SBP Südraum: Abfangriegel als Brunnen, Dränagen und Gräben	■	
4	Konventionelle GWBA (LE-B) und GWRA (LMBV)	■	
5	Inlake-Wasserbehandlung (Lohsa II, Burghammer, Scheibe u. a.)	■	
6	Hybride WBA an Fließgewässern mit Kalkung (WBA Vetschau)	■	
7	Pilotversuch am GWAB Raddusch mit Soda		■
8	Neutralisation Lorenzgraben mit NaOH		■
9	Hydrogencarbonatpuffer am RL F, RL Scheibe und RL 12	■	
10	Unterirdische Enteisung	■	
11	F&E-Projekt des UFZ mit Enclosure im RL 111		□
12	Heideteich; WBA an Fließgewässern: WBA Eichow	■	
13	Absetzstrecken in Fließgewässern	□	
14	Wasserbehandlung an der Vorsperre Bühlow	■	
15	P&D-Projekt der GEOS an der GWRA Tzschelln		■
16	P&D-Vorhaben des FIB am Altarm an der Ruhlmühle		■
17	Feldversuch RAPS am Lorenzgraben		■
18	Planungen zum Umbau der WBA Eichow	■	
°	Genormte Verfahren der industriellen Abwasserbehandlung	■	

Erläuterung:

■	Funktionalität gegeben
□	Funktionalität unbefriedigend
	Anerkannte Regel der Technik (aRdT) oder Stand der Technik (SdT)
	Stand von Wissenschaft und Technik (W&T)

Die Bewertung der konkreten Maßnahmen in der Tabelle 15 macht deutlich, dass bis auf wenige Ausnahmen (Enclosure im RL 111; Absetzstrecken in Fließgewässern) ihre Funktionalität nachgewiesen wurde. Für die unbefriedigende Funktionalität dieser Verfahren macht der Gutachter Auslegungs- und Technologiemängel verantwortlich. Bei entsprechender Anpassung bzw. Weiterentwicklung verfügen diese Verfahren über das Potenzial zur Anwendungsreife. Größere Einschränkungen gibt es jedoch aufgrund der Technikklausel, da mehrere Verfahren die Kategorien „Stand der Technik (SdT)“ bzw. „Anerkannte Regel der Technik (aRdT)“ nicht repräsentieren. Die entsprechenden Verfahren können daher für zusätzliche kurz- und mittelfristige Maßnahmen nicht zur Anwendung empfohlen werden, weil die Ausführungsrisiken zu hoch und die Wirkung nicht einschätzbar sind.

Tabelle 16: Anwendungsbereiche und chemische Wirksamkeit der Verfahren.

Verfahrensprinzip	Verfahren	Anwendung			Chemische Wirksamkeit						
		Neutral	Versauerungsdisponiert	Sauer	SO ₄	Acid	Fe(II)	Fe(III)	NH ₄	Arsen	Cd, Ni, Zn
Verdünnung	Wasserbewirtschaftung	■	---	---	■	---	---	---	□	---	---
Hydraulische Verfahren	Dichtwand	■	■	■							
	Infiltration	■	■	■							
	Abfangen	■	■	■							
Filtrationsverfahren	Langsamsandfiltration	■	---	---	---	---	□	■	□	□	□
	Schnellfiltration	■	---	---	---	---	□	■	---	---	---
	Filtration über Decarbolith	■	□	---	---	□	■	□	---	---	---
Adsorptionsverfahren	Ionenaustausch	■	---	---	□	---	---	---	---	□	□
	Aktivkohle	■	---	---	---	---	□	□	□	□	■
	Zeolith	■	---	---	---	□	---	---	---	□	■
Membranverfahren	Membranelektrolyse	■	■	■	■	■	■	■	---	■	■
	Nanofiltration	■	---	---	■	■	---	---	■	■	■
Chemische Neutralisation	CaO	---	■	■	---	■	□	■	---	---	■
	Ca(OH) ₂	---	■	■	---	■	□	■	---	---	■
	CaCO ₃	---	■	■	---	■	□	■	---	---	■
	NaOH	---	■	■	---	■	□	■	---	---	■
	Na ₂ CO ₃	---	■	■	---	■	□	■	---	---	■
Pufferung	CO ₂	■	---	---	---	□	---	---	---	---	---
Aerobe Verfahren (Metallfällung)	Eisenoxidation	■	---	---	---	---	■	---	---	■	□
	Eisensedimentation passiv	■	---	---	---	---	---	■	---	□	□
	Eisenfällung mit FM/FHM	■	---	---	---	---	---	■	---	□	□
	Schwermmetallfällung	---	■	□	□	---	■	■	---	■	---
Sulfatfällung	Bariumsulfatfällung	■	---	---	■	---	---	---	---	---	---
	Ettringitfällung	■	---	---	■	---	□	□	□	□	□
Anaerobe Verfahren	Heterotrophe Sulfatreduktion	■	■	□	■	■	■	■	---	---	---
	Autotrophe Sulfatreduktion	■	■	■	■	■	■	■	---	---	---

Erläuterung:

■	Bevorzugt geeignet
□	Eingeschränkt geeignet oder Sekundäreffekt
---	Nicht geeignet
	Nicht zutreffend

5.2.3 Einsatzbereiche von Verfahren und Technologien

5.2.3.1 Bewertungsgrundlagen

In den letzten Jahrzehnten wurden im Gewinnungs- und Sanierungsbergbau in der Lausitz vielfältige Möglichkeiten zur Verringerung des bergbaulichen Einflusses auf Fließgewässer untersucht sowie entsprechende Maßnahmen getestet, erprobt und installiert. Auf der Basis dieses Wissens und der umfangreichen praktischen Erfahrungen wurden in den Vorgängerprojekten VODAMIN und Vita-Min sowie in weiteren Studien im Auftrag der Länder, Behörden und Bergbauunternehmen, hier insbesondere der LMBV und LE-B, potenziell geeignete Verfahren und Technologien herausgearbeitet. Dieses Paket wurde im Rahmen der vorliegenden Studie neu gegliedert und auf die Belange in der Lausitz zugeschnitten.

Die Ergebnisse der Vorgängerprojekte sowie der im Rahmen der vorliegenden Studie erhobenen Informationen zu technologischen und finanziellen Aspekten wurden zusammengefasst. Dabei wurden Aspekte mit besonderer Relevanz für die Einschätzung der Eignung von Verfahren und Technologien, soweit das möglich war, quantifiziert oder mittels speziell abgeleiteter Skalen halbquantitativ bewertet. Das betrifft vor allem das Behandlungsziel, Angaben zum Roh- und Reinwasser, den Stand der Technik sowie die Kosten. Außerdem wurden die Verfahren und Technologien den folgenden Prozessen zugeordnet:

- hydraulisch,
- physikalisch,
- chemisch,
- biologisch.

Beim Behandlungsziel wird nach:

- der Neutralisation,
- der Abscheidung von Eisen,
- der Minderung von Sulfat,
- dem Rückhalt von Cadmium, Nickel, Zink,
- dem Rückhalt von Arsen und
- der Elimination von Ammonium

unterschieden. Das entspricht dem bergbauspezifischen Ansatz dieser Studie. Es wurde folgende graduelle Abstufung für die Verfahren und Technologien vorgenommen:

- geeignet,
- bedingt geeignet und
- nicht geeignet.

Im Hinblick auf das zu behandelnde Rohwasser wurden dessen Volumenstrom sowie relevante chemische Eigenschaften (Eisen-gesamt, Sulfat, Versauerungsdisposition) als Kriterien herangezogen (Tabelle 17). Mit dem Kriterium Volumenstrom wird Bezug auf die Anlagenkapazität genommen. Diese Einschätzung basiert auf Erfahrungswerten (vorhandene Anlagen, spezifischer Flächenbedarf) und beinhaltet damit indirekt auch Kostenaspekte. Bei der Skalierung der Eisen-gesamt- und der Sulfatkonzentration wurden die Beschaffenheitsmuster der betrachteten Fließgewässer sowie die Behandlungsziele, insbesondere gesetzliche Vorgaben und verfahrenstechnische Aspekte, berücksichtigt.

Tabelle 17: Skalierung der maßgeblichen Bemessungs- und Zielgrößen der Wasserbehandlung.

Kriterium	Skalierung	Ermittlung	Begründung
-----------	------------	------------	------------

Volumenstrom [L/s]	< 1	Mittelwert ggf. 90Perz	---
	1...10		
	10...100		
	100...1.000		
	> 1.000		
Versauerungsdisposition	neutral, nicht versauerungsdisponiert	pH (Minimum) > 6,0	---
	versauerungsdisponiert	pH (10er Perzentil) < 4,3	---
	sauer	pH (Median) < 4,3	---
Eisen-gesamt [mg/L]	< 1,8	Mittelwert	OGewV
	1,8...3,0		---
	3,0...10		Untergrundenteisung mit Luftsauerstoff
	10...30		Untergrundenteisung mit technischem Sauerstoff
	> 30		---
Sulfat [mg/L]	< 75	Mittelwert	OGewV
	75...140		OGewV
	140...200		OGewV
	200...600		Betonaggressivität XA1 (schwach angreifend: 200...600 mg/L)
	> 600		Betonaggressivität XA2 (mäßig angreifend: > 600...3.000 mg/L)

5.2.3.2 Verfahrensauswahl und Ableitung von Technologien

Die bewertungsorientierte Analyse (s. Abschn. 5.2.2) hat gezeigt, dass eine Reihe der Verfahren nicht für einen praktischen Einsatz zur Behandlung bergbaulich belasteter Fließgewässer geeignet ist. Das sind:

- die Adsorptionsverfahren,
- die Membranverfahren,
- die anteilige Eisenfällung als Schwertmannit,
- die Sulfatfällung als Bariumsulfat oder Ettringit sowie
- die autotrophe Sulfatreduktion.

Bei den weiteren Betrachtungen werden nur die im Folgenden aufgeführten Verfahren und Technologien berücksichtigt, für die nachweislich eine technische und wirtschaftliche Machbarkeit gegeben ist.

Mengen- und Beschaffenheitssteuerung

- Flussgebietsbewirtschaftung (Wasserbewirtschaftung) mit der obersten Priorität Menge und der nachrangigen Priorität Beschaffenheit.

Hydraulische Verfahren

Die hydraulischen Verfahren sind Stand der Technik und können prinzipiell für alle drei Beschaffenheitskennwerte (Eisen, Sulfat, pH-Wert) wirksam werden. Im praktischen Einsatz ausreichend erprobt sind:

- Dichtwände,
- Infiltration,
- Abfangen mit Gräben,
- Abfangen mit Dränagen und
- Abfangen mit Brunnenriegeln.

Physikalische Behandlungsverfahren

- Langsamsandfiltration und
- Schnellfiltration.

Kombinierte Verfahren

Zum Einsatz zur Behandlung bergbaubeeinflusster Wässer gelangt selten nur ein einzelnes Verfahren. Praxisaugliche Technologien und Maßnahmen werden meist durch sinnvolle Verfahrenskombinationen abgeleitet. Für die Behandlung bergbaulich beeinflusster Fließgewässer und ihrer Quellen im Grundwasser sind folgende Verfahren und Technologien grundsätzlich geeignet:

- die Wasserbehandlung in technischen Anlagen (GWBA, GWRA, WBA),
- Inlake-Wasserbehandlung
- naturräumliche Absetzbecken und Absetzstrecken,
- sogenannte hybride Absetzbecken und Absetzstrecken,
- Makrophytenbecken oder Abwandlungen davon, wie Mäander,
- die heterotrophe Sulfatreduktion im Untergrund sowie
- RAPS-Anlagen als Festbettreaktoren.

Als hybride Anlagen werden Anlagen benannt, die nach naturräumlichen Grundprinzipien funktionieren und durch technologische Bestandteile ergänzt werden. Ein Musterbeispiel dafür ist die WBA Vetschau, die autark als Absetzbecken fungiert. Zur Verbesserung der Eisenabscheidung insbesondere in den kalten Wintermonaten, die gleichzeitig durch höhere Durchflüsse und höhere Eisenkonzentrationen gekennzeichnet sind, wurde eine Kalkung vorgeschaltet, die jedoch nur bedarfsabhängig betrieben werden muss.

Die naturräumliche Behandlung von Bergbauwässern ist in Deutschland aus unterschiedlichen Gründen bislang wenig akzeptiert und wird wenig angewendet. Das liegt vor allem an der naturgemäßen Unschärfe der Bemessung solcher Anlagen, an der mangelnden Akzeptanz von Teilverbesserungen der Wasserbeschaffenheit, einer gewissen Versagenshäufigkeit solcher und an dem kognitiven Widerspruch respektive an der vermeintlichen Ambivalenz zwischen Wasserbehandlungs- und Naturschutzfunktion von Gewässern.

5.2.3.3 Einsatzbereiche

Die Einsatzbereiche der praxisrelevanten Verfahren und Technologien werden in der Tabelle 18 hinsichtlich der maßgeblichen Bemessungs- und Zielgrößen der Wasserbehandlung (Abschn. 5.2.3.1) bewertet.

Tabelle 18: Einsatzbereiche von Technologien der Wasserbehandlung.

Kennwerte und Skalierung der Belastungen	Wasserbewirtschaftung	Dichtwände	Abfangen mit Gräben	Abfangen mit Dränagen	Abfangen mit Brunnenriegel	Langsandsanfiltration	Schnellfiltration	GWBA, GWRA und Inlake	Naturräumliche Absetzbecken	Naturräumliche Absetzstrecken	Makrophytenbecken	Hybride Absetzbecken	Hybride Absetzstrecken	Heterotrophe Sulfatreduktion	RAPS-Festbettreaktor
	---	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Volumenstrom in L/s	---	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
< 1	■	---	□	□	---	■	---	---	■	■	■	■	■	■	■
1...10	■	---	■	■	---	■	■	---	■	■	■	■	■	■	□
10...100	■	---	■	■	■	■	■	■	■	□	■	■	□	■	---
100...1.000	■	■	■	---	■	---	□	■	□	---	□	□	---	---	---
> 1.000	■	■	■	---	■	---	---	■	---	---	---	---	---	---	---
Versauerungsdisposition	---					15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Neutral, nicht versauerungsdisponiert	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Versauerungsdisponiert	□	■	■	■	■	□	□	■	---	---	---	■	□	■	■
Sauer	□	■	■	■	■	---	---	■	---	---	---	□	---	■	■
Eisen-gesamt in mg/L	---					25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
< 1,8	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
1,8...3,0	---	■	■	■	■	■	■	---	■	■	■	■	■	---	---
3,0...10	---	■	■	■	■	■	■	---	■	□	■	■	□	---	---
10...30	---	■	■	■	■	---	□	□	■	---	□	■	---	---	---
> 30	---	■	■	■	■	---	---	■	■	---	---	■	---	■	■
Sulfat in mg/L	---					35	36	37	38	39	40	41	42	43	44
< 75	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
75...140	■	■	■	■	■	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
140...200	■	■	■	■	■	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
200...600	■	■	■	■	■	---	---	---	---	---	---	---	---	■	■
> 600	□	■	■	■	■	---	---	---	---	---	---	---	---	■	■

Erläuterung:

■	Geeignet
□	Bedingt geeignet
---	Nicht geeignet
■	Nicht zutreffend

Bei der Einschätzung der Eignung der Verfahren wurden als Behandlungsziele bezüglich der Versauerungsdisposition die Neutralisation und für Eisen und Sulfat die Verringerung der Belastungen um mindestens eine Stufe gemäß der Skalierung in der Tabelle 17 vorausgesetzt. In der Tabelle 19 werden die in der Tabelle 18 dargestellten Einsatzbereiche der Verfahren begründet.

Tabelle 19: Begründungen für die Einsatzbereiche der Technologien.

Kriterium	Lfd. Nr.	Limitationen
Volumenstrom	1	Aufgrund des hohen baulichen Aufwandes muss sich die Wirkung einer Dichtwand auf eine Mindestmenge der beeinflussten Volumenströme beziehen.
	2	Aufgrund der Robustheit der Technologie ist nahezu jeder beliebige Anwendungsbereich möglich. Aufgrund der hohen Baukosten ist ggf. eine Limitierung für kleine Volumenströme sinnvoll.
	3	Dränagen sind bei sehr hohem Wasserandrang ggf. hydraulisch limitiert. In diesem Fall eignen sich eher Graben- oder Brunnenlösungen.
	4	Aufgrund des großen baulichen Aufwandes insbesondere für die Infrastruktur (Rohrleitungen) sind Brunnenriegel nur bei Mindestmengen des Volumenstromes sinnvoll.
	5	Aufgrund der hydraulischen Limitation bei gesättigter, freier Versickerung ist ein großer volumenstromspezifischer Flächenbedarf erforderlich. Er begrenzt den Einsatzbereich der Langsandsfiltration für große Volumenströme.
	6	Die technische Anlage einer Schnellfiltration ist mit einem hohen anlagen- und regeltechnischen Aufwand zu betreiben. Die Auslegung ist deshalb auf moderate Volumenströme begrenzt (Mindest- und Höchstvolumenströme).
	7	Die klassischen Anlagen der Wasserbehandlung erfordern einen großen baulichen Aufwand und hohe Investitionskosten. Bau und Nutzung können nur bei einem Mindestdurchsatz wirtschaftlich dargestellt werden.
	8	Zur Gewährleistung einer ausreichend langen Verweilzeit im Absetzraum ist ein großer volumenstromspezifischer Flächen- bzw. Volumenbedarf erforderlich. Er begrenzt die Anlagengröße nach oben, sofern keine natürlichen Absetzräume wie zum Beispiel in der Talsperre Spremberg zur Verfügung stehen. Sie kommen besser als technische Anlagen mit stark schwankenden Volumenströmen zurecht.
	9	Je nach Eisenbelastung und Volumenstrom sind unterschiedlich lange Fließstrecken erforderlich. Absatzstrecken sind eher für moderate und niedrige Volumenströme geeignet.
	10	Wie 8.
	11	Wie 8.
	12	Wie 9.
	13	Die heterotrophe Sulfatreduktion setzt eine geeignete Struktur und geeignete geohydraulische Eigenschaften des genutzten Grundwasserleiters voraus. Theoretisch ist der Reaktionsraum im Untergrund nicht limitiert. Der volumenstromspezifische Rohstoffaufwand ist jedoch sehr hoch, weshalb die Behandlung großer Volumenströme unwirtschaftlich wird.
	14	Zur Gewährleistung einer Mindestverweilzeit sind große Reaktorgrößen und ein großer volumenstromspezifischer Rohstoffaufwand erforderlich. Die Eignung ist deshalb auf kleine Volumenströme beschränkt.

Kriterium	Lfd. Nr.	Limitationen
Versauerungsdisposition	15	Die Prozessführung erfolgt bevorzugt durch Kontaktfiltration für die Eisen(III)hydroxidflocken. Durch Decarbolith im Festbettreaktor sind im begrenzten Umfang eine Eisen(II)-Filtration und geringe Entsäuerungsleistungen möglich.
	16	Wie 15.
	17	Die Anlagen sind unabhängig von der Versauerungsdisposition des Rohwassers und hydrochemisch universell einsetzbar.
	18	Naturräumliche Absetzbecken sind nur für neutrale und nicht versauerungsdisponierte Wässer geeignet. Geringe hydrochemische Limitationen können durch hybride Anlagen überwunden werden (siehe 21).
	19	Wie 18. Im Unterschied zu Beckenlösungen sind der Reaktions- und Absetzraum sehr begrenzt.
	20	Wie 18.
	21	Durch den unterstützenden Einsatz von Neutralisationsmitteln erfolgt eine Evolution der naturräumlichen Wasserbehandlung (siehe 18) und Erweiterung ihrer Wirkung auf versauerungsdisponierte und (schwach) saure Wässer.
	22	Durch den unterstützenden Einsatz von Neutralisationsmitteln erfolgt eine Evolution der naturräumlichen Wasserbehandlung (siehe 19) und Erweiterung ihrer Wirkung auf versauerungsdisponierte Wässer. Der Reaktions- und Absetzraum sind jedoch begrenzende Kriterien.
	23	Die heterotrophe Sulfatreduktion verläuft unabhängig von der Versauerungsdisposition, weil im Prozess Alkalinität erzeugt wird. Sie ist nahezu für alle hydrochemischen Konstellationen im Braunkohlenbergbau geeignet.
24	Wie 23.	
Eisen-gesamt	25	Der Einsatzbereich ist bevorzugt auf eine niedrige Eisenbelastung des Rohwassers beschränkt. Bei hohen Eisenkonzentrationen verblocken die Filter sehr schnell und es entsteht ein hoher zyklischer Regenerierungsaufwand.
	26	Wie 25.
	27	Eine hohe Effizienz der Flockung wird nur bei ausreichend hohen Eisenkonzentrationen im Rohwasser erreicht.
	28	Naturräumliche Absetzbecken sind bei ausgiebiger Bemessung der Verweilzeit (Reaktions- und Absetzzeit), des Rückhalterumes (Stapelraum) und geeigneter Gestaltung der Hydraulik für eine große Bandbreite der Eisenkonzentration im Rohwasser geeignet.
	29	Absetzstrecken sind vorzugsweise für niedrige Eisenbelastungen geeignet, weil im Graben bzw. Gerinne die Verweilzeit (Reaktions- und Absetzzeit) kurz, der Rückhalteraum (Stapelraum) kleiner und die Hydraulik ungünstig sind.
	30	Makrophytenbecken sind vorzugsweise für niedrige Eisenbelastungen geeignet. Bei hoher Eisenbelastung wird der begrenzte Rückhalteraum schnell erschöpft. Die Beckentiefen sind zur Gewährleistung des Makrophytenwachstums zudem begrenzt.
	31	Wie 28.
	32	Wie 29.
	33	Das Eisen ist ein notwendiger chemischer Bindungspartner für das entstehende Sulfid. Bei niedrigen Eisenkonzentrationen droht Eisenmangel und die Emission von Schwefelwasserstoff.

Kriterium	Lfd. Nr.	Limitationen
Eisen-gesamt	34	Wie 33. In den RAPS-Anlagen besteht die Möglichkeit einer künstlichen Zugabe von Eisen.
Sulfat	35	entfällt
	36	entfällt
	37	entfällt
	38	entfällt
	39	entfällt
	40	entfällt
	41	entfällt
	42	entfällt
	43	Nur bei ausreichend hohen Sulfatkonzentrationen im Rohwasser ist eine effektive heterotrophe Sulfatreduktion verfahrenstechnisch möglich und führt zu der erforderlichen Entsäuerung (Alkalinisierung).
	44	Wie 43.

5.3 Kosten

Die **Kosten** von Maßnahmen sind ein wesentliches Kriterium für ihre Priorisierung sowie zur Einschätzung ihrer Wirtschaftlichkeit und Verhältnismäßigkeit. Aus diesem Grund wurde im Auftrag des Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie Sachsen (LfULG) in den vergangenen Jahren bei Studien im Rahmen der VODAMIN- und Vita-Min-Projekte auf diesen Aspekt besonderer Wert gelegt. Soweit verfügbar wurden hieraus im Rahmen dieser Bearbeitungen Investitions- und laufenden Kosten für Reinigungsverfahren von Grund- und Oberflächenwässern mit Bergbaueinfluss erhoben. Aufgrund der spärlichen Angaben in den internationalen und nationalen Veröffentlichungen, z. B. Brown et al. (2002), und in unveröffentlichten Quellen zu den Kosten von Maßnahmen sowie aufgrund unterschiedlicher Kostenstrukturen, Währungen und Zeitbezüge sind diese Angaben jedoch unvollständig und nicht ausreichend belastbar. Für das strategische Hintergrundpapier wurde deshalb ein anderer Ansatz verfolgt. Dieser basiert auf der Datenerhebung für umgesetzte und geplante Maßnahmen im Gewinnungs- und Sanierungsbergbau des Lausitzer Braunkohlenreviers.

Die **Kostenermittlung** im Rahmen des StrathGHP erfolgte ausschließlich für die zusätzlich empfohlenen technischen und konzeptionellen Maßnahmen (N-Maßnahmen), siehe Abschn. 6.2.2, 6.3.2 und 6.4.2. Kosten für die Bestandsmaßnahmen (B, E) wurden nicht berücksichtigt, da diese bereits in den Planungen der Maßnahmenträger berücksichtigt sind. Die Kostenermittlung wurde in einer sehr frühen Phase der Maßnahmenplanung vorgenommen, häufig noch vor der Leistungsphase 1 (Grundlagenermittlung) der HOAI. Daher basieren die getroffenen **Kostenannahmen** auf unterschiedlich belastbaren Quellen:

- Angaben der Maßnahmenträger zu ihren geplanten Kosten,
- fortgeschriebene Erfahrungswerte von Maßnahmenträgern (Behörden, LMBV, LE-B) und ihren Auftragnehmern (z. B. Spezialbauunternehmen, Planungs- und Ingenieurbüros) zu Kosten vergleichbarer Anlagen und Maßnahmen sowie zu spezifischen Kostensätzen,
- Planungsunterlagen der Maßnahmenträger (Studien, Konzepte, Machbarkeitsstudien etc.), ggf. auch von anderen vergleichbaren Anlagen,
- Literaturangaben und das Internet sowie
- Schätzwerte des Gutachters, wenn keine anderen Informationen verfügbar waren.

Mit der Kostenvorschau kann damit nur die Größenordnung der zu erwartenden finanziellen Aufwendungen aus heutiger Sicht umrissen werden. Die Kostenvorschau umfasst einen langfristigen Planungszeitraum von 25 Jahren und geht damit über das Jahr 2039 hinaus. Dabei wurden nicht alle möglichen Varianten betrachtet, sondern die aus fachlicher Sicht favorisierten Verfahren und Technologien.

Finanztechnische und betriebswirtschaftliche Begriffe werden im Rahmen des StrathGHP entsprechend den im Glossar sowie im Folgenden aufgeführten Randbedingungen, Definitionen und Konventionen verwendet. Soweit möglich und erforderlich, wurde dabei auf die Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen zurückgegriffen, siehe DWA (2012). Für die **technischen Maßnahmen** wurden Kostenannahmen für die summarischen Investitionskosten und für die jährlich für die Einzelmaßnahmen anfallenden laufenden Kosten getroffen. Bei den **konzeptionellen Maßnahmen** wurde nicht nach diesen Kostenarten unterschieden, sondern nach einmaligen und jährlichen Kosten. Dabei können die einmaligen Kosten, ähnlich wie die Investitionskosten, auch über einen Zeitraum von > 1 Jahr anfallen (z. B. Kosten für eine Studie, die über zwei Jahre läuft). Unter den jährlich wiederkehrenden Kosten werden in Analogie zu den laufenden Kosten finanzielle Aufwendungen verstanden, die über einen mehrjährigen Zeitraum regelmäßig anfallen, z. B. für ein Gewässermonitoring. Die Kostenannahmen basieren auf dem aktuellen (2020) Preisindex. Sonstige ökonomische Faktoren wie Preissteigerungen, Inflation, Zinseffekte etc. wurden nicht berücksichtigt. Alle Kostenangaben sind Nettowerte.

Unter den **Investitionskosten** wird im Rahmen des StrathGHP die Gesamtheit der einmaligen Aufwendungen für die Durchführung einer Maßnahme über den gesamten Planungszeitraum bis zur Inbetriebnahme verstanden. Sie können aktivierbare Eigenleistungen des Maßnahmenträgers sowie erworbene aktivierbare immaterielle Wirtschaftsgüter einschließen. Indirekte Kosten einer Maßnahme, die bei Dritten entstehen, sind nicht Bestandteil der Investitionskosten. Bis auf die Finanzierungskosten wurden alle anderen Kostengruppen berücksichtigt, d. h. vorbereitende Maßnahmen (Herrichten und Erschließung), Bau- und Ausrüstungskosten, Außenanlagen und Ausstattung, Baunebenkosten (Bauherrenaufgaben, Planung, allgemeine Baunebenkosten).

Die **laufenden Kosten** beinhalten die Aufwendungen für die Unterhaltung und den Betrieb von Anlagen. Das sind im Wesentlichen die Personal-, Energie- und Sachkosten. Letztere beinhalten u. a. die Kosten für Einsatzstoffe, Wartung und Reststoffentsorgung. Auf eine Unterscheidung zwischen fixen und variablen Kosten wurde in Anbetracht der frühen Phase der Maßnahmenplanung und weitgehend fehlender Grundlagenermittlung (z. B. Jahresgang des Abflussgeschehens) verzichtet. Die fortgeschriebenen Erfahrungswerte für die laufenden Kosten berücksichtigen zudem solche Effekte. Bei der Kostenermittlung wurden die Kosten für eine periodische Schlammberäumung von Becken mit langjährigem Räumzyklus auf Jahresscheiben aufgeteilt.

Den dynamischen **Kostenvergleichsrechnungen** für wasserwirtschaftliche Maßnahmen unter Berücksichtigung des Zeitverlaufs werden sehr lange Planungshorizonte zugrunde gelegt. Diese basieren auf den Basis-Untersuchungszeiträumen für die Hauptanlagen der verschiedenen Maßnahmenarten. In den KVR-Leitlinien DWA (2012) werden z. B. für den Gewässerausbau 50 Jahre und für die Wasserversorgung 60 Jahre angegeben. Für einzelne Nebenanlagen oder relevante Anlagenteile kann die durchschnittliche Nutzungsdauer dagegen deutlich kürzer sein, nach DWA (2012) beispielsweise:

- 35 Jahre für Einlaufschütze aus Stahl,
- 20 Jahre für Rechen,
- 15-25 Jahre für Räumeinrichtungen von Vor- und Nachklärbecken und
- 12 Jahre für Abwasserpumpen.

Bei der vergleichenden Betrachtung von Maßnahmenalternativen sollten deshalb Reinvestitionszyklen und -kosten berücksichtigt werden. Aufgrund der frühen Planungsphase wurde dieser Ansatz im Rahmen der Kostenvorschau nicht verfolgt. Die **Reinvestitionskosten** sind nicht Bestandteil der ausgewiesenen Kosten für Erstinvestitionen und auch nicht der laufenden Kosten. Allerdings ist es möglich, dass Reinvestitionskosten in Einzelfällen in die fortgeschriebenen Erfahrungswerte für die laufenden Kosten bereits eingeflossen sind.

6 Maßnahmenplanung

6.1 Vorgehensweise

6.1.1 Zustandsanalyse und Handlungsbedarf

Im Rahmen des Teils 2 „Zustandsanalyse und Handlungsschwerpunkte“ des strategischen Hintergrundpapiers, LBGR (2020a), wurde für alle Fließgewässer-OWK im Untersuchungsraum eine Zustandsanalyse durchgeführt. Dabei wurden u. a. folgende Aspekte betrachtet:

- das Vorliegen einer repräsentativen Messstelle,
- das Vorliegen valider Daten,
- der Zustand hinsichtlich der Orientierungswerte (ACP) für Eisen, Sulfat und die Versauerung,
- eine Analyse des Bergbaueinflusses und
- Recherchen zu den gemeldeten Maßnahmen.

Die wesentlichen Ergebnisse dieser Untersuchungen und der daraus resultierende Handlungsbedarf sind in der Tabelle 20 dargestellt.

Tabelle 20: Zustandsanalyse und Handlungsbedarf (ohne Berlin).

Kriterium		Sachsen	Brandenburg	Gesamt	Handlungsbedarf	
Repräsentative Gütemessstellen						
Anzahl der Fließgewässer-OWK im Untersuchungsraum	gesamt	119	429	548		
	mit repräsentativer Gütemessstelle	119	130	249	---	
	ohne repräsentative Gütemessstelle	0	299	299	Messstelle (repräsentative Gütemessstelle festlegen, einrichten und betreiben)	
Anzahl der Fließgewässer-OWK mit Bergbaueinfluss	0	95	95			
	mit repräsentativer Gütemessstelle	19	69	88	---	
Bergbaueinfluss						
Anzahl der Fließgewässer-OWK	Bergbaueinfluss	gesamt	19	164	183	---
		räumlich dominant	18	93	111	---
		möglich (Prüffall)	1	71	72	Bergbaueinfluss (weitere Einflussfaktoren wie Altbergbau, Niedermoore, Wasserentnahmen, Melioration etc. ermitteln und bewerten)

Kriterium		Sachsen	Brandenburg	Gesamt	Handlungsbedarf
Zustand bergbaubeeinflusster Fließgewässer-OWK					
Anzahl der Fließgewässer-OWK	Bergbaueinfluss gesamt	19	164	183	---
Keine Daten	Eisen	0	99	99	Monitoring (repräsentative Gütemessungen)
	Sulfat	0	95	95	
	Versauerung	0	95	95	
ACP eingehalten	Eisen	7	33	40	---
	Sulfat	14	15	29	
	Versauerung	15	48	63	
ACP nicht eingehalten	Eisen	12	32	44	Maßnahmenkonzeption (Optionen, Alternativen, Priorisierung, Verhältnismäßigkeit)
	Sulfat	5	54	59	
	Versauerung	4	21	25	

6.1.2 Konzeption zusätzlicher Maßnahmen

Die Bergbauunternehmen und Behörden sehen bereits zahlreiche Maßnahmen zur Minderung oder Überwindung der bergbaulichen Belastung vor. Dieses Maßnahmenportfolio ist aus mehreren Gründen unvollständig:

- 1) Es gibt eine Reihe von Fließgewässer-OWK mit vermuteten, aber mangels repräsentativer Messstellen nicht nachgewiesenen Belastungen.
- 2) Für einige Fließgewässer-OWK mit nachgewiesener bergbaulicher Belastung sind die Quellen der Belastung nicht oder nur unzureichend bekannt.
- 3) Die bislang umgesetzten oder in Planung befindlichen Maßnahmen zeigen, dass die Belastungssituation der Fließgewässer-OWK häufig sehr individuell ist. Daraus leitet sich der Anspruch auf individuelle Lösungen ab.

Für Fließgewässer-OWK ohne Kenntnisstand zu einer möglichen bergbaulichen Belastung können keine Maßnahmen definiert werden. An diesen Fließgewässer-OWK sind behördlicherseits repräsentative Messstellen nachzurüsten oder erste Erkenntnisse aus Sondermonitorings zu gewinnen. Für Fließgewässer-OWK mit bergbaulicher Belastung aber ohne Kenntnis der Quellen werden überwiegend konzeptionelle Maßnahmen (Studien, Erkundung, Monitoring, Modellierung) vorgeschlagen. Sie können nach Vorliegen eines verbesserten Kenntnisstandes in technische Maßnahmen münden. Aus diesen Gründen können derzeit noch nicht alle erforderlichen technischen Maßnahmen benannt werden. Die Lücken in der Maßnahmenableitung müssen in einem zyklischen Erkenntnisprozess geschlossen werden (Bild 16).

Wegen der angestrebten Zielerreichung eines guten Zustandes bzw. Potenzials in allen OWK müssen die Maßnahmen in den Flussgebieten bevorzugt quellennah erfolgen oder in die nicht berichtspflichtigen OWK zurückverlegt werden. An die Maßnahmen sind folgende Maßstäbe anzulegen:

- Beachtung der Technik Klausel,
- geringer Flächenbedarf,
- geringer Energieeinsatz, bevorzugt Energieautarkie,
- geringer Rohstoffeinsatz,
- geringer Personaleinsatz,
- hohe Flexibilität bezüglich Volumenstrom und Stoffkonzentration,
- hohe Betriebsstabilität bzw. Robustheit,
- Emissionsarmut,
- geschlossene Stoffkreisläufe (möglichst Reststoffverwertung) und
- Gewährleistung der Nachhaltigkeit.

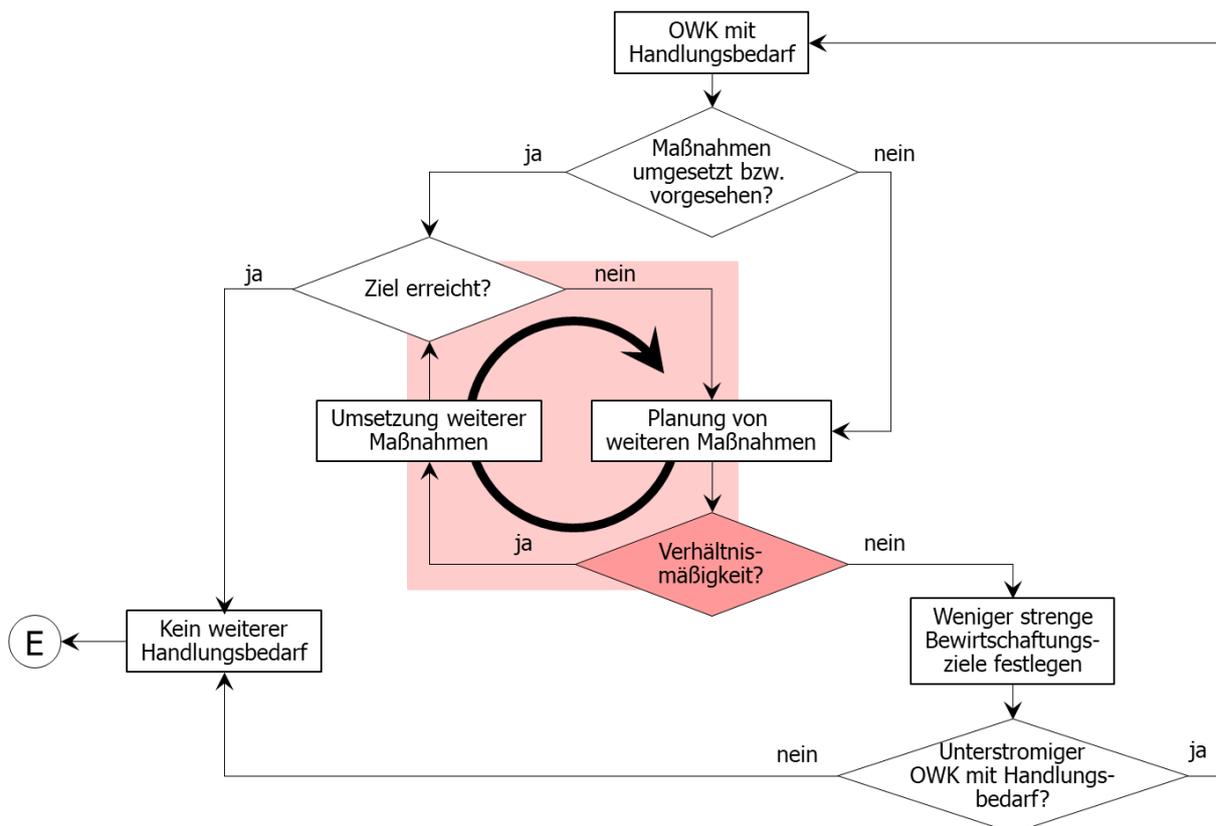


Bild 16: Vorgehensweise zur Ableitung zusätzlicher Maßnahmen an bergbaulich beeinflussten Fließgewässer-OWK, Quelle: LBGR (2020a).

Nicht abschließend beantwortet werden kann in der vorliegenden Studie die Verhältnismäßigkeit von Maßnahmen. Die Bewertung der Verhältnismäßigkeit wird vorerst am Stand der Technik orientiert. Für die Fließgewässer-OWK stehen nach WHG die Instrumentarien der Fristverlängerung nach § 29 WHG, der weniger strengen Bewirtschaftungsziele nach § 30 WHG und der Ausnahmen nach § 31 Abs. 2 WHG zur Verfügung.

Für die bergbaulich beeinflussten Fließgewässer-OWK wird das Instrument der Fristverlängerung nach § 29 WHG bereits in Anspruch genommen. Dieses Instrumentarium ist jedoch spätestens im Jahr 2027 aufgebraucht, sofern die in der EG-WRRl festgelegte Frist nicht verlängert wird. In diesem Fall steht als Fristverlängerung voraussichtlich das Jahr 2039 in Erwartung.

In jedem Fall wird das Instrumentarium der weniger strengen Bewirtschaftungsziele für zahlreiche bergbaulich beeinflusste Fließgewässer-OWK in Anspruch genommen werden müssen. Dafür gibt es zwei wesentliche Gründe:

- 1) die Umsetzungsdauer und
- 2) die Verhältnismäßigkeit von Maßnahmen.

Die Bewirtschaftungsziele für zahlreiche bergbaubeeinflusste Fließgewässer-OWK bezüglich der ACP Eisen und Sulfat werden erst bei der Umsetzung eines ganzen Komplexes von Maßnahmen erreicht. Ein Beispiel hierfür ist die Spree im Südraum. Die Bewirtschaftungsziele im OWK Spree 4 lassen sich nur durch eine Kombination flussnaher Abfangmaßnahmen, einer zentralen Wasserbehandlung und der Dichtwand am Nordufer des WSS Lohsa II erreichen. Allein der Planungs-, Genehmigungs- und Ausführungszeitraum wird weit nach dem Jahr 2027 liegen. Darüber hinaus beansprucht die vollständige hydraulische Wirkungsentfaltung der Dichtwand weitere Jahre.

Ein Beispiel für die Unverhältnismäßigkeit von Maßnahmen ist die Zielerreichung in den Fließgewässer-OWK Plessa-Dolsthaider Binnengraben, Hammergraben, Grünwalder Landgraben und Floßgraben im Sanierungsgebiet Lauchhammer. Auf der Grundlage einer Studie aus den Jahren 1999-2001 wurden noch vor dem Inkrafttreten der EG-Wasserrahmenrichtlinie mit der WBA Plessa die Grundlagen für die Entscheidung zu einer End-of-pipe-Lösung für dieses Sanierungsgebiet gelegt. Sie entspricht in Analogie zum Südraum Spree und zum Nordraum Spree dem Barrierenkonzept für das höhere Schutzgut Schwarze Elster. Diese Lösung wird derzeit umgesetzt. Mit der Inbetriebnahme der WBA Plessa wird im Jahr 2022 gerechnet. An der Notwendigkeit dieser Lösung gibt es in Anbetracht des Versauerungsereignisses in der Schwarzen Elster vom Sommer 2019 keine Zweifel.

Eine vergleichbare Lösung bietet sich bei Umsetzung des vorgeschlagenen Neubaus einer WBA Pößnitz im Mündungsbereich an der Schwarzen Elster als End-of-pipe-Lösung an. In diesem Fall wird die Zielerreichung für die Fließgewässer-OWK Pößnitz und Wolschinka dauerhaft verfehlt.

Lösungen zur Verbesserung des Zustandes der genannten Fließgewässer-OWK sind nicht in Sicht. Die genannten Fließgewässer-OWK sind nur zeitweise wasserführend und verlaufen zum Teil durch urbanes Gebiet. Die Belastungsquellen im Grundwasser sind überwiegend flächenhaft ausgeprägt. Der Lösungsansatz für diese Fließgewässer-OWK bestünde in flussnahen Wasserfassungen über die gesamte Fließlänge, allein beim Plessa-Dolsthaider Binnengraben über mehr als 10 Kilometer. Dieser würde zum Versiegen der ausschließlich bzw. dominant grundwassergespeisten Fließe führen und die Existenz der Fließgewässer-OWK generell in Frage stellen. Zudem handelt es sich beim Plessa-Dolsthaider Binnengraben um einen Drainagegraben, dessen einzige Funktion das Sammeln und Abführen von (eisenbelastetem) Grundwasser in der Elsteraue ist. Die technische Alternative zu den flussnahen Wasserfassungen bestünde in einer flächenhaften Grundwasserabsenkung in der Elsteraue im Sanierungsgebiet Lauchhammer. Auch ohne das Aufzeigen eines technischen Lösungsansatzes und ohne eine Kostenkalkulation kann diese Maßnahme als unverhältnismäßig bewertet werden. Zumal es sich voraussichtlich um eine Ewigkeitslast handelt.

6.2 LMBV

6.2.1 Bestandsmaßnahmen

Die Aufgabe der Braunkohlensanierung für die nach der Wiedervereinigung nicht privatisierten Tagebaue und Veredlungsanlagen wird vom Bund und von den Braunkohlenländern Brandenburg, Sachsen-Anhalt, Sachsen und Thüringen auf der Grundlage von Verwaltungsabkommen (VA) über die Regelungen der Finanzierung wahrgenommen. So regelt das aktuell geltende 5. Ergänzende Verwaltungsabkommen (VA VI) die Braunkohlensanierung in den Jahren 2018 bis 2022. Darin wird u. a. vereinbart, während der Laufzeit dieses Verwaltungsabkommens die Vorgehensweise für eine darüber hinaus reichende Fortführung der Braunkohlensanierung abzustimmen.

Als bergrechtlich verantwortliches Unternehmen und Eigentümerin der Bergbauflächen und Altstandorte ist die bundeseigene Lausitzer und Mitteldeutsche Bergbau-Verwaltungsgesellschaft mbH (LMBV) für die bergbauliche Grundsanierung nach § 2 des VA VI zuständig. Für weitere Maßnahmen zur Abwehr von Gefährdungen im Zusammenhang mit dem Wiederanstieg des Grundwassers und für sonstige Maßnahmen im Zusammenhang mit der Braunkohlensanierung (§ 3-Maßnahmen) hat die LMBV die Projektträgerschaft inne. Die LMBV kann durch das jeweilige Bundesland auch mit der Projektträgerschaft für Maßnahmen zur Erhöhung des Folgenutzungsstandards und zur Gefahrenabwehr im Bereich des Braunkohlenbergbaus über die Verpflichtungen der LMBV hinaus (§ 4-Maßnahmen) beauftragt werden.

Die LMBV setzt derzeit in ihrem Zuständigkeitsbereich ein umfangreiches Maßnahmenpaket zur Sicherung und Verbesserung der Wasserbeschaffenheit der durch den Braunkohlenbergbau beeinflussten Fließgewässer um. Das Maßnahmenpaket wird entsprechend dem Erkenntnisfortschritt regelmäßig an sich verändernde Verhältnisse, Rand- und Rahmenbedingungen in den Sanierungsgebieten angepasst. In der Tabelle 21 sind die Bestandsmaßnahmen der LMBV per Stand Dezember 2019 nach Maßnahmenkategorien gegliedert dargestellt. Aus der Sicht des Sanierungsträgers LMBV werden unter einem kurzfristigen Planungshorizont (K) das aktuelle ergänzende Verwaltungsabkommen VA VI und das voraussichtlich folgende VA VII verstanden. Das entspricht den Planungszeiträumen bis 2022 bzw. von 2023 bis 2027. Unter dem mittelfristigen Planungshorizont (M) sollen die zwei voraussichtlich folgenden Bewirtschaftungszeiträume der EG-WRRL bis 2033 bzw. 2039 verstanden werden. Einem langfristigen Planungshorizont (L) entspricht die Zeit nach 2039.

Hinsichtlich des Umsetzungsstatus von Baumaßnahmen werden die Stadien Planung (grün), Bau (orange) und Betrieb bzw. Durchführung (grau) unterschieden. Die Planung der LMBV sieht die Substitution (\emptyset) einiger kurzfristiger Maßnahmen durch langfristige Maßnahmen bzw. Maßnahmenkomplexe vor. In manchen Fällen ist ihre Weiterführung über den aktuellen Planungszeitraum hinaus erforderlich. Diese Maßnahmen sind mit einem Pfeil (\rightarrow) markiert.

Die nachfolgende Auswahl von Maßnahmen in der Tabelle 21 erfolgt nach ihrer Relevanz für die Eisen- und Sulfatbelastung der Fließgewässer im Untersuchungsraum. Sie schließt Maßnahmen im Grundwasser und in den Bergbaufolgeseen mit ein, die auf eine Minderung der Eisen- und Sulfatbelastung in den Fließgewässern ausgerichtet sind. Sie hebt nicht auf Vollständigkeit ab. Während im Teil 2 des vorliegenden strategischen Hintergrundpapiers LBGR (2020a) Einzelmaßnahmen fließgewässerkonkret gelistet werden, erfolgte hier eine thematische Bündelung. Über die Nummern der zugehörigen Einzelmaßnahmen wird die Verbindung zum Teil 2 des StrathGHP LBGR (2020a) hergestellt.

Tabelle 21: Bestandsmaßnahmen der LMBV und Planungshorizonte.

Planungshorizonte	K											M	L
	VA VI					VA VII							
Bewirtschaftungszeitraum nach Wasserrahmenrichtlinie	2. BWZ					3. BWZ							
Maßnahmen	Vor 2019	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028-2033	2034-2039	Nach 2039
Wassermengensteuerung, Wassergütesteuerung													
Wassermengensteuerung Spree-Schwarze Elster													
Sulfatlaststeuerung in der Spree													→
Flutungszentrale Lausitz (FZL)													
Bewirtschaftung der Kleinen Restlochekette							∅						
Gewässerunterhaltung													
Sedimentberäumung eisenbelasteter Fließgewässer													
Beräumung der Vorsperre Bühlow											∅		
Fremdflutung und Nachsorge													
Fremdflutung von Bergbaufolgeseen													
Wasserbehandlung in Anlagen													
GWRA Rainitz											∅		
GWRA Pößnitz											∅		
WBA Plessa													
Mitbenutzung GWBA Schwarze Pumpe							→	→	→	→	→		
MWBA Burgneudorf											∅		
Verfahrensoptimierung der MWBA Burgneudorf													
Sandfiltration in der MWBA Burgneudorf													
MWBA Neustadt													
MWBA Ruhlmühle													
WBA Vetschau											∅		
WBA Eichow													
Verfahrensoptimierung der WBA Eichow													
Reaktivierung der GWRA Wüstenhain													
Wasserbehandlung RL 28/29													
Inlake-Wasserbehandlung													
Chemische Neutralisation von Bergbaufolgeseen											→	→	→
Naturräumliche und hybride Wasserbehandlung													
Wasserbehandlung in der Vorsperre Bühlow											∅		
Heideteich Reddern											→	→	→
Weststrandgraben Hoyerswerda											∅		
Egsdorfer Teiche													
Absetzbecken Südgraben Altdöbern													
Wasserfassung													
6er Brunnenriegel Spreewitz													
10er Brunnenriegel Burgneudorf													
Horizontaldrainage Ausbau Spreewitz													
Wasserfassungen linksseitig der Spree													
Wasserfassung im Zwickel des Greifenhainer Fließes													

Planungshorizonte	K											M	L
	VA VI					VA VII							
	2. BWZ					3. BWZ							
Maßnahmen	Vor 2019	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028-2033	2034-2039	Nach 2039
Wasserhaltung													
Wasserstand im Schlabendorfer See (RL 14/15)													
Horizontalfilterbrunnen Senftenberg/Brieske													
Horizontalfilterbrunnen Hoyerswerda													
RL 28/29 (Entwässerung Schwarzheide)													
Wasserüberleitung													
Wasserüberleitung von der Kleinen Spree zur GWBA Schwarze Pumpe													
Überleitung des Laasower Fließes in das Eichower Fließ													
Pilot- & Demovorhaben (P&D)													
Testanlage und Dauerversuch am GWAB Raddusch				∅									
Feldversuch RAPS am Lorenzgraben						→							
Containerversuch zur Eisenabscheidung						→							
Tiefenkalkung grundwassernahe Standorte						→							
Studien und Konzepte													
Eisen- und Sulfatstudien zur Spree													
Eisen- und Sulfatstudien zur Schwarze Elster													
Entwicklung eines EHS-Konzepts													
Fortschreibung des EHS-Konzepts													
Fließgewässerkonzeptionen für die Sanierungsgebiete													
Prognosen der Wasserbeschaffenheit von Bergbaufolgeseen													
Versauerung der Schwarzen Elster													
Erkundung													
Grundwasserpfad Spreewitzer Rinne													
Grundwasserpfad Wüstenhainer Rinne													
Grundwasserpfad Spreewald													
Monitoring													
Fließgewässermonitoring nach MHM											→		
Grundwassermonitoring nach MHM											→		
Monitoring der Bergbaufolgeseen nach MHM											→		
Eisenmonitoring der Talsperre Spremberg											→		
Diverse Anlagenmonitorings											→	→	→
Sondermonitoring Versauerung der Schwarzen Elster													
Modellierung													
Hydrogeologische Großraummodelle (HGM) für die Sanierungsbereiche											→	→	→
Niederschlags-Abfluss-Modelle für die Sanierungsbereiche											→	→	→
Prognose der Sulfat- und Eisenausbreitung im Grundwasser							→	→	→	→			
Wassergütebewirtschaftungsmodell Schwarze Elster													
2D-Stofftransportmodellierung Spreewitzer Rinne													

Legende zur Tabelle 21:

Maßnahmenstatus	Farbe
Vorhanden, in Betrieb	■
Planung/Genehmigung	■
Bau	■
Substitution	∅
Weiterführung ggf. erforderlich	→

In der folgenden Tabelle 22 wird das Maßnahmenpaket der LMBV inhaltlich untersetzt.

Tabelle 22: Erläuterungen zu den Bestandsmaßnahmen der LMBV.

Maßnahmen	Nr.	Erläuterung
Wassermengensteuerung, Wassergütesteuerung		
Wassermengensteuerung Spree-Schwarze Elster	B177 B178 B213 B214 B215 B216 B334 B338 B348 B374 B393 B394 B395 B396 B401 B457 B458 E605 E607 E608 E615 E617 E637 E639 E640 E684 E685 E686 E702	Im Rahmen der Wassermengensteuerung Spree-Schwarze Elster werden die Fließgewässer, Talsperren und Bergbaufolgeseen im Einzugsgebiet mit den Zielen der Niedrigwasseraufhöhung, dem Hochwasserschutz und der Flutung der Bergbaufolgeseen flussgebietsübergreifend bewirtschaftet. Die modellgestützte Bewirtschaftung erfolgt durch wöchentliche Abstimmung zwischen den maßgeblichen Gewässernutzern (LMBV, LE-B), den Fachbehörden (LDS, LfU) und den Landesbetrieben (LTV). Die Bewirtschaftungsziele und -regeln werden regelmäßig in der → <u>länderübergreifenden AG Flussgebietsbewirtschaftung</u> abgestimmt.
Sulfatlaststeuerung in der Spree	B211 B212 B392 B418 E609 E638 E641 E692 E693 E694 E725	Die Sulfatlaststeuerung der Spree verfolgt das Ziel, durch eine Bewirtschaftung der Bergbaufolgeseen (WSS Lohsa II, SB Bärwalde) und Talsperren (Quitzdorf, Bautzen) im oberen Einzugsgebiet der Spree die Immissionsrichtwerte für Sulfat einzuhalten. Die modellgestützte Wassergütebewirtschaftung im Spreegebiet erfolgt in der Kombination mit der → <u>Wassermengensteuerung Spree-Schwarze Elster</u> und in enger Abstimmung mit den maßgebenden Gewässernutzern (LMBV und LE-B), Fachbehörden (LDS, LfU) und Landesbetrieben (LTV). Die Bewirtschaftungsziele und -regeln werden regelmäßig in der → <u>länderübergreifenden AG Flussgebietsbewirtschaftung</u> abgestimmt. Zur Überwachung der Immissionsziele werden an relevanten Profilen Online-Messstellen betrieben.
Flutungszentrale Lausitz (FZL)	E724 E703	Das Flutungsmanagement der LMBV ist Bestandteil der bergbaulichen Grundsanie rung zum Erreichen der Sanierungsziele. Die Flutungszentrale ist bei der LMBV angesiedelt. Sie bedient sich zur Erfüllung ihrer Aufgaben moderner Rechen- und Kommunikationstechnik. Für diese Aufgaben wurden spezielle Flutungs- und Gütesteuermodelle entwickelt.

Maßnahmen	Nr.	Erläuterung
Bewirtschaftung der Kleinen Restloch-kette	E621	Die bergbaulich belasteten oberirdischen Abflüsse aus der Kleinen Restloch-kette (Sanierungsgebiet Klettwitz-Lauchhammer I-Plessa) belasten über den Floß- und Hammergraben die Schwarze Elster mit Säure und Eisen. Unter ungünstigen Bedingungen wurden in der Schwarzen Elster gelegentlich Versauerungsschübe festgestellt. Zur Vermeidung einer unzulässig hohen Belastung der Schwarzen Elster wurde ein Wassermanagement unter Nutzung der Speicherlamelle der Bergbaufolgeseen der Kleinen Restloch-kette eingeführt. Das Wassermanagement beinhaltet entsprechend der konkreten Abflusssituation in der Schwarzen Elster und im Hammergraben den Wasserrückhalt und die gesteuerte Wasserabgabe aus den Bergbau-folgeseen der Kleinen Restloch-kette.
Gewässerunterhaltung		
Sedimentberäumung eisenbelasteter Fließgewässer	B000 B065 B066 B480 B491 B492 E623 E624 E625 E626 E630	Durch die diffusen Stoffeinträge in die Fließgewässer in den Gebieten des Grundwasserwiederanstiegs bilden sich eisenhydroxidhaltige Gewässer-sedimente, die zu einer Verschlammung führen. Zur Aufrechterhaltung ihrer wasserwirtschaftlichen Funktion müssen die Fließgewässer periodisch beräumt werden. Das betrifft im Nordraum der LMBV vor allem das Greifen-hainer Fließ, die Wudritz, das Vetschauer und das Neue Vetschauer Mühlen-fließ, den Unterlauf der Dobra, die Kamske, den Oberlauf der Berste und im Raum Lauchhammer die Pößnitz sowie die Einzugsgebiete dieser Fließgewässer. Im Raum Lauchhammer sind nahezu die gesamten Vorfluter betroffen. Die Beräumung der Fließgewässer schafft gleichzeitig neuen Rück-halteraum, so dass die Ausbreitung und Verfrachtung des Eisens zeitweilig eingedämmt wird.
Beräumung der Vorsperre Bühlow	B480	Die bestimmungsgemäße wasserwirtschaftliche Funktion der Vorsperre Bühlow ist der Rückhalt von Gewässersedimenten. Durch die hohe Eisen-belastung der Spree wird in der Vorsperre auch Eisen hochgradig zurück-gehalten. Durch die → <u>Wasserbehandlung an der Vorsperre Bühlow</u> wird dieser Prozess gezielt forciert. Beim Rückhalt des Eisens in der Vorsperre bilden sich voluminöse Eisenhydroxidschlämme. Damit die Vorsperre ihre Funktionalität als Sedimentfalle nicht einbüßt, muss sie regelmäßig beräumt werden. Dies erfolgt mit Saug-/Spülbaggern. Das Schlammmanagement erfolgt durch Entwässerung vorzugsweise in den Sedimentationsbecken. Bei Bedarf kommen zusätzlich Hochleistungszentrifugen zum Einsatz.
Fremdflutung und Nachsorge		
Fremdflutung von Bergbaufolgeseen	B176 B266 B267 B268 B269 B270 B274 B275 B336	In den meisten Bergbaufolgeseen im Lausitzer Braunkohlenrevier formiert sich beim Grundwasseraufgang ein stark saures sowie eisen- und sulfat-reiches Wasser. Die Fremdflutung von Bergbaufolgeseen hat neben der Böschungsstabilisierung, der Beschleunigung der Flutung und damit der Folgenutzungen weitere Vorteile. Bei Verwendung neutralen und gepufferten Oberflächenwassers für die Fremdflutung wird die Hydrochemie günstig beeinflusst. Im besten Fall wird ein saurer Bergbaufolgese durch die Fremd-flutung dauerhaft neutralisiert. Selbst im ungünstigsten Fall werden die Säuregrade gesenkt, was die Nachsorgeaufwendungen verringert. In jedem Fall werden sowohl die Eisen- als auch die Sulfatkonzentrationen verringert. Fremdflutungen wurden bislang beispielsweise am Bärwalder See, an den Seen des WSS Lohsa II, an den Seen der Erweiterten Restloch-kette, am Gräbendorfer See, zeitweilig am Altdöberner See, am Klinger See und am Schlabendorfer See praktiziert. In den meisten Fällen wurde das Wasser aus der Vorflut und in ausgewählten Fällen behandeltes Sumpfungswasser aus → <u>Grubenwasserreinigungsanlagen</u> (GWRA Rainitz und GWBA Schwarze Pumpe) zur Fremdflutung benutzt.
Wasserbehandlung in Anlagen		
GWRA Rainitz	B328	In der GWRA Rainitz wird derzeit Wasser aus dem Bergbaufolgese Sedlitz und aus den Horizontalfilterbrunnen Senftenberg gereinigt. Die Kapazität der Anlage beträgt 2 m ³ /s. Gereinigt werden derzeit im Mittel etwa 1,3 m ³ /s. Die genehmigten Ausleitwerte sind pH 6,0 – 8,5, Eisen-gesamt ≤ 3 mg/L und Eisen-gelöst ≤ 1 mg/L. Das neutrale und eisenarme Reinwasser wird in den Großräschener See sowie in die Rainitz, in das Neue Buchholzer Fließ und in das Neue Vetschauer Fließ abgegeben.

Maßnahmen	Nr.	Erläuterung
GWRA Pößnitz	B260	Der überwiegende Teil des Wassers in der Pößnitz stammt aus Wasserhaltungen der LMBV (PS RL Hörlitz, PS Kabelbaggerteich; PS Fabrikteich, FiBr Hustebrücke, PS und FiBr Westmarkscheide, FiBr Kostebrau, Horizontalfilterbrunnen Senftenberg 8 und 9 im OT Brieske). Die GWRA Pößnitz ist für 2,3 m ³ /s ausgelegt. Das gereinigte Wasser wird über die Pößnitz in die Schwarze Elster eingeleitet. Die derzeitigen Ausleitbedingungen sind pH 6,0 – 8,5, Eisen-gesamt ≤ 5 mg/L und Eisen-gelöst ≤ 2 mg/L. Die Anlage soll bis 2024 saniert werden. Nach der Ertüchtigung der Anlage gelten als Ausleitwerte für Eisen-gesamt ≤ 3 mg/L und Eisen-gelöst ≤ 1 mg/L.
WBA Plessa	E622	Die sauren und eisenreichen Abflüsse aus dem Floßgraben und aus dem Hammergraben sollen in der WBA Plessa behandelt werden. Der Floßgraben entwässert die Sanierungsgebiete Klettwitz, Lauchhammer II und Plessa. Der Hammergraben entwässert große Teile des Sanierungsgebietes Schwarzheide und Lauchhammer I. Als Ablaufwerte der neuen WBA Plessa sind pH 6,5 – 8,5 und Eisen-gesamt ≤ 3 mg/L wasserrechtlich genehmigt. Das behandelte Ablaufwasser wird in den Hammergraben zurück und dann in die Schwarze Elster geleitet. Die Kapazität der Anlage ist mit 1,6 m ³ /s geplant. Die Anlage befindet sich derzeit im Bau. Die Fertigstellung und Inbetriebnahme der Anlage sind im Jahr 2022 vorgesehen.
Mitbenutzung der GWBA Schwarze Pumpe	E749	Die GWBA Schwarze Pumpe wurde in den 1960er Jahren gebaut. Hier wird das Sumpfungswasser der LE-B aus den Tagebauen Nochten und Welzow-Süd im Umfang von derzeit ca. 3,0 m ³ /s behandelt. Die GWBA Schwarze Pumpe war für deutlich größere Volumenströme ausgelegt und verfügt deshalb über Reserven, die mit dem auslaufenden Gewinnungsbergbau weiter steigen werden. Die LMBV hat mit der LE-B vereinbart, dass derzeit bis zu 0,1 m ³ /s des an der Kleinen Spree gefassten eisenreichen Grundwassers in der GWBA Schwarze Pumpe mitbehandelt werden.
Errichtung der MWBA Burgneudorf	B203 B204	Die modulare Wasserbehandlungsanlage Burgneudorf wurde in Containerbauweise errichtet. Sie ist für die Behandlung des Grundwassers aus dem → <u>10er Brunnenriegel Burgneudorf</u> rechtsseitig der Kleinen Spree vorgesehen. Die Anlagenkapazität ist auf max. 100 L/s ausgelegt. Die Anlagenkonzeption sieht in der 1. Ausbaustufe eine Eisenabscheidung von mindestens 90 % vor. Der Bemessungswert für das Rohwasser betrug ursprünglich ca. 120 mg/L (im Jahr 2015). Aktuell (2020) werden ca. 240 mg/L gemessen. Die Ableitung des Reinwassers erfolgt in die Kleine Spree.
Verfahrensoptimierung der MWBA Burgneudorf	E743	Da nach der Inbetriebnahme des 10er Brunnenriegels an der Kleinen Spree in Burgneudorf die Eingangswerte für Eisen im Rohwasser mit aktuell ca. 240 mg/L deutlich höher ausfielen, als nach ursprünglicher Planung zu erwarten war, musste die Anlage verfahrenstechnisch optimiert werden, um akzeptable Einleitwerte zu erreichen. Der Schlammabzug und die Sedimentationseinheiten wurden an die höheren Schlammengen angepasst.
Sandfiltration in der MWBA Burgneudorf	E660	In der 2. Ausbaustufe der MWBA Burgneudorf ist eine Reinigungsleistung von 99 % des Eisens und der Feinpartikel vorgesehen. Die 2. Reinigungsstufe soll mit acht kontinuierlich rückspülbaren Sandfiltern erfolgen. Die Inbetriebnahme der Sandfiltration ist im Jahr 2021 vorgesehen.
MWBA Neustadt	B439 B441	Am Graben Neustadt wurde 2019 eine Wasserbehandlungsanlage in Containerbauweise mit einer Anlagenkapazität von max. 50 L/s zur Reinigung des Abflusses errichtet. Die Eingangswerte des Rohwassers liegen bei einem pH-Wert um 3 und bei Eisen bis 330 mg/L. Der mit der Anlage zu erzielende Reinigungsgrad für Eisen aus dem Rohwasser ist gemäß dem Zulassungsbescheid des Sächsischen Oberbergamtes mit 90 % festgelegt.
MWBA Ruhlmühle	B440 B442	Das Ziel der geplanten modularen Wasserbehandlungsanlage in Containerbauweise MWBA Ruhlmühle ist die Fassung und Reinigung des Altarmes der Spree von maximal 100 L/s eisenhaltigen Wassers mit einer aktuellen Konzentration um 200 mg/L Eisen-gesamt aus dem Altarm der Spree. Der mit der Anlage zu erzielende Reinigungsgrad ist gemäß dem Zulassungsbescheid des Sächsischen Oberbergamtes mit 90 % festgelegt.

Maßnahmen	Nr.	Erläuterung
WBA Vetschau	B510 E661	Als sogenannte Sofortmaßnahme zum Rückhalt erhöhter Eisenkonzentrationen aus dem Vetschauer und Neuen Vetschauer Mühlenfließ wurde 2013 die ehemalige Grubenwasserreinigungsanlage (GWRA) Vetschau in eine Wasserbehandlungsanlage (WBA) umfunktioniert und in Betrieb genommen. In der neuen WBA Vetschau wird der gesamte Volumenstrom des Vetschauer Mühlenfließes und des Neuen Vetschauer Mühlenfließes behandelt. Er betrug im Jahresmittel 2018 265 L/s. Mit der zusätzlichen Inbetriebnahme der Bekalkung wird der pH-Wert in der WBA angehoben. Dadurch werden die Oxidation des zweiwertigen Eisens und die Sedimentation der Eisenhydroxidflocken beschleunigt. Die genehmigten Ausleitwerte in das Neue Vetschauer Mühlenfließ sind pH 6,0 – 8,5, Eisen-gesamt $\leq 3,0$ mg/L und Eisen-gelöst $\leq 1,0$ mg/L.
WBA Eichow	B106 E579 E664	Als sogenannte Sofortmaßnahme zum Rückhalt der erhöhten Eisenkonzentration im Eichower Fließ wurde im Jahr 2013 eine ehemalige Fischteichanlage des Kraftwerkes Vetschau am Eichower Fließ in eine Wasserbehandlungsanlage für das Eichower Fließ umgestaltet. Die Anlage besteht aus drei Becken mit der Fläche von ca. 4 ha und einem Volumen von ca. 50.000 m ³ . Das Wasser wird aus dem Eichower Fließ mit drei Schmutzwasserpumpen mit einer Kapazität von je 100 L/s redundant in die Becken geleitet. Der Durchfluss im Eichower Fließ beträgt 20 bis 50 L/s im Mittel mit einer Spanne von 0 bis 160 L/s.
Verfahrensoptimierung der WBA Eichow	E665	Die zur WBA Eichow umfunktionierte ehemalige Fischteichanlage (\rightarrow <u>WBA Eichow</u>) war funktional nicht für den Eisenrückhalt ausgelegt. Die hydraulischen Randbedingungen (Pumpbetrieb, Wasserverteilung und Wasserfluss zwischen den Teichen, Lage und Funktionalität der Ausleiter) sind für den Betrieb als WBA nicht optimal. Die WBA Eichow soll deshalb verfahrenstechnisch optimiert werden, so dass eine höhere Betriebssicherheit und bessere Abscheideraten für Eisen unter Berücksichtigung der starken Variabilität der Eingangsdaten im Eichower Fließ (Durchfluss und Eisenkonzentration) erreicht werden.
Reaktivierung der GWRA Wüstenhain	B105	Der Zwickel zwischen dem Greifenhainer Fließ und dem Neuen Buchholzer Fließ ist ein maßgeblicher Hotspot der diffusen Eiseneinträge in das Greifenhainer Fließ. Das Grundwasser soll ufernah gefasst werden. Das Grundwasser ist eisenreich und versauerungsdisponiert. Daraus definieren sich die Ansprüche an die Wasserbehandlung. Die Wasserbehandlung ist in einer hybriden Anlage vorgesehen. Als Absetzraum soll ein Teilbereich der ehemaligen GWRA Wüstenhain reaktiviert werden, die zu diesem Zweck mit einer Eintrageinheit für Neutralisationsmittel auszurüsten ist.
Wasserbehandlung im RL 28/29	B124 B127 B154	Die Bergbaufolgeseen RL 28/29 in Schwarzheide müssen zum Zweck der Grundwasserregulierung dauerhaft abgesenkt werden. In beiden Bergbaufolgeseen formiert sich ein saures und eisenreiches Wasser. Dieses Wasser darf nicht unbehandelt in die Schwarze Elster abgeschlagen werden. Die Verweilzeit des Wassers in den Bergbaufolgeseen RL 28/29 und folglich die Halbwertszeit der Rückversauerung sind kurz. Die derzeit installierte temporäre Wasserbehandlung gewährleistet keinen stabilen Betrieb. Die Wasserbehandlung im RL 28/29 muss technologieoffen ertüchtigt werden. Zur Wahl stehen eine stationäre landseitige Inlake-Wasserbehandlung oder eine Wasserbehandlung ex situ in einer neu zu errichtenden technischen Anlage.
Inlake-Wasserbehandlung		
Chemische Neutralisation von Bergbaufolgeseen	B022 B023 B125 B126 B188 B191 B279 B280 B281 B282 B283 B284 B285	Die Inlake-Wasserbehandlung zum Zwecke der Neutralisation saurer Bergbaufolgeseen hat sich seit Anfang der 2000er Jahre zum Stand der Technik entwickelt. Es stehen verschiedene schiffs- und ufergebundene Technologien sowie verschiedene Technologien für den Einsatz von CO ₂ zur Pufferung zur Verfügung. Die Neutralisation saurer Bergbaufolgeseen ist auch für die Fließgewässer von Belang, weil dadurch Eisen ausgefällt und damit zurückgehalten wird. Somit werden durch die Inlake-Wasserbehandlung Punktquellen vermieden. Das betrifft z. B. die Ausleitung aus dem RL 14/15 (Schlabendorfer See) in die Wudritz. Inlake-Wasserbehandlungen wurden bislang in den Bergbaufolgeseen RL 14/15, RL 12, RL F, RL 23, Lohsa II, Burghammer, Scheibe und in nahezu allen Seen der Erweiterten Restlochketten durchgeführt.

Maßnahmen	Nr.	Erläuterung
	B293 B516 B545 E595 E645	
Naturräumliche und hybride Wasserbehandlung		
Wasserbehandlung in der Vorsperre Bühlow	E614 B481	Als sogenannte Sofortmaßnahme zur Minderung der Eisenbelastung in der Talsperre Spremberg wurde an der Spree eine zweistufige Wasserbehandlung als temporäre Maßnahme eingerichtet. Die erste Stufe (TA 1) sieht die Applikation von Kalk als vor Ort gelöschtem Branntkalk in Spremberg-Wilhelmsthal (ca. 8 bis 12 g/m ³) und, nach einer Einmischstrecke von etwa 1.500 Meter, die zweite Stufe (TA 2) die Applikation eines polymeren Flockungshilfsmittels (ca. 0,2 bis 0,3 g/m ³) am Verteilerbauwerk vor der Vorsperre Bühlow vor. Durch die Anhebung des pH-Wertes in der Spree von ca. pH ≈ 7,0 auf pH ≈ 8,0 - 8,5 werden die Oxidation des zweiwertigen Eisens und die Ausfällung von Eisen(III)hydroxid insbesondere unter winterlichen Bedingungen beschleunigt. Das Ziel ist es, den anteiligen Eisenrückhalt in der Vorsperre Bühlow zu erhöhen und die Hauptsperre der TS Spremberg von Eiseneinträgen zu entlasten.
Heideteich Reddern	E588 E589	Für ein nicht versauerungsdisponiertes und moderat eisenbelastetes Wasser eignet sich die naturräumliche Wasserbehandlung in Teichen, Becken oder Seen. Voraussetzungen sind ausreichend lange Verweilzeiten und ein ausreichend großer Stapelraum für die Eisenhydroxidsedimente. Die aerobe Eisenabscheidung aus nicht versauerungsdisponierten Wässern in Teichen, Becken und Seen ist der Musterfall der naturräumlichen Wasserbehandlung. Sie kommt ohne Energie und Rohstoffe sowie mit einem minimalen Unterhaltungsaufwand aus. Ein voll funktionsfähiges Anschauungsbeispiel ist der Heideteich bei Reddern. Im Heideteich wird Eisen aus dem Abschlag des Neuen Vetschauer Fließes in das Greifenhainer Fließ hochgradig abgeschieden. Aufgrund der großzügigen Bemessung wird der ökologische Gewässerzustand dadurch nicht nachteilig beeinträchtigt. Dieses Konzept soll auf weitere Fließgewässer übertragen werden.
Weststrandgraben Hoyerswerda	E675	Der Weststrandgraben Hoyerswerda sammelt Wasser aus den → <u>Horizontalfilterbrunnen Hoyerswerda</u> und Dränagewasser aus dem Einzugsgebiet und führt es in die Schwarze Elster ab. Das Wasser ist sauer und eisenreich. Mit dem Betrieb einer temporären Konditionierungsanlage am Weststrandgraben werden die Eisenbelastung und die Versauerung gemindert. Die Konstellation entspricht einer hybriden Absetzstrecke. Die aktuelle Funktionsweise der Wasserbehandlung ist jedoch unbefriedigend.
Egsdorfer Teiche	E591	Durch Ertüchtigung der Dorfteiche in Egsdorf bei Luckau wurde für den Lorenzgraben das Prinzip der naturräumlichen Wasserbehandlung (→ <u>Heideteich Reddern</u>) umgesetzt. Aufgrund der vorgegebenen örtlichen Strukturen ist der Retentionsraum der Egsdorfer Teiche jedoch begrenzt. Für die Bewirtschaftung wurde ein Betreiberkonzept verbindlich festgelegt.
Südgraben Altdöbern	E740	Mit diesem Vorhaben soll eine flächenhafte Grundwasserabsenkung im Bereich der Ortslage Altdöbern durch die Errichtung des sogenannten „Südgrabens“ auf einer Länge von ca. 1.300 Meter und die Überleitung des Drainagewassers in das Chransdorfer Fließ erreicht werden. Als Absetzbecken (Retentionsfläche) für den sich bildenden Eisenhydroxidschlamm ist eine Wasserfläche von ca. 2.700 m ² eingerichtet.
Wasserfassung		
6er Brunnenriegel Spreewitz	B205	Im Unterlauf der Kleinen Spree zwischen der DB-Bahnbrücke und der Engstelle mit der Spree wurde rechtsseitig ein 6er Brunnenriegel zur Fassung des eisenbelasteten Grundwasserzustroms errichtet. Die Kapazität des 6er Brunnenriegels liegt bei 100 L/s und die mittlere Eisenkonzentration des Grundwassers aktuell bei 330 mg/L im Mischwasser. Das gefasste eisenreiche und versauerungsdisponierte Grundwasser wird derzeit über eine Entleerungsleitung der LEAG zur → <u>GWBA Schwarze Pumpe</u> (LEAG, Abschn. 6.3.1) übergeleitet, dort behandelt und in die Spree abgeschlagen.

Maßnahmen	Nr.	Erläuterung
10er Brunnenriegel Burgneudorf	B206	Im Unterlauf der Kleinen Spree zwischen dem Wehr Burghammer und der Kohleverbindungsbahn der LEAG im Ortsteil (OT) Spreewitz-Ausbau wurde rechtsseitig ein 10er Brunnenriegel zur Fassung des eisenbelasteten Grundwasserzustroms errichtet. Die geplante hydraulische Kapazität des 10er Brunnenriegels liegt bei 100 L/s und die mittlere Eisenkonzentration des Grundwassers als Zulaufmischwasser aktuell bei 240 mg/L. Das gefasste eisenreiche und versauerungsdisponierte Grundwasser wird zur → <u>MWBA Burgneudorf</u> geleitet, dort behandelt und ortsnah in die Kleine Spree abgeschlagen.
Horizontaldrainage Spreewitz-Ausbau	B207	Im Unterlauf der Kleinen Spree zwischen dem OT Spreewitz-Ausbau der DB-Bahnbrücke wurde rechtsseitig als Lückenschluss zwischen dem → <u>6er Brunnenriegel</u> und dem → <u>10er Brunnenriegel</u> zur Fassung des eisenbelasteten Grundwasserzustroms eine Horizontaldrainage errichtet. Die Horizontaldrainage setzt sich aus drei Strängen mit einer Gesamtlänge von 240 Meter zusammen. Die Kapazität der Horizontaldrainage ist auf 10 L/s ausgelegt. Das gefasste eisenreiche und versauerungsdisponierte Grundwasser wird derzeit gemeinsam mit dem Wasser des → <u>6er Brunnenriegels</u> über eine Entleerungsleitung der LEAG zur → <u>GWBA Schwarze Pumpe</u> (LEAG, Abschn. 6.3.1) geleitet, dort behandelt und über den Industriekanal in die Spree abgeschlagen.
Wasserfassungen linksseitig der Spree	E613	Durch hydrochemische Erkundung wurden relevante Eisenkonzentrationen im Grundwasser linksseitig der Kleinen Spree in der Ortslage Burgneudorf festgestellt. Derzeit wird untersucht, ob eine Fassung dieses eisenreichen Grundwassers erforderlich ist, um die Zielstellungen für die Kleine Spree und für die Spree zu erreichen. Aufgrund der Lage im Bebauungsgebiet müssen alternative Fassungsvarianten geprüft werden.
Wasserfassung im Zwickel des Greifenhainer Fließes	E744 E745	Der Zwickel zwischen dem Greifenhainer Fließ und dem Neuen Buchholzer Fließ ist ein Hotspot der diffusen Eiseneinträge in das Greifenhainer Fließ. Das Grundwasser soll ufernah gefasst werden. Dafür ist die geeignete Fassungstechnologie zu finden. Aufgrund des flurnahen Grundwasserstandes werden Dränagen als Fassungselemente favorisiert. Das Grundwasser wird in Sammelschächten gefasst. Da das Grundwasser im Fassungs-bereich versauerungsdisponiert ist, bedarf es einer Wasserbehandlung. Das Wasser soll in einer Rohrleitung von ca. 2 Kilometer Länge zur ehemaligen → <u>GWRA Wüstenhain</u> gepumpt werden, die zu diesem Zweck als hybride Wasserbehandlungsanlage ausgebaut wird.
Wasserhaltung		
Wasserstand im Schlabendorfer See (RL 14/15)	B544 E598	Der Schlabendorfer See (RL 14/15) ist bilanzüberschüssig. Der Wasserstand im Schlabendorfer See muss zur Gewährleistung der geotechnischen Sicherheit in einem Bereich von +59,50 bis +60,30 m NHN gehalten werden. Dazu ist eine Ausleitung erforderlich. Diese kann im freien Gefälle nur in den Lorenzgraben erfolgen. Temporär erfolgte eine Ausleitung im Pumpbetrieb zum Lichtenauer See (RL F). Diese Variante wird als Dauerlösung aus wirtschaftlichen Gründen jedoch verworfen. Da der Schlabendorfer See versauerungsdisponiert ist, muss der See behandelt werden. Diesen Zweck erfüllt die → <u>Inlake-Neutralisation des Schlabendorfer Sees</u> , ausgeführt als schiffsgebundene Wasserbehandlung.
Horizontalfilterbrunnen Senftenberg/Brieske	B327	Zur Vermeidung nachteiliger Auswirkungen des Grundwasserwiederanstiegs auf die Infrastruktur und Bausubstanz in den Ortslagen Senftenberg und Brieske wurde eine Grundwasserhaltung mit Horizontalfilterbrunnen favorisiert. Derzeit sind sechs Horizontalfilterbrunnen in Betrieb. Eine flächen-deckende Grabenlösung wurde aus hydraulischen Gründen und aufgrund der enormen baulichen Eingriffe verworfen. Der Betrieb der Horizontalfilterbrunnen ist eine Ewigkeitsaufgabe. Das gehobene Grundwasser ist eisenreich und versauerungsdisponiert und muss deshalb behandelt werden. Die Wasserbehandlung erfolgt derzeit in der → <u>GWRA Raintza</u> . Da die GWRA Raintza zurückgebaut werden soll, sind in der → <u>Fließgewässerkonzeption Schwarzheide</u> neue Lösungen zu finden.

Maßnahmen	Nr.	Erläuterung
Horizontalfilterbrunnen Hoyerswerda	E741 E742	Zur Vermeidung nachteiliger Auswirkungen des Grundwasserwiederanstiegs auf die Infrastruktur und Bausubstanz in der Stadt Hoyerswerda wurde eine Grundwasserhaltung mit Horizontalfilterbrunnen errichtet. Derzeit sind drei Horizontalfilterbrunnen in Betrieb. Der Betrieb der Horizontalfilterbrunnen ist eine Ewigkeitsaufgabe. Das gehobene Grundwasser ist eisenreich und versauerungsdisponiert und muss deshalb behandelt werden. Die Wasserbehandlung erfolgt derzeit im → <u>Weststrandgraben Hoyerswerda</u> . Diese temporäre WBA in der Form einer hybriden Absetzstrecke funktioniert unbefriedigend und muss ertüchtigt werden.
RL 28/29 (Entwässerung Schwarzheide)	B163 B164 B165	Nachteilige Wirkungen des Grundwasserwiederanstiegs auf die Infrastruktur und Bausubstanz in der Stadt Schwarzheide lassen sich durch eine offene Wasserhaltung im RL 28/29 effektiv vermeiden. Durch die Seen wird eine große Reichweite der Entwässerung erzielt. Dabei handelt es sich um eine Ewigkeitsaufgabe. Das Wasser im RL 28/29 ist jedoch eisenreich und sauer und darf in diesem Zustand nicht in die öffentliche Vorflut abgeschlagen werden. Für das RL 28/29 muss eine effiziente Art der Wasserbehandlung gefunden werden (→ <u>WBA RL 28/29</u>).
Wasserüberleitung		
Wasserüberleitung von der Kleinen Spree zur GWBA Schwarze Pumpe	B208 B210	Diese Maßnahme beinhaltet die zwischen den Bergbauunternehmen LMBV und LE-B abgestimmte Nutzung einer Entleerungsleitung der LE-B zur Überleitung des gefassten eisenreichen und versauerungsdisponierten Grundwassers aus dem → <u>6er Brunnenriegel</u> und aus der → <u>Horizontaldrainage Spreewitz-Ausbau</u> am Unterlauf der Kleinen Spree. Die LE-B nutzt diese PE-Entleerungsleitung für ihre GFK-Rohrleitungen, die Sumpfungswässer vom Tagebau Nochten zur GWBA Schwarze Pumpe transportieren. Diese Nutzung erfolgt selten (z. B. im Havariefall) und dann nur kurzzeitig, so dass kaum Einschränkungen für die Nutzung durch die LMBV bestehen.
Überleitung des Briesener Wiesengrabens in das Eichower Fließ	B108	Bei saisonal starken Abflüssen trägt der Briesener Wiesengraben beträchtliche Eisenfrachten in das Greifenhainer Fließ ein. Diese Stoffquelle für das Greifenhainer Fließ kann durch die Überleitung des Briesener Wiesengrabens in das Eichower Fließ beseitigt werden. Die Grabenstruktur für die Überleitung besteht bereits. Die wasserbaulichen Voraussetzungen (Wehr) sind ebenfalls vorhanden. Das Grabenprofil muss jedoch hydraulisch ertüchtigt werden, um die zusätzlichen Wassermengen aufzunehmen und schadlos abzuführen. Der Briesener Wiesengraben wird auf diesem Weg der → <u>WBA Eichow</u> zugeführt und dort behandelt.
Pilot- & Demovorhaben (P&D)		
Testanlage und Dauer- versuch am GWAB Raddusch	E566	Nach Außerbetriebnahme des Grubenwasserabsetzbeckens (GWAB) Raddusch als Wasserbehandlungsanlage für das nicht versauerungsdisponierte Sumpfungswasser von der Nordmarkscheide des Tagebaus Seese-Ost erwies sich das GWAB Raddusch als Grundwasserblänke, die von eisenreichem und versauerungsdisponiertem Grundwasser gespeist wird. Aufgrund der kurzen Verweilzeit des Wassers in der Blänke und der schnellen Rückversauerung unterscheiden sich die Anforderungen an eine Inlake-Wasserbehandlung maßgeblich von denen an großvolumige Bergbaufolgeseen. Im GWAB Raddusch werden Versuche mit unterschiedlichen Applikationstechniken und verschiedenen Neutralisationsmitteln durchgeführt. Damit sollen zunächst praktische Erfahrungen gesammelt werden, die zu einem gegebenen Zeitpunkt in eine funktionstüchtige Dauerlösung für den konkreten Fall überführt werden.
Feldversuch RAPS am Lorenzgraben	E683	Für Hotspots der Eiseneinträge in die Fließgewässer gibt es bislang kaum verfahrenstechnischen Lösungen, die dem Prinzip der Verhältnismäßigkeit gerecht werden. Unter Hotspots werden hier Eintragsquellen mit kleinen Volumenströmen aber sehr hohen Eisenkonzentrationen und einer starken Versauerungsdisposition verstanden. Am stark eisenbelasteten und stark versauerungsdisponierten Grundwasserzustrom zum Lorenzgraben soll ein sogenanntes RAPS (reduzierendes und Alkalinität produzierendes System) in Schachtbrunnen hinsichtlich seiner Leistungsfähigkeit getestet werden. Bei ausreichender Leistungsfähigkeit sind eine Erweiterung der Anlage und die Übernahme in den Dauerbetrieb vorgesehen.

Maßnahmen	Nr.	Erläuterung
Containerversuche zur Eisenabscheidung	E567	Für den überwiegenden Fall der nicht versauerungsdisponierten und moderat eisenhaltigen Fließgewässer stellen naturräumliche Verfahren der Wasserbehandlung (→ <u>Heideteich</u>) eine wirtschaftliche Alternative zur technischen Wasserbehandlung in kompakten Anlagen dar, insbesondere im Hinblick auf die voraussichtlich lange Betriebsdauer. Die Bemessung der naturräumlichen Wasserbehandlung ist naturgemäß unscharf, weshalb die Akzeptanz gering ist. Durch repräsentative Containertests in mehreren Wiederholungen sollen die Bemessungsansätze für naturräumliche Verfahren der Wasserbehandlung verbessert werden.
Tiefenkalkung grundwassernaher Standorte	E557	Das Grundwasser in den Lausitzer Urstromtälern ist bereits natürlicherweise erhöht eisenhaltig. Das Eisen wurde unter natürlichen Bedingungen bei einem Kalkgehalt im Boden als Raseneisenerz gebunden. Dieser Mechanismus ist durch die bergbauliche Grundwasserabsenkung und Versauerung verloren gegangen. Durch den Einbau von Kalk in der aeroben/anaeroben Grundwasserwechselzone grundwassernaher Standorte soll die Neubildung von Raseneisenerz initiiert werden, um den Eisenaustrag in die Fließgewässer zu verringern. Auf der Basis etablierter landwirtschaftlicher Techniken soll unter Praxisbedingungen eine effiziente Eintragstechnologie getestet werden.
Studien und Konzepte		
Eisen- und Sulfatstudien zur Spree	E726 E727 E728 E715	Zügig nach dem Auftreten der ersten Verockerung in der Kleinen Spree und in der Spree im sogenannten Südraum sowie in den südlichen Spreewaldzuflüssen aus den Gebieten der Sanierungstagebaue Greifenhain/Gräbendorf, Schlabendorf-Süd und -Nord, Seese-Ost und -West im sogenannten Nordraum wurden im Auftrag der LMBV Studien zu den Ursachen, den Ausmaßen, der möglichen weiteren Entwicklung und zur Ableitung von Abwehrmaßnahmen veranlasst. Die Studien bestanden in der Regel aus zwei Teilen: die Erkundung und Ursachenermittlung sowie die Ableitung von Abwehrmaßnahmen. Aus den Studien sind Rahmenverträge zur gutachterlichen Begleitung der weiteren Untersuchungen, eines problemspezifischen Monitorings, der Entwicklung von Konzepten zur Wasserbehandlung und zur Begleitung der Maßnahmenumsetzung erwachsen.
Eisen- und Sulfatstudien zur Schwarzen Elster	B357 B358	Aufgrund der Verockerungserscheinungen in der Kleinen Spree, in der Spree und in den südlichen Spreewaldzuflüssen (→ <u>Eisen- und Sulfatstudien Spree</u>) wurden von der LMBV vergleichbare Studien zur Verockerungsgefahr und für mögliche Abwehrmaßnahmen in der Schwarzen Elster veranlasst.
Entwicklung eines EHS-Konzeptes	E746	Bei der → <u>Entschlammung eisenbelasteter Fließgewässer</u> , der → <u>Entschlammung der Vorsperre Bühlow</u> und der → <u>Wasserbehandlung in naturräumlichen Wasserbehandlungsanlagen</u> fallen beträchtliche Mengen eisenhydroxidhaltiger Gewässersedimente an. Dabei handelt es sich überwiegend um Mischsedimente, die aus wechselnden Anteilen klastischer und organischer Bestandteile sowie Eisenhydroxid bestehen. In Übereinstimmung mit dem Kreislaufwirtschaftsgesetz war ein Konzept zu entwickeln, das der Abfallhierarchie nach § 6 KrWG „Vermeiden vor Verwerten vor Beseitigen“ folgt. Da eine Vermeidung in vielen Fällen nicht mehr möglich ist, eine Verwertung häufig an der heterogenen Zusammensetzung der Sedimente scheitert, ist es unvermeidbar, dass beträchtliche Mengen entsorgt werden müssen. Dafür sind umweltverträgliche, kostengünstige und pragmatische Lösungen zu finden, die der Besonderheit dieser Sedimente Rechnung tragen.

Maßnahmen	Nr.	Erläuterung
Fortschreibung des EHS-Konzeptes	E701	Als Entsorgungsalternativen für eisenhydroxidhaltige Gewässersedimente (→ <u>Entwicklung eines EHS-Konzeptes</u>) kommen im Wesentlichen die Verwertung als Ersatzbaustoff (z. B. zur Deponieabdeckung), die Errichtung und der Betrieb einer betriebseigenen Monodeponie der LMBV oder die Verbringung in einem Tagebaurestloch in Frage. Die Aufnahmekapazitäten geeigneter Entsorgungsanlagen sind absehbar begrenzt und rückläufig. Eine betriebseigene Monodeponie ist im Hinblick auf das niedrige Gefährdungspotenzial der eisenhydroxidhaltigen Gewässersedimente sowie im Vergleich mit einer Verbringung in einem Restraum des Bergbaus unverhältnismäßig. Es handelt sich hierbei zudem um eine Ewigkeitslast. Favorisiert wird deshalb eine unschädliche Verbringung des EHS in einem Restraum des Bergbaus, die sich im günstigsten Fall mit einer Sanierungsaufgabe koppeln lässt. Das → <u>entwickelte EHS-Konzept</u> der LMBV ist in diesem Sinne fortzuschreiben.
Fließgewässer-konzeptionen für die Sanierungsgebiete	B050 B051 B052 B538 E719 E720 E721 E722	Markante Veränderungen natürlicher Randbedingungen des Sanierungsbergbaus, wie z. B. Instabilitäten der Innenkippen und die Verockerung von Fließgewässern, waren Anlass für die LMBV, die Sanierungspläne aus den 1990er Jahren insbesondere hinsichtlich der wasserhaushaltlichen Gestaltung der Sanierungsgebiete zu evaluieren. Die Fließgewässerkonzeptionen gliedern sich in drei Teile: 1) hydrologische, geohydraulische und hydrochemische Systemanalyse, 2) wasserwirtschaftliche Maßnahmen sowie 3) Monitoringkonzept. Unter Einbeziehung des über ein Vierteljahrhundert gewachsenen Kenntnisstandes wurden die Ziele zur Herstellung eines sich weitgehend selbst regulierenden Wasserhaushaltes neu justiert. Solche Fließgewässerkonzeptionen sind für die Sanierungsgebiete Schlabendorf, Greifenhain/Gräbendorf, Seese, Heide/Laubusch, Schwarzheide und Lauchhammer erstellt bzw. in Bearbeitung. Es ist vorgesehen, die Fließgewässerkonzeptionen im Falle neuer Erkenntnisse oder veränderter Rahmenbedingungen zu evaluieren.
Prognosen der Wasserbeschaffenheit von Bergbaufolgeseen	E747	Für die Entscheidungen des Bergbaus zur → <u>Fremdflutung</u> und/oder zur → <u>Inlake-Wasserbehandlung von Bergbaufolgeseen</u> sind solide Prognosen der Wasserbeschaffenheit notwendig. Dabei stehen die Versauerung, die Verockerung und die Versalzung der Gewässer im Fokus. Seit Mitte der 1990er Jahre werden solche Prognosen auf der Grundlage hydrochemischer Modelle erstellt. Inzwischen ist der Datenbestand zu den Bergbaufolgeseen deutlich angewachsen. Die hydrochemischen Modelle wurden zur Berücksichtigung neuer Entwicklungen inhaltlich weiterentwickelt. Zu allen relevanten Bergbaufolgeseen des Lausitzer Reviers liegen inzwischen Modelle vor. Die Modelle sind in der Regel gut kalibriert und damit prognosefähig. Heute sind die hydrochemischen Modelle ein unverzichtbares Werkzeug für die Planungen zur Flutung, Bewirtschaftung und Wasserbehandlung der Bergbaufolgeseen. Damit sie als Bewirtschaftungs- und Planungsinstrument auch künftig zur Verfügung stehen, müssen die hydrochemischen Modelle unter Nutzung der Erkenntnisse aus dem → <u>Monitoring der Bergbaufolgeseen</u> systematisch fortgeschrieben werden.
Versauerung der Schwarzen Elster	E619	Die Schwarze Elster war im Sommer 2019 durch eine ungünstige Konstellation natürlicher und bergbaubedingter Faktoren von einem mehr-tägigen Versauerungsschub betroffen, der zum Fischsterben führte. Der stoffliche Ursprung des Versauerungsschubs lag im Wesentlichen im Sanierungsbergbau im Gebiet Klettwitz/Lauchhammer/Plessa. Die Ursachen dieses Ereignisses wurden analysiert. Daraus wurden Lösungsvorschläge zur Vermeidung künftiger Versauerungsschübe und Schlussfolgerungen für ein qualifiziertes Monitoring (→ <u>Sondermonitoring zur Versauerung der Schwarzen Elster</u>) abgeleitet.

Maßnahmen	Nr.	Erläuterung
Erkundung		
Grundwasserpfad Spreewitzer Rinne	E602	Zur Ermittlung der Größenordnung, der räumlichen Ausdehnung, der maßgeblichen Transportpfade und der treibenden Potenziale der stofflichen Belastung des Grundwassers im Südraum (Spree und Kleine Spree) wurden hydrogeologische Erkundungsbohrungen geteuft und zu Grundwassermessstellen ausgebaut. In den mächtigen Grundwasserleitern der Spreewitzer Rinne wurden Messstellenstaffeln eingerichtet. Das Grundwasser wurde hydrochemisch untersucht. Die Messstellen wurden in das → <u>Grundwassermonitoring nach MHM</u> eingeordnet. Die gewonnenen Erkenntnisse dienen der Verifizierung der → <u>geohydraulischen Modelle (SPRIN bzw. OSO)</u> und der geplanten → <u>numerischen 2D- und 3D-Stofftransportmodelle</u> sowie der Planung ortskonkreter Abwehrmaßnahmen der Eisenbelastung.
Grundwasserpfad Wüstenhainer Rinne	B061	Zur Ermittlung der Größenordnung, der räumlichen Ausdehnung, der maßgeblichen Transportpfade und der treibenden Potenziale der stofflichen Belastung des Grundwassers im Nordraum (hier: TG Greifenhainer Fließ) wurden hydrogeologische Erkundungsbohrungen geteuft und zu Grundwassermessstellen ausgebaut. In den mächtigen Grundwasserleitern der Wüstenhainer Rinne wurden Messstellenstaffeln eingerichtet. Das Grundwasser wurde hydrochemisch untersucht. Die Messstellen wurden in das → <u>Grundwassermonitoring nach MHM</u> eingeordnet. Die gewonnenen Erkenntnisse dienen der Verifizierung der hydrogeologischen Modellvorstellungen sowie der Planung ortskonkreter Abwehrmaßnahmen der Eisenbelastung.
Grundwasserpfad Spreewald	E793	Zur Ermittlung möglicher Transportpfade der stofflichen Belastung des Grundwassers aus dem sogenannten Nordraum - Tagebaue Seese-Ost, Seese-West und Schlabendorf-Nord - in die Südpolder des Spreewaldes wurden hydrogeologische Erkundungsbohrungen geteuft und zu Grundwassermessstellen ausgebaut. Die Grundwassermessstellen wurden in Form von Trassen angelegt, die im Einzelfall bis zum Südumfluter reichen. An Schwerpunkten der Eisenbelastung, wie am Unterlauf des Göritzer Mühlenfließes und am Absetzbecken Raddusch, wurde die Grundwassererkundung örtlich verdichtet. Das Grundwasser in den Messstellen wurde hydrochemisch untersucht. Die Messstellen wurden anteilig in das → <u>Grundwassermonitoring nach MHM</u> eingeordnet. Die gewonnenen Erkenntnisse dienen der Planung ortskonkreter Abwehrmaßnahmen der Eisenbelastung.
Monitoring		
Fließgewässermonitoring nach MHM	B043 B044 B045 B096 B097 B098 B099 B147 B179 B255 B311 B320 B355 B508 E656	Das Fließgewässermonitoring der LMBV nach MHM enthält Messungen des Durchflusses und die Untersuchung der Wasserbeschaffenheit an 273 Messstellen in den bergbaulich beeinflussten Fließgewässern der Sanierungsbereiche O1 bis O3 (Ostsachsen) und B1 bis B6 (Brandenburg). Die Fließgewässer, die Messstellen und die Messprogramme wurden nach Relevanz ausgewählt bzw. festgelegt. Das Fließgewässermonitoring wird entsprechend der Entwicklungen in den Sanierungsgebieten regelmäßig evaluiert.
Grundwassermonitoring nach MHM	B014 B015 B037 B038 B090 B091 B143 B144 B197 B230 B231	Das Grundwassermonitoring der LMBV nach MHM enthält Messungen des Grundwasserstandes in etwa 4.750 Messstellen und die Untersuchung der Grundwasserbeschaffenheit in etwa 519 Messstellen in den Sanierungsbereichen O1 bis O3 (Ostsachsen) und B1 bis B6 (Brandenburg). Die Messstellen wurden ursprünglich bevorzugt in den maßgeblichen Grundwasserherkunftsbereichen der Bergbaufolgeseen errichtet. Mit der Fließgewässerverockerung wurden zusätzlich zahlreiche Messstellen in den Hotspotbereichen der Eisenbelastung und in Flussnähe der Eintragsbereiche platziert. Die Methodik des Grundwassermonitorings (Teufe, Platzierung und Ausbau der Messstellen, Untersuchungsprogramme) wurde entsprechend der veränderten Ausrichtung modifiziert.

Maßnahmen	Nr.	Erläuterung
	B251 B252 B312 B317 B342 B345 B351 B352 B360 B361 B382 B405 B505 B506 B527 B528	
Monitoring der Bergbau- folgeseen nach MHM	B040 B041 B042 B060 B093 B094 B095 B146 B232 B254 B319 B354 B363 B364 B365 B366 B367 B368 B369 B531 B549	Das Monitoring der Bergbaufolgeseen der LMBV nach MHM enthält Messungen des Wasserstandes sowie Untersuchungen zur Hydrochemie und Biologie an etwa 138 Messstellen in den Bergbaufolgeseen der Sanierungsbereiche O1 bis O3 (Ostsachsen) und B1 bis B6 (Brandenburg) der LMBV. Im Jahr werden bis zu vier Messkampagnen in limnologisch relevanten Zeitfenstern durchgeführt. Dabei werden je nach jahreszeitlicher Ausprägung die markanten Seekompartimente beprobt. Das betrifft zur Sommerstagnation das oberflächennahe Seewasser, das Epilimnion, das Hypolimnion, den grundnahen Bereich und ggf. das Monimolimnion. In den Zirkulationsphasen werden Profilmischproben entnommen.
Anlagenmonitorings		
Eisenmonitoring der Talsperre Spremberg	B484 B485	Mit dem Vorstoß der Verockerung in der Spree bis zur Talsperre Spremberg im Jahr 2011/2012 waren die Erkenntnisse zur Eisendynamik in der Spree und zum Eisenrückhalt in der Talsperre Spremberg gering. Deshalb wurde im Jahr 2012 ein zeitlich hochauflösendes Eisenmonitoring zur Talsperre Spremberg eingerichtet. Dieses Monitoring beinhaltet tägliche Beprobungen der Spree vor der Vorsperre Bühlow, nach der Vorsperre Bühlow und nach der Talsperre Spremberg. Dieses Monitoring wurde bislang in dieser zeitlichen Intensität beibehalten. Durch das Monitoring konnte der Kenntnisstand zu den Prozessen des Eisentransports deutlich verbessert werden. Es hat der Überwachung kritischer Belastungssituationen der Talsperre Spremberg gedient und ist heute und zukünftig erforderlich zur Erfolgskontrolle der → <u>Wasserbehandlung an der Vorsperre Bühlow</u> .
Diverse Anlagenmonitorings	E584 E585 E590	Die Maßnahmen → <u>GWRA Vetschau</u> , → <u>WBA Eichow</u> und → <u>Ausleitung aus dem RL 14/15 in die Wudritz</u> im Zusammenhang mit einer Inlake-Wasserbehandlung im RL 14/15 dienen der LMBV zur Umsetzung des Barrierenkonzeptes im Nordraum. Zur Feststellung der Reinigungsleistung und der Betriebssicherheit einerseits sowie zum Wirkungsnachweis gegenüber der Behörde andererseits werden diese Maßnahmen durch zeitlich dichte Anlagenmonitorings begleitet.

Maßnahmen	Nr.	Erläuterung
Sondermonitoring zur Versauerung der Schwarzen Elster	E620	Der → <u>Versauerungsschub in der Schwarze Elster</u> im Sommer 2019 war Anlass, ein Monitoring zur Früherkennung der Präkursorien solcher Entwicklungen aufzulegen. Das Monitoring wurde im Unterschied zum → <u>Fließgewässermonitoring nach MHM</u> räumlich und zeitlich verdichtet. Zur Herstellung einer zeitsynchronen und konsistenten Datenbasis schließt das Monitoring hoheitliche Gewässer, hier die Schwarze Elster, notwendigerweise mit ein.
Modellierung		
Hydrogeologische Großraummodelle (HGM) für die Sanierungsbereiche	B012 B035 B088 B140 B181 B193 B229 B248 B306 B307 B308 B339 B340 B349 B372 B503 B525	Die LMBV betreibt für ihre Sanierungsräume numerische hydrogeologische Großraummodelle (HGM), die die Grundwasserströmung abbilden. Der Ursprung der Modellentwicklung lag im Gewinnungsbergbau der 1970er Jahre. Die Modelle waren seinerzeit überwiegend als 1-Schicht-, seltener als 2-Schicht-2D-Modelle, ausgelegt. Mit dem Übergang zum Sanierungsbergbau und der wachsenden Leistungsfähigkeit der Rechentchnik werden die Modelle von der LMBV ertüchtigt. Auf der Grundlage von PCGEOFIM werden nunmehr quasi-3D-Modelle aufgebaut, die gebietsspezifisch bis über 30 Modellgrundwasserleiter abbilden. Dazu mussten die hydrogeologische Modellbildung neu vollzogen, die Modelle neu kalibriert und an die spezifischen Fragestellungen des Sanierungsbergbaus angepasst werden. Das ist ein laufender Prozess. Bei der LMBV liegen derzeit folgende Modelle vor: OSO (Ostsachsen-Ost), ERLK (Erweiterte Restlochkette), LAUCH (Lauchhammer/Klettwitz), GREIF (Greifenhain/Gräbendorf) und NORD (Schlabendorf/Seese). Typische Anwendungsfälle für die HGM sind die Begleitung der Flutung, der Wirkungsnachweis von Verdichtungsarbeiten auf den Kippen, die Ermittlung der Lage des nachbergbaulichen Grundwasserspiegels, die Quantifizierung der hydraulischen Wechselwirkung zwischen dem Grundwasser und den Oberflächengewässern und zahlreiche weitere.
Niederschlags-Abfluss-Modelle für die Sanierungsbereiche	B142 B250 B310	Als Planungsgrundlage für den Gewässerausbau in den Sanierungsgebieten müssen die künftigen Abflussverhältnisse prognostiziert werden. Im Unterschied zu natürlichen Gewässereinzugsgebieten sind in den bergbaulichen Sanierungsgebieten die Gewässerstruktur nachhaltig und irreversibel verändert, die Kongruenz zwischen den oberirdischen und unterirdischen Einzugsgebieten dauerhaft verloren gegangen, häufig der Kontakt zwischen dem Grundwasser und dem Oberflächenwasser unterbrochen und aufgrund des jahrzehntelang gestörten Wasserhaushaltes keine Durchflusspegel zur Kalibrierung verfügbar. Hieraus leitet sich der besondere Anspruch an die Niederschlag-Abfluss-Modelle (NAM) für die Sanierungsbereiche ab. Die Modellkalibrierung und –anwendung sind eine Daueraufgabe. NAM liegen bei der LMBV für alle Sanierungsbereiche vor.
Prognose der Sulfat- und Eisenausbreitung im Grundwasser	B013 B036 B089 B141 B249 B309 B350 B504 B526	Im Sinne flächendeckender Aussagen und Prognosen zur stofflichen Belastung des Grundwassers durch den Bergbau wurde von der LMBV ein Stofffreisetzungs- und Stofftransportmodell aufgelegt. Das Modell ermittelt aus dem Verschnitt der bergbaulichen Grundwasserabsenkung (Belüftung in der Grundwasserabsenkungslamelle) mit der Geochemie des Gebirges die Umsätze der Pyritverwitterung. Aus dem Bezug des verwitterten Pyrits auf die Mächtigkeit der betroffenen Grundwasserleiter können die Ausgangskonzentrationen für Sulfat und Eisen im Grundwasser ermittelt werden. Durch die Kopplung mit geohydraulischen Modellen (→ <u>HGM für die Sanierungsbereiche</u>) kann der Stofftransport des Sulfats und Eisens abgebildet werden. Das Modell erstreckt sich ausschließlich auf den Verantwortungsbereich der LMBV. Obwohl die Modellentwicklung bereits seit vielen Jahren betrieben wird, ist ihre praktische Nutzbarkeit bislang nicht in Sicht. Die Diskrepanz zwischen den Modellergebnissen und den Beobachtungsergebnissen (→ <u>Grundwassermonitoring nach MHM</u>) ist noch zu groß.

Maßnahmen	Nr.	Erläuterung
Wassergütebewirtschaftungsmodell Schwarze Elster	B149	Für das bergbaulich beeinflusste Gebiet der Schwarzen Elster zwischen dem Pegel Neuwiese und der Ortslage Elsterwerda wurde in Anlehnung an das Modell „Obere Spree“ ein Wassergütebewirtschaftungsmodell auf der Basis konzeptioneller Blockmodelle entwickelt, das Seen und Fließgewässer vernetzt. Das Modell verwendet die Prognosen des Langfristbewirtschaftungsmodells WBalMo Spree - Schwarze Elster (→ <u>Wassermengensteuerung Spree-Schwarze Elster</u>) als Mengengerüst. Die Wasserbeschaffenheit in den Fließgewässern und Bergbaufolgeseen wird mit PHREEQC berechnet. Das Wassergütebewirtschaftungsmodell Schwarze Elster bildet die vielfältigen Wechselwirkungen zwischen den Bergbaufolgeseen, den Fließgewässern und dem Grundwasser ab. Weiterhin können verschiedene Maßnahmen zur Wasserbehandlung auf ihre Wirksamkeit geprüft, bewertet und hinsichtlich des Standort- und Mitteleinsatzes optimiert werden.
2D-Stofftransportmodellierung Spreewitzer Rinne	E748	Durch eine detaillierte → <u>hydrochemische Erkundung</u> der Spreewitzer Rinne konnten bedeutende Erkenntnisse zur räumlichen Ausbreitung der Eisenbelastung und der Versauerungsdisposition des Grundwassers gewonnen werden. Die auf einem Transekt vom Speicherbecken Lohsa II bis zur Spree verdichtet vorliegenden Daten bieten die Grundlage, durch eine 2D-Modellierung des Eisentransport unter Berücksichtigung seiner spezifischen Retardation eine erste quantitative Abschätzung zur zeitlichen Entwicklung des diffusen Eiseneintrags in die Spree zu gewinnen.

6.2.2 Zusätzlich empfohlene Maßnahmen

Die zusätzlich erforderlichen Maßnahmen für die LMBV in der Tabelle 23 sind Vorschläge des Gutachters, die auf seinen umfassenden Orts- und Problemkenntnissen basieren. Die nachfolgende Auflistung erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Die zusätzlichen Maßnahmen sind noch nicht mit dem Unternehmen und deren Finanziers hinsichtlich der Umsetzbarkeit, der Finanzierbarkeit und des Ausführungszeitraumes abschließend abgestimmt. Die dargestellten Zeitschienen sind deshalb unverbindliche Entwürfe. In der Tabelle 24 werden die empfohlenen Zusatzmaßnahmen der LMBV näher erläutert.

Tabelle 23: Zusätzlich empfohlene Maßnahmen der LMBV und mögliche Planungshorizonte.

Planungshorizonte	K										M	L	
Verwaltungsabkommen der Bergbausanierung	VA VI					VA VII							
Bewirtschaftungszeitraum nach Wasserrahmenrichtlinie	2. BWZ					3. BWZ							
Maßnahmen	Vor 2019	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028-2033	2034-2039	Nach 2039
Wassermengensteuerung, Wassergütesteuerung													
Sulfatlaststeuerung Spree-Nordraum													
Minderung der Eisenbelastung in der Kamske													
Gewässerunterhaltung													
Prüfung EHS-Stapelraum in der IAA Heide V													
Prüfung EHS-Stapelraum im RL Westmarkscheide													
Wasserbehandlung in Anlagen													
Mitbenutzung der GWBA Schwarze Pumpe													
Wasserbehandlung am Ablauf RL Heide VI													
Ertüchtigung GWRA Pößnitz oder Neubau WBA Pößnitz													
Inlake-Wasserbehandlung													
Dauerlösung für das GWAB Raddusch													
Einleitung des Kippenwassers Seese-West in den Schönfelder See													
Naturräumliche Wasserbehandlung													
Schönungsteiche für das Göritzer Mühlenfließ													
Retentionsräume an der Wudritz													
Dezentrale naturräumliche Wasserbehandlung im Einzugsgebiet des Vetschauer Mühlenfließes													
Aerobe Wasserbehandlung nicht versauerungsdisponierter Wässer im Nordraum													
Aerobe Wasserbehandlung schwach versauerungsdisponierter Wässer im Nordraum													
Anaerobe Wasserbehandlung versauerungsdisponierter Wässer													
Hydraulische Barrieren													
Dichtwand Lohsa II													
Wassereinleitung zur Stützung													
Substitution der Wasserversorgung für das Bergen-Weißacker Niedermoor													

Planungshorizonte	K										M	L	
Verwaltungsabkommen der Bergbausanierung	VA VI					VA VII							
Bewirtschaftungszeitraum nach Wasserrahmenrichtlinie	2. BWZ					3. BWZ							
Maßnahmen	Vor 2019	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028-2033	2034-2039	Nach 2039
Wasserüberleitung													
Überleitung der Kippenfußdränage Hosena in das RL Heide VI													
Pilot- & Demovorhaben (P&D)													
Feldversuche zur Quellenbehandlung von Hotspots													
Studien und Konzepte													
Wasserhaushalt im Sanierungsgebiet Greifenhain/Gräbendorf													
Naturräumliche Wasserbehandlung neu entstehender Quellen und Fließgewässer													
Naturräumliche Quellenbehandlung im Oberlauf des Eichower Fließes													
Alternativenprüfung zur Sicherung der Mindestwasserführung im Greifenhainer und Vetschauer Fließ													
Alternativenprüfung zur Wasserbehandlung der Horizontalfilterbrunnen Senftenberg/Brieske													
Alternativenprüfung zum Ersatz der Wasserversorgung des Bergen-Weißacker Moores													
Erkundung													
Vertiefende Erkundung von Hotspots der Eiseneinträge in die Fließgewässer													
Modellierung													
3D-Stofftransportmodellierung in der Spreewitzer Rinne													
Wirkung des Ausbaus der Kleinen Spree auf den diffusen Stoffeintrag													
Wechselwirkung des Grundwassers in der Spreewitzer Rinne mit der Spree													

Legende zur Tabelle 23:

Maßnahmenstatus	Farbe
Vorhanden, in Betrieb	
Planung/Genehmigung	
Bau	
Substitution	∅
Weiterführung ggf. erforderlich	→

Tabelle 24: Erläuterungen zu den zusätzlich empfohlenen Maßnahmen der LMBV.

Maßnahmen	Nr.	Erläuterung
Wassermengensteuerung, Wassergütesteuerung		
Sulfatlaststeuerung im Spree-Nordraum	N713 N714	Die bisher auf das obere Einzugsgebiet der Spree begrenzte → <u>Sulfatlaststeuerung</u> ist auf das gesamte bergbaulich beeinflusste Einzugsgebiet der Spree bis zum Pegel Leibsch auszudehnen. Die Bergbaufolgeseen im Sanierungsbereich Nordraum sind in die Sulfatlaststeuerung einzubeziehen. Als Voraussetzung ist eine Vertiefung des Kenntnisstandes zum Sulfattransport im stark verzweigten Gewässernetz des Spreewaldes notwendig. Dafür sind die Einrichtung, der Betrieb und die Auswertung von Dauermeßstellen der elektrischen Leitfähigkeit im Spreewald vorgesehen.
Minderung der Eisenbelastung in der Kamske	N627 N628 N629	Die Fließgewässer im Südpolder des Spreewaldes sind abschnittsweise mit Eisen belastet. Der überwiegende Teil dieser Belastung ist bergbaubürtig. Die vergleichsweise moderate Eisenbelastung der Kamske im Unterstrom (Lübbenau) kann aufgrund der günstigen hydrologischen Konstellation auf dem Wege einer Wassermengenbewirtschaftung gemindert werden. Die Eisenbelastung in der Kamske soll durch einen Wasseraustausch mit dem Südumfluter auf das erforderliche Maß verringert werden. Der Wasseraustausch sieht den Abschlag des Wassers aus der Kamske in den Südumfluter am Schöpfwerk Boblitz und/oder den Bau und Betrieb eines steuerbaren Abschlags aus dem Südumfluter in die Kamske an der ehemaligen Pumpstation Boblitz vor.
Gewässerunterhaltung		
Prüfung eines EHS-Stapelraumes in der IAA Heide V	N671	Die Beräumung eisenhydroxidhaltiger Sedimente aus Fließgewässern wird solange erforderlich sein, bis die wesentlichen Eintragsquellen des Eisens natürlicherweise versiegt oder technisch verschlossen sind. Andererseits fallen in den technischen, hybriden und naturräumlichen Wasserbehandlungsanlagen dauerhaft eisenhydroxidhaltige Sedimente an. Da es sich überwiegend um nicht gefährliche Stoffe handelt, ist deren Einlagerung in Resträumen des Sanierungsbergbaus eine umweltverträgliche und wirtschaftliche Option. Unter diesem Gesichtspunkt ist die Nutzung der IAA Heide V zur Einlagerung von eisenhydroxidhaltigen Gewässersedimenten und von eisenhydroxidhaltigen Mischsedimenten aus naturräumlichen und hybriden Wasserbehandlungsanlagen als Alternative oder Ergänzung zum → <u>EHS-Stapelraum im RL Westmarkscheide</u> vertiefend zu prüfen. Die besonderen hydrochemischen Randbedingungen der IAA Heide V gestatten sogar die schadlose Einlagerung saurer Eisensedimente der Typen Schwertmannit und Jarosit.
Prüfung eines EHS-Stapelraumes im RL Westmarkscheide	N670	Die Beräumung eisenhydroxidhaltiger Sedimente aus Fließgewässern wird solange erforderlich sein, bis die wesentlichen Eintragsquellen des Eisens beseitigt sind. Andererseits fallen in den technischen, hybriden und naturräumlichen Wasserbehandlungsanlagen dauerhaft eisenhydroxidhaltige Sedimente an. Da es sich überwiegend um nicht gefährliche Stoffe handelt, ist deren Einlagerung in Resträumen des Sanierungsbergbaus eine umweltverträgliche und wirtschaftliche Option. Unter diesem Gesichtspunkt ist die Nutzung des RL Westmarkscheide zur Einlagerung von eisenhydroxidhaltigen Gewässersedimenten und von eisenhydroxidhaltigen Mischsedimenten aus hybriden und naturräumlichen Wasserbehandlungsanlagen als Alternative oder Ergänzung zum → <u>EHS-Stapelraum in der IAA Heide V</u> weiter zu prüfen.
Wasserbehandlung in Anlagen		
Mitbenutzung der GWBA Schwarze Pumpe	N750	Die GWBA Schwarze Pumpe wurde in den 1960er Jahren gebaut. Hier wird das Sumpfungswasser der LE-B aus den Tagebauen Nochten und Welzow-Süd im Umfang von derzeit ca. 3,0 m³/s behandelt. Die GWBA Schwarze Pumpe war für deutlich größere Volumenströme ausgelegt und verfügt deshalb über Reserven, die mit dem auslaufenden Gewinnungsbergbau weiter steigen werden. Die LMBV plant mit der LE-B die langfristige Nutzung der GWBA Schwarze Pumpe zur zentralen Behandlung von maximal 1,0 m³/s eisenreichen Grundwassers aus den flussnahen Wasserfassungen an der Spree und an der Kleinen Spree im Südraum. Die GWBA Schwarze Pumpe soll mittelfristig die temporären → <u>MWBA an den Hotspots</u> ablösen.

Maßnahmen	Nr.	Erläuterung
Wasserbehandlung am Ablauf RL Heide VI	N672	Am Auslauf des RL Heide VI in den Grenzgraben Hosena ist die Errichtung einer WBA vorgesehen, die in der Summe das Wasser aus der Kippenfußdränage Hosena, den Bilanzüberschuss aus dem RL Heide VI und den Überschuss aus der Industriellen Absetzanlage (IAA) Heide V behandelt. Die WBA am RL Heide VI ist ein wesentlicher Baustein der → <u>Gesamtkonzeption zur Nutzung der IAA Heide V als Stapelraum</u> für eisenhydroxid- und schwertmannithaltige Gewässersedimente aus Fließgewässern sowie aus naturräumlichen und hybriden Wasserbehandlungsanlagen in der Kombination mit einer Sanierung der IAA Heide V.
Ertüchtigung der GWRA Pößnitz oder Neubau einer WBA Pößnitz	N668	Die GWRA Pößnitz wurde in den 1960er Jahren gebaut. Sie reinigt aktuell das Sumpfungswasser aus den Sanierungstagebauten Meuro und Marga sowie aus den Horizontalfilterbrunnen Brieske. Die GWRA Pößnitz behält auch nachbergbaulich eine Schlüsselstellung für die Wasserbehandlung des Sanierungsgebietes inne. Für die GWRA Pößnitz bieten sich als Alternativen die Sanierung am alten Standort oder der Neubau einer WBA am Unterlauf der Pößnitz an. Im zweiten Fall kann das Wasser der Wolschinka sowie der diffuse Grundwasserzufluss zur Pößnitz einbezogen werden.
Inlake-Wasserbehandlung		
Dauerlösung für das GWAB Raddusch	N564	Das Ziel des Betriebs der → <u>Testanlage GWAB Raddusch</u> besteht in der Entwicklung einer funktionssicheren und zugleich wirtschaftlichen Behandlungstechnologie für die besonderen Bedingungen des GWAB Raddusch. Diese Entwicklung berührt technologisches Neuland im Sanierungsbergbau der LMBV. Das im Rahmen des Testbetriebs entwickelte Behandlungskonzept soll perspektivisch in eine Dauerlösung überführt werden.
Einleitung des Kippenwassers in den Schönfelder See	N560	Die geotechnischen Sicherungsarbeiten auf der Kippe Seese-West mussten durch großflächige Rutschungen im Jahr 2009 unterbrochen werden. Seitdem ist der Grundwasserspiegel in der Kippe angestiegen. Zur Fortsetzung der Sanierungsarbeiten müssen einmalig der Grundwasserspiegel abgesenkt und die Vernässungsflächen entleert sowie das sich neu bildende Grundwasser dauerhaft abgeführt werden. Das Grundwasser und das Wasser in den Vernässungsflächen sind sauer und stark eisenhaltig. Als pragmatische Lösung bietet sich das Abschlagen dieses Wassers in den Schönfelder See (RL 4) ggf. in der Kombination mit einer temporären Wasserbehandlung an.
Naturräumliche Wasserbehandlung		
Schönungsteiche für das Göritzer Mühlenfließ	N565	Der Unterlauf des Göritzer Mühlenfließes wird aus Hotspots mit eisenreichem Grundwasser gespeist. Ziel der Maßnahme ist die Behandlung des eisenhaltigen, aber nicht versauerungsdisponierten Wassers in zwei Belüftungs- und Absetzteichen im Sinne einer naturräumlichen Wasserbehandlung. Dazu soll der gesamte Volumenstrom des Göritzer Mühlenfließes durch die naturnahen Absetzteiche geleitet werden. Die ingenieurtechnische Planung muss durch eine vertiefende → <u>örtliche Erkundung</u> qualifiziert und die Auslegung der Teichanlage durch repräsentative → <u>Feldtests in einer Containeranlage</u> präzisiert werden.
Retentionsräume an der Wudritz	N592	Durch die Neutralisation des Schlabendorfer Sees (RL 14/15) werden wesentliche Eisenfrachten aus der Wudritz ferngehalten. Nach dem Auslauf aus dem RL 14/15 erfährt die Wudritz diffuse und punktuelle Eiseneinträge, die derzeit noch bis in die Ragower Kahnfahrt gelangen. Zur Minderung der Eisenbelastung in der Wudritz sollen weitere Retentionsräume geschaffen und Eintragsquellen beseitigt werden. Dazu eignen sich vorhandene Teichanlagen, benachbarte Bergbaufolgeseen bzw. die naturräumliche Behandlung von Hotspots.
Dezentrale naturräumliche Wasserbehandlung im Einzugsgebiet des Vetschauer Mühlenfließes	N751	Für das Vetschauer und Neue Vetschauer Mühlenfließ wurde im Ergebnis der → <u>Eisenstudien zum Nordraum</u> als Mittelfristmaßnahme eine End-of-pipe-Lösung eingerichtet und mit der Nutzung der ehemaligen GWRA Vetschau des Tagebaus Seese-Ost als Bestandteil des Barrierenkonzeptes Nordraum von der LMBV umgesetzt. Die GWRA Vetschau ging 2013 als naturräumliche Wasserbehandlungsanlage (Absetzteiche) in Betrieb und wurde 2015 mit einer Bekalkung in eine hybride Anlage umgewidmet. Die WBA Vetschau hat sehr gute Leistungskennziffern. Das Vetschauer und Neue Vetschauer Mühlenfließ und das Neue Vetschauer Fließ im Oberlauf und im Mittellauf partizipieren nicht an der Wasserbehandlung in der WBA. Die Eisenbelastung

Maßnahmen	Nr.	Erläuterung
		entsteht im Oberlauf aus Niedermoore oder Teichgruppen in Niederungen. Die Zustandsverbesserung der gesamten Fließgewässer erfordert mehrere lokale Lösungen. In Frage kommen je nach örtlichen Bedingungen modulare WBA, Absetzteiche, Makrophytenbecken oder RAPS. Bei vollständiger Umsetzung der dezentralen Lösungen kann die hybride WBA Vetschau substituiert bzw. als Polizeifilter erhalten werden.
Aerobe Wasserbehandlung nicht versauerungsdisponierter Wässer	N558 N561	In mehreren Flusseinzugsgebieten im Nordraum der LMBV kann die Eisenkonzentration aufgrund günstiger hydrochemischer Randbedingungen (die Fließe sind nicht versauerungsdisponiert) unabhängig vom Durchfluss durch eine aerobe naturräumliche Wasserbehandlung wirkungsvoll und mit einfachen Mitteln gemindert werden. Dafür sind Absetzteiche, Makrophytenbecken oder vorhandene Seen geeignet. Das betrifft zum Beispiel den Goßmar-Luckauer Grenzgraben, den Oberlauf der Kleptna, den Lorenzgraben und die Wudritz. In Einzelfällen ist der Neubau einer Anlage erforderlich. In vielen Fällen lassen sich vorhandene Potenziale in den Einzugsgebieten (Teiche, Seen) für diese Zwecke nutzen.
Aerobe Wasserbehandlung schwach versauerungsdisponierter Wässer	N796	Schwach versauerte bzw. schwach versauerungsdisponierte Wässer können bei Zufuhr von Alkalinität entweder in hybriden Anlagen oder durch Zumischung gepufferter Wässer auch mit aeroben Verfahren behandelt werden. Diese Methode ist im Unterschied zur → <u>anaeroben Wasserbehandlung versauerungsdisponierter Wässer</u> für größere Volumenströme zu bevorzugen. Ein geeigneter Anwendungsfall ist z. B. der Borcheltsbusch südlich von Luckau zur Wasserbehandlung des eisenhaltigen und schwach sauren Abflusses im Oberlauf der Berste. In Kombination mit der → <u>anaeroben Wasserbehandlung versauerungsdisponierter Wässer</u> an den Quellen und der → <u>aeroben Wasserbehandlung nicht versauerungsdisponierter Wässer</u> in den Zuläufen zur Berste kann ein gutes Ergebnis erwartet werden.
Anaerobe Wasserbehandlung versauerungsdisponierter Wässer	N552 N553	In einigen Fällen sind die hydrochemischen Voraussetzungen für eine aerobe Wasserbehandlung ungünstig, weil das Wasser dauerhaft oder zumindest periodisch entweder versauerungsdisponiert oder bereits versauert ist. Bei vergleichsweise kleinen Volumenströmen kann hierfür eine anaerobe Wasserbehandlung in Form von anaeroben Kalksteindräns oder RAPS in Betracht kommen. Mögliche Einsatzbereiche dieser Verfahren sind zum Beispiel das Niedermoor südlich vom Horsteich und das Bergen-Weißacker Niedermoor. Das sind Hotspots der Eisenbelastung im Oberlauf der Berste.
Hydraulische Barrieren		
Dichtwand Lohsa II	N606	Durch numerische geohydraulische Modellierungen (→ <u>HGM für die Sanierungsbereiche</u>) wurde die Wirkung einer Dichtwand am nördlichen Ufer des WSS Lohsa II auf die Eisenbelastung der Spree und der Kleinen Spree untersucht (→ <u>SBP Südraum</u>). Die Untersuchungen ergaben, dass die Zielstellungen hinsichtlich der Eisenbelastung der Spree von < 1,8 mg/L in Zerre nur durch eine Kombination aus Dichtwand und flussnahen Abfangmaßnahmen erreicht werden kann. Außerdem werden mit der Dichtwand Vorteile für die Wassermengenbewirtschaftung des Speichers Lohsa II erzielt. Bezogen auf ihre de facto unbeschränkte Nutzungsdauer ist die Dichtwand eine ausgesprochen wirtschaftliche Maßnahme. Sie ist zudem die einzige Einzelmaßnahme, die bezogen auf die voraussichtliche Zeitdauer der Eisenbelastung den hohen Anspruch an die Nachhaltigkeit vollumfänglich erfüllt: keine Betriebskosten, kein Rückbauerfordernis, keine Flächeninanspruchnahme und keine Rückstände oder Abfälle.
Wassereinleitung zur Stützung		
Substitution der Wasserversorgung für das Bergen-Weißacker Niedermoor	N556	Der natürliche Abfluss aus dem Bergen-Weißacker Niedermoor soll zum Zwecke einer Kreislaufführung des Wassers im Bergener Moor gefasst und bei zeitgleicher Substitution des vorhandenen Brunneninselbetriebes naturräumlich behandelt werden. Langfristig kann mit dieser Wasserüberleitung in der Kombination mit einer → <u>anaeroben Wasserbehandlung versauerungsdisponierter Wässer</u> eine Verbesserung der Wasserbeschaffenheit im Bergen-Weißacker Niedermoor erreicht werden.

Maßnahmen	Nr.	Erläuterung
Wasserüberleitung		
Überleitung der Kippenfußdränage Hosena in das RL Heide VI	N673	Die günstigste Form für die Wasserbehandlung der Kippenfußdränage Hosena ist die Überleitung des Wassers in das Restloch Heide VI und die Behandlung des Überschusswassers aus dem RL Heide VI in einer → <u>modularen Wasserbehandlungsanlage am Auslauf des RL Heide VI</u> . Für die Wasserüberleitung ist der Bau einer Pumpstation und einer Rohrleitung von ca. 2,5 Kilometer Länge erforderlich. Der Pumpbetrieb erfolgt entsprechend der Schüttung der Kippenfußdränage variabel zwischen 10 und 130 L/s. Die Einleitung in das RL Heide VI erfolgt vorzugsweise seemittig entweder oberflächennah oder in das Tiefenwasser.
Pilot- & Demovorhaben (P&D)		
Feldversuche zur lokalen Quellenbehandlung von Hotspots	N587 N593	Die hydrogeologischen und hydrochemischen Konstellationen an den Hotspots der Eisenbelastung sind häufig sehr individuell und daher nicht ohne weiteres auf andere Standorte übertragbar. Für die naturräumliche Wasserbehandlung gibt es deshalb keinen Stand der Technik. Die naturräumliche Wasserbehandlung muss vielmehr ortsspezifisch konfektioniert werden. Durch geeignete großskalige Feldversuche zur lokalen Wasserbehandlung von Hotspots der Eiseneinträge mit oder ohne Versauerungsdisposition sind Erfahrungen zu sammeln und die Erkenntnisse so zu verdichten, dass hieraus robuste Bemessungsregeln abgeleitet werden können. Mögliche Standorte für großskalige Feldversuche sind in Ergänzung zu den bereits in Planung befindlichen Feldversuchen (Tabelle 22) weiterhin das Altenoer Fließ, das Bergen-Weißacker Moor, das Niedermoor südlich vom Horstteich und weitere.
Studien und Konzepte		
Wasserhaushalt im Sanierungsgebiet Greifenhain/Gräbendorf	N752	Durch den Braunkohlenbergbau sind die Grundwasserverhältnisse gebietsweise irreversibel verändert. Der Greifenhainer See hinterlässt im oberen Einzugsgebiet des Greifenhainer Fließes eine dauerhafte Grundwasserabsenkung. Damit versiegt die Quelle und infolge dessen fällt der Oberlauf des Greifenhainer Fließes trocken. Während des Gewinnungs- und Sanierungsbergbaus im Tagebau Greifenhain wurde das Wasserdefizit durch die Einleitung von Sumpfungswasser komfortabel ausgeglichen. Zuletzt wurde gereinigtes Sumpfungswasser aus der GWRA Rainitza bereitgestellt. Die gleiche Konstellation trifft auf das Neue Buchholzer Fließ zu. Mit dem Wegfall der Notwendigkeit des Betriebs der GWRA Rainitza sieht die LMBV den Rückbau derselben vor. Ein Ersatz für die Wasserversorgung der Fließgewässer am Nordhang des Lausitzer Grenzwalls steht derzeit nicht in Aussicht. In einer Studie sollen die Möglichkeiten einer dauerhaften Wasserbereitstellung für die Fließgewässer im Nordraum unter besonderer Berücksichtigung der Nachhaltigkeit untersucht werden.
Möglichkeiten der naturräumlichen Wasserbehandlung neu entstehender Quellen und Fließgewässer	N569	Die naturräumliche Wasserbehandlung von eisenbelasteten Wässern des Bergbaus fristet in Deutschland ein Nischendasein, obwohl ihre breitere Anwendung aus Gründen der Wirtschaftlichkeit und der Nachhaltigkeit dringend geboten wäre. Trotz zahlreicher Ansätze zur Übertragung internationaler Erfahrungen auf die hiesigen Problemlagen, wie z. B. in den Projekten VODAMIN und Vita-Min, haben sich die öffentliche Akzeptanz (Abschn. 5.2.3.2) sowie die Planungs- und Genehmigungspraxis dazu kaum verändert. Die Betrachtungen waren bislang zu stark theoretisch-akademisch ausgerichtet. In die genannten Studien sind zu wenige konkrete Erfahrungen aus der Lausitz eingeflossen. In einer neu aufzulegenden Metastudie sollten praktische Anwendungen speziell in der Lausitz recherchiert und auf valider Datenbasis hinsichtlich ihrer Leistungsfähigkeit bewertet werden. Diese Erhebungen sind durch konkrete, maßstabsadäquate → <u>Feldversuche zur lokalen Behandlung von Hotspots</u> zu vertiefen.
Naturräumlichen WBA zur Quellenbehandlung im Oberlauf des Eichower Fließes	N580	Für das Eichower Fließ wurde im Ergebnis der → <u>Eisenstudien zum Nordraum</u> des Sanierungsbergbaus der LMBV als Kurzfristmaßnahme eine End-of-pipe-Lösung favorisiert und mit der Nutzung der ehemaligen Fischteiche des ehemaligen Kraftwerkes Vetschau als Bestandteil des Barrierenkonzeptes Nordraum von der LMBV umgesetzt. In Form einer Konzeption soll untersucht werden, ob diese End-of-pipe-Lösung durch dezentrale Quellenbehandlungen im Einzugsgebiet des Eichower Fließes zukünftig

Maßnahmen	Nr.	Erläuterung
		ergänzt oder vollständig ersetzt werden kann und inwieweit diese Maßnahmen verhältnismäßig sind.
Alternativenprüfung zur Sicherung der Mindestwasserführung im Greifenhainer und Vetschauer Fließ	N753 N754	Im Falle der von der LMBV beabsichtigten Außerbetriebnahme der GWRA Rainitzta ist die Mindestwasserführung im Greifenhainer Fließ, Buchholzer und Neuen Buchholzer Fließ sowie im Vetschauer Fließ nicht mehr gesichert. Es sind wasserwirtschaftliche Alternativen zur Bereitstellung und Einleitung von Stützungswasser zur Sicherung der Mindestwasserführung zu prüfen und deren Verhältnismäßigkeit zu bewerten, siehe → <u>Wasserhaushalt im Sanierungsgebiet Greifenhain/Gräbendorf</u> .
Alternativenprüfung zur Wasserbehandlung der Horizontalfilterbrunnen Senftenberg/Brieske	N755 N667 N669	Im Falle der beabsichtigten Außerbetriebnahme der GWRA Rainitzta ist die Wasserbehandlung des gehobenen Grundwassers aus den Horizontalfilterbrunnen Senftenberg nicht mehr gewährleistet. Dieses Grundwasser ist versauerungsdisponiert und stark eisenhaltig. Für dieses Grundwasser im Umfang von derzeit ca. 250 L/s und künftig ca. 350 L/s sind Alternativen der Wasserbehandlung zu prüfen. Als Alternativen kommen die Einleitung in den Sedlitzer See in der Kombination mit einer Inlake-Wasserbehandlung, der Neubau einer ortsnahen WBA oder die Überleitung in eine unterstromig gelegene WBA (z. B. zur → <u>GWRA bzw. WBA Pölsnitz</u>) in Betracht.
Alternativenprüfung zum Ersatz der Wasserversorgung des Bergen-Weißacker Moores	N556	Der nördliche Flügel des Bergen-Weißacker Moores verliert infolge der bleibenden Grundwasserrestabsenkung durch den Tagebau Schlabendorf-Süd dauerhaft den Grundwasseranschluss. Das Bergen-Weißacker Moor wurde in den zurückliegenden Jahrzehnten aus Randriegelbrunnen des Tagebaus Schlabendorf-Süd gestützt. Davon ist ein Brunnen im Inselbetrieb übriggeblieben. Das Wasser wird über eine 1,5 Kilometer lange Rohrleitung zugeführt. Das Stützungswasser aus dem Brunnen ist schwefelsauer und eisenreich. Dieses Stützungswasser ist für das Moor hydrochemisch nicht geeignet. Es überfordert dessen Selbstreinigungskräfte. Der Dauerbetrieb des Brunnens ist aus hydrochemischen und wirtschaftlichen Gründen nicht zielführend. Deshalb sollen Alternativen zum Ersatz der Wasserversorgung des Bergen-Weißacker Moores geprüft werden. In Frage kommen ein örtlicher Ersatzbrunnen mit einer geeigneten Hydrochemie, die Zuführung von Wasser aus dem Schlabendorfer See (RL 14/15) oder die Kreislaufführung des Abflusses aus dem Moor (→ <u>Bergen-Weißacker Niedermoor</u>).
Erkundung		
Vertiefende Erkundung von Hotspots der Eiseneinträge in Fließgewässer	N554 N568 N601 N603 N616 N631 N643 N648 N649 N674 N705 N730 N794 N795	Die Eintragsquellen des Eisens in die Fließgewässer sind in einem unterschiedlichen Maße bekannt und erkundet. Vertiefende Erkundungen sind zum Beispiel an den Hotspots der Spree und der Kleine Spree, den derzeit unbekanntem Eiseneintragsquellen im oberen Flussgebiet der Spree (Weigersdorfer Fließ, Rokotschingraben und Oberlauf Kleine Spree), den derzeit unbekanntem Eisenquellen im Flussgebiet der Schwarze Elster (Goldgräbchen und Schacke), dem oberflächennahen Grundwasser im Spreewald zur Klärung der Wechselwirkungen mit den Fließgewässern sowie im Bereich des Bergen-Weißacker Moores zur Klärung der Grundwasserleiter, Grundwasserdynamik und Grundwasserbeschaffenheit erforderlich. Die Aufzählung der erforderlichen Erkundungen ist nicht abschließend.
Modellierung		
3D-Stofftransportmodellierung im Grundwasser der Spreewitzer Rinne	N650	Die → <u>2D-Modellierung des Eisentransports</u> auf einem repräsentativen Transekt der Spreewitzer Rinne zwischen dem WSS Lohsa II und der Spree bei Neustadt zur zeitlichen Prognose des diffusen Eiseneintrags in die Spree soll durch eine 3D-Modellierung des gesamten Eintragsbereiches der Spreewitzer Rinne qualifiziert werden. Die 3D-Stofftransportmodellierung des Eisens setzt ein in der Modellbildung fortgeschrittenes und gut kalibriertes geohydraulisches Modell voraus. Das soll durch die Nutzung eines Ausschnitts aus dem → <u>HGM der Sanierungsbereiche, hier: OSO</u> mit hoher räumlicher Auflösung erfolgen. Die 3D-Modellierung des Eisentransports in der Spreewitzer Rinne setzt des Weiteren gereifte Kenntnisse zur Retardation des Eisens in den Grundwasserleitern voraus.

Maßnahmen	Nr.	Erläuterung
Auswirkungen des Ausbaus der Kleinen Spree auf den diffusen Stoffeintrag	N651	Das WSS Lohsa II wird als wasserwirtschaftlicher Speicher zur Niedrigwasseraufhöhung in der Spree betrieben. Die Ausleitung aus dem Speichersystem erfolgt über die Kleine Spree in die Spree. Damit die Kleine Spree die Abgabemengen aus dem Speichersystem aufnehmen und schadlos abführen kann, wird diese entsprechend ausgebaut. Die veränderten Potenzialverhältnisse zwischen der Kleinen Spree und dem umgebenden Grundwasser erhöhen den Grundwasserzustrom und den damit verbundenen Eiseneintrag. Die Auswirkungen des Ausbaus der Kleinen Spree auf den diffusen Stoffeintrag sind mit einem geohydraulischen Modell (→ <u>HGM der Sanierungsbereiche</u>) zu prüfen.
Wechselwirkung zwischen dem Grundwasser in der Spreewitzer Rinne und der Spree	N562	Durch den Gewinnungsbergbau wurden Flussabschnitte verlegt, begradigt und abgedichtet. Der Sanierungsbergbau sieht an mehreren Flussabschnitten den Rückbau der Flussabdichtungen vor. Im konkreten Fall soll die Foliendichtung aus der Spree im Abschnitt zwischen der Mündung des Schwarzen Schöps und dem Wehr Tzschelln zurückgebaut werden. Die Wirkungen dieses Rückbaus sind noch nicht hinreichend untersucht. Aufgrund der Nähe des Tagebaus Nochten und des derzeit abgesenkten Grundwasserspiegels drohen Versickerungsverluste unbekannter Größenordnung. Es ist außerdem noch nicht im Detail bekannt, wie sich die nachbergbaulichen Grundwasserverhältnisse einstellen. Das Grundwasser in diesem Bereich ist stark eisenbelastet. Im gegensätzlichen Fall drohen deshalb diffuse Eiseneinträge, die im ungünstigsten Fall die derzeitigen Planungen zur Spree (→ <u>SBP Südraum</u> , siehe Tabelle 22 im Abschn. 6.2.1) konterkarieren würden. Zur Entscheidungsfindung für den Rückbau der Sohldichtung der Spree zwischen Sprey und Tzschelln muss eine solide geohydraulische Modellierung der Wechselwirkungen zwischen dem Grundwasser der Spreewitzer Rinne resp. der Zentrallausitzer Rinne und der Spree mit dem örtlichen → <u>HGM</u> hinzugezogen werden.

6.3 LEAG

6.3.1 Bestandsmaßnahmen

Das Bergbauunternehmen Lausitz Energie Bergbau AG (LE-B) und das Energieunternehmen Lausitz Energie Kraftwerke AG (LE-K) firmieren unter der gemeinsamen Marke LEAG. Die LE-B betreibt gegenwärtig im Lausitzer Braunkohlenrevier vier Tagebaue: Welzow-Süd, Nochten, Reichwalde und Jänschwalde. Weiterhin gehört zur LE-B der Tagebau Cottbus-Nord. Die Kohlenförderung im Tagebau Cottbus-Nord wurde im Jahr 2015 planmäßig beendet. Dort entwickelt die LE-B derzeit die Bergbaufolgelandschaft und stellt den künftigen Cottbuser Ostsee her. Die LE-K betreibt die Braunkohlenkraftwerke Jänschwalde, Schwarze Pumpe und Boxberg. Im Jahr 2017 hat die LEAG ihr vorerst aktuelles Revierkonzept vorgestellt. Es ist die Grundlage für die Tagebauentwicklung in den nächsten zwei Jahrzehnten. Dieses Revierkonzept wird mit dem erwarteten Gesetz zum Kohleausstieg BMWi (2020) eine Modifikation erfahren.

Mit dem Tagebaubetrieb sind erhebliche Eingriffe in den Wasserhaushalt des Lausitzer Braunkohlenreviers und nachhaltige Veränderungen der Wasserbeschaffenheit verbunden. Das gesümpfte Grund- und Oberflächenwasser wird in Grubenwasserbehandlungsanlagen (GWBA) und Grubenwasservorbehandlungsanlagen (GWVBA) behandelt, d. h. neutralisiert und weitgehend von Eisen und Schwebstoffen befreit. Die Emissionswerte für die Ableitung der Wässer in die Vorflut werden im Rahmen wasserrechtlicher Erlaubnisse und Bewilligungen festgelegt.

In der Tabelle 25 sind die Maßnahmen der LE-B und LE-K mit Relevanz für die Beschaffenheit von Fließgewässern dargestellt. Die Maßnahmen sind nach den in LBGR (2020a) herausgearbeiteten Maßnahmenkategorien gegliedert. Die Zusammenstellung der Maßnahmen entspricht dem Stand vom Dezember 2019. In der Tabelle 26 werden die aktuellen Maßnahmen der LE-B inhaltlich erläutert.

Aus der Sicht des Kraftwerks- und Bergbauunternehmens LEAG orientieren sich Planungshorizonte vorzugsweise an zugelassenen Rahmen- oder Hauptbetriebsplänen, wasserrechtlichen Erlaubnissen bzw. an angepassten Laufzeiten der Tagebaue. Die Planungshorizonte sind folglich anlagen- und tagebauindividuell. Im Sinne des Vorgenannten kommen in der vorliegenden Bearbeitung folgende Planungshorizonte in Betracht:

- 1) Angenommene Laufzeiten der einzelnen Tagebaue:
 - Tgb. Jänschwalde: Erreichen der Endstellung voraussichtlich Ende 2023;
 - Tgb. Welzow-Süd: (Teilabschnitt I) voraussichtlich bis Ende 2033;
 - Tgb. Welzow-Süd: (Teilabschnitt II) Entscheidung dazu im Jahr 2020 erwartet;
 - Tgb. Nochten (Abbaugbiet 1): voraussichtlich bis spätestens 2030;
 - Tgb. Nochten (Teilfeld II Mühlrose): voraussichtlich bis 2038;
 - Tgb. Reichwalde: voraussichtlich bis 2038.

- 2) Stilllegung der Braunkohlenanlagen bis spätestens Ende 2038:

Die Frist für den sog. „Kohleausstieg“ fällt zeitlich etwa mit dem Ende des Zeitraumes des voraussichtlich 6. Bewirtschaftungszeitraumes nach der EG-WRRL im Jahr 2039 zusammen. Der Entwurf der Bundesregierung vom 29.01.2020 zum Kohleausstiegsgesetz BMWi (2020) sieht folgende endgültige Stilllegungsdaten für die Kraftwerksblöcke in der Lausitz vor:

 - Jänschwalde A, B, C und D: 31.12.2028;
 - Boxberg N und P: 31.12.2029;

- Boxberg R und Q: 31.12.2038;
- Schwarze Pumpe A und B: 31.12.2038.

3) Sanierungszeitraum:
Er kann sich durch die langsamen Prozesse des Grundwasserwiederanstiegs bis zum Ende des Jahrhunderts hinziehen.

In Analogie zur Maßnahmenplanung der LMBV (Abschn. 6.2.1) werden für die LEAG hilfsweise die gleichen Planungshorizonte verwendet: kurzfristig (K), mittelfristig (M) und langfristig (L). Eine Differenzierung der Maßnahmen nach Planung, Bau und Ausführung entfällt.

Tabelle 25: Bestandsmaßnahmen der LE-B/LE-K und Planungshorizonte.

Planungshorizonte	K										M	L	
	2. BWZ					3. BWZ							
Bewirtschaftungszeitraum nach Wasserrahmenrichtlinie													
Maßnahmen	Vor 2019	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028-2033	2034-2039	Nach 2039
Wassermengensteuerung, Wassergütesteuerung													
Abschlag von Reinwasser der GWBA Tzschelln in den Hermannsdorfer See, den Floßgraben und den Rothwassergraben											→	→	→
Fremdflutung und Nachsorge													
Fremdflutung und Nachsorge des Cottbuser Ostsees											→	→	
Wasserbehandlung in Anlagen													
GWBA Schwarze Pumpe											→	→	→
GWBA Jänschwalde											→	→	→
GWBA Kringelsdorf											→	→	→
GWBA Tzschelln											→	→	→
GWBA Am Weinberg											→	→	→
Naturräumliche und hybride Wasserbehandlung													
GWVBA Trebendorf											→	→	→
Untergrundwasserbehandlung													
Einbau alkalisch konditionierter Eisenhydroxidschlämme (EHS) in die Kippe des Tagebau Reichwalde													
Hydraulische Barrieren													
Dichtwand Tagebau Reichwalde													
Dichtwand Tagebau Welzow-Süd													
Dichtwand Tagebau Jänschwalde													
Dichtwand Tagebau Cottbus-Nord													
Wassereinleitung zur Stützung													
Einleitung von Stützungswasser in die Fließgewässer im Umfeld der Tagebaue											→	→	→
Studien und Konzepte													
Künftiger Grundwasserabstrom vom Tagebau Nochten zur Spree													
Sümpfungswasserprognosen für die Tagebaue													
Prognose der Wasserbeschaffenheit in den künftigen Bergbaufolgeseen													
Erkundung													
Geochemische Erkundung in den Tagebauen													

Planungshorizonte	K										M	L	
	2. BWZ					3. BWZ							
Bewirtschaftungszeitraum nach Wasserrahmenrichtlinie	Vor 2019	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028-2033	2034-2039	Nach 2039
Maßnahmen													
Wechselwirkungen der Spree mit dem Grundwasserabstrom aus dem Tagebau Nochten													
Monitoring													
Diverse Fließgewässermonitorings											→	→	→
Grundwassermonitoring in den Förderräumen											→	→	→
Diverse Anlagenmonitorings											→	→	→
Monitoring zum Cottbuser Ostsee									→	→	→		
Monitoring zur Talsperre Spremberg (Sulfat)				→	→	→	→	→	→	→			
Modellierung													
Numerische Grundwassermodellierung in den Förderbereichen													

Legende zur Tabelle 25:

Maßnahmenstatus	Farbe
Bestandsmaßnahme	
Weiterführung ggf. erforderlich	→

Tabelle 26: Erläuterungen zu den Bestandsmaßnahmen der LE-B und LE-K.

Maßnahmen	Nr.	Erläuterung
Wassermengensteuerung, Wassergütesteuerung		
Abschlag von Reinwasser der GWBA Tzschelln in den Hermannsdorfer See, den Floßgraben und den Rothwassergraben	B399 E717 E718	Ein Teilstrom von etwa 10 m ³ /min des sulfatreichen, aber neutralen und eisenarmen Reinwassers der GWBA Tzschelln wird zur Flutung des Hermannsdorfer Sees genutzt. Weiterhin werden etwa 5 m ³ /min zur Stützung des Gebietswasserhaushaltes im Absenkungstrichter des Tagebaus Nochten in den Floß- und Rothwassergraben (5 m ³ /min) abgeschlagen und dort mit sulfatarmem Sumpfungswasser aus Randriegeln an der Nord- und Nordostmarkscheide des Tagebaus Nochten in einem Mengenverhältnis von 1 : 2 gemischt. Diese Maßnahmen sind Bestandteil eines in der länderübergreifenden AG FGB (siehe Abschn. 5.1.2.6) abgestimmten Maßnahmenpaktes zur Minderung der Sulfatbelastung der Spree.
Fremdflutung und Nachsorge		
Fremdflutung und Nachsorge des Cottbuser Ostsees	E677	Nach der geotechnischen Vorbereitung der Hohlform des ehemaligen Tagebaus Cottbus-Nord wird das Restloch aus der Spree über den Hammergraben geflutet. Die Fremdflutung verfolgt drei wesentliche Ziele: 1) den See schneller zu füllen und damit in kürzerer Zeit den geplanten Nachnutzungen zuzuführen, 2) durch Vorlauf des Seespiegels gegenüber dem umgebenden Grundwasserspiegel die Stabilität der Böschungen zu erhöhen und 3) das stark versauerungsdisponierte und eisenreiche Kippenwasser einzukapseln. Im Ergebnis der Flutung entsteht mit dem Cottbuser Ostsee einer der flächengrößten Bergbaufolgeseen im Lausitzer Braunkohlenrevier. Die Fremdflutung des Cottbuser Ostsees stellt ein neutrales und eisenarmes sowie moderat sulfathaltiges Gewässer in Aussicht. Die Kapazität des Flutungsbauwerkes ist auf 5 m ³ /s ausgelegt. Unter Berücksichtigung des witterungsabhängigen Wasserdargebotes ist ein mittlerer Flutungswasserstrom von 1,4 m ³ /s geplant. Der Zielwasserstand soll etwa im Jahr 2025 erreicht werden.

Maßnahmen	Nr.	Erläuterung
Wasserbehandlung in Anlagen		
GWBA Schwarze Pumpe	E611	Die GWBA Schwarze Pumpe im Industriepark Schwarze Pumpe behandelt ca. 3,5 m³/s versauerungsdisponiertes und eisenreiches Sumpfungswasser aus den Tagebauen Welzow-Süd und Nochten. Die Zuführung des Rohwassers aus den Tagebauen erfolgt in getrennten Strängen differenziert nach der Wasserbeschaffenheit. Zusätzlich erfolgt die Aufbereitung von 0,077 m³/s (Durchschnitt 2019) aus der Zuleitung der LMBV (→ <u>6er Brunnenriegel Spreewitz</u> und → <u>Horizontaldrainage Spreewitz-Ausbau</u>). Das Reinwasser wird im IP Schwarze Pumpe für das Kraftwerk, als Industriebrauchwasser, als Trinkwasser, als Warmwasser für die Fischzucht u. a. zur Verfügung gestellt. Das überschüssige Reinwasser und die Abwässer der Nutzer werden in die Spree eingeleitet. Für das Reinwasser der GWBA gelten als Überwachungswerte pH 6,5-9,0, abfiltrierbare Stoffe ≤ 20 mg/L, Eisen-gesamt ≤ 3 mg/L und Eisen-gelöst ≤ 1 mg/L. Teilmengen des Reinwassers dürfen von der LMBV zur Flutung des Bergbaufolgesees Spreetal-NO verwendet werden.
GWBA Jänschwalde	E659	Die GWBA Jänschwalde liegt am Kraftwerksstandort Jänschwalde (LE-K). In der Anlage wird eisenhaltiges und teilweise versauerungsdisponiertes Sumpfungswasser aus den Tagebauen Jänschwalde und Cottbus-Nord behandelt. Das Wasser dient als Prozesswasser für den Kraftwerksbetrieb und zur Stützung der Malxe (≥ 0,5 m³/s) und des Hammergrabens (≥ 0,1 m³/s). Für die Einleitung gelten als Überwachungswerte u. a. pH 6,0-8,8, Eisen-gesamt ≤ 2 mg/L, Eisen-gelöst ≤ 1 mg/L und abfiltrierbare Stoffe ≤ 15 mg/L.
GWBA Kringelsdorf	B391	In der GWBA Kringelsdorf wird das versauerungsdisponierte und eisenreiche Sumpfungswasser des Tagebaus Reichwalde, früher auch Teile des Sumpfungswassers aus dem Tagebau Nochten, behandelt. Laut wasserrechtlicher Erlaubnis dürfen aus der GWBA Kringelsdorf bis zu 4,7 m³/s in den Schwarzen Schöps eingeleitet werden. Der Volumenstrom des behandelten Sumpfungswassers liegt derzeit bei 2,5 bis 3,0 m³/s. Für das Reinwasser gelten als Überwachungswerte pH 6,5-8,5, Eisen-gesamt ≤ 3 mg/L, Eisen-gelöst ≤ 1 mg/L und abfiltrierbare Stoffe ≤ 20 mg/L.
GWBA Tzschelln	E610	Die GWBA Tzschelln steht auf der Innenkippe des Tagebaus Nochten. Sie wurde im Jahr 2005 in Betrieb genommen. Hier werden bis zu 1,0 m³/s versauerungsdisponiertes sowie eisen- und sulfatreiches Kippenwasser aus dem Tagebau Nochten behandelt. Das Reinwasser wird in die Spree abgeschlagen sowie anteilig zur Flutung des Hermannsdorfer Sees (max. 0,17 m³/s) sowie zur Stützung des Floß- und Rothwassergrabens (max. 0,08 m³/s) verwendet. Für das Reinwasser der GWBA Tzschelln gelten als Überwachungswerte pH 6,5-8,5, Eisen-gesamt ≤ 3 mg/L, Eisen-gelöst ≤ 2 mg/L und abfiltrierbare Stoffe ≤ 20 mg/L.
GWBA Am Weinberg	E658	Die GWBA Am Weinberg steht mitten auf der Innenkippe des Tagebaus Welzow-Süd. Sie wurde 2015 in Betrieb genommen und dient überwiegend der Behandlung von Kippenwasser zur Bereitstellung von Ökowasser für die Fließgewässer nördlich vom Tagebau Welzow-Süd (Koselmühlenfließ, Steinitzer Wasser u. a.). Die Kapazität der GWBA Am Weinberg beträgt 0,5 m³/s. Die Überwachungswerte im Reinwasser sind pH 6,5-8,5, Eisen-gesamt ≤ 3 mg/L, Eisen-gelöst ≤ 1 mg/L und abfiltrierbare Stoffe ≤ 20 mg/L.
Naturräumliche und hybride Wasserbehandlung		
GWVBA Trebendorf	E612	An der Nordostmarkscheide des Tagebaus Nochten, südlich von Trebendorf, wurde die Grubenwasservorbehandlungsanlage (GWVBA) Trebendorf eingerichtet. Die als Zwei-Becken-Anlage ausgeformten Absetzteiche nutzen ausschließlich naturräumliche Prinzipien für den Eisenrückhalt. Hier werden durchschnittlich 40 L/s und maximal 80 L/s eisenarmes und nicht versauerungsdisponiertes Sumpfungswasser aus Randriegeln des Tagebaus Nochten behandelt. Die Teiche haben in Summe ein Volumen von ca. 24.000 m³ und eine Fläche von ca. 1,4 ha. In der Anlage werden mittlere Verweilzeiten von etwa 6 bzw. 3 Tagen erreicht. Das Reinwasser wird als Ökowasser für das FFH-Gebiet "Altes Schleifer Teichgelände" zur Verfügung gestellt. Für den Ablauf gelten als Überwachungswerte Eisen-gesamt ≤ 3 mg/L und abfiltrierbare Stoffe ≤ 25 mg/L.

Maßnahmen	Nr.	Erläuterung
Untergrundwasserbehandlung		
Einbau von alkalisch konditioniertem Eisenhydroxidschlamm (EHS) in die Kippe des Tagebaus Reichwalde	B390	Bei der Behandlung der Sumpfungswässer aus den Tagebauen Nochten und Reichwalde in der GWBA Kringelsdorf fielen in der Vergangenheit große Mengen EHS an. Der EHS wurde über Jahrzehnte in einem Erdbecken zwischengelagert und durch natürliche Prozesse teilentwässert. Der EHS wird zur Herstellung der Transportfähigkeit vor Ort mit alkalischen Kraftwerkaschen konditioniert, aufgenommen und in die Absetzerkippe des Tagebaus Reichwalde eingebaut. Durch die hohe Alkalinität des aschekonditionierten EHS wird die bergbaubedingte Versauerung des Kippenwassers im Tagebau Reichwalde gemindert.
Hydraulische Barriere		
Dichtwände	B377 B400 B218 B219	Zur räumlichen Begrenzung der Grundwasserabsenkung infolge der Sumpfung werden von der LE-B an sensiblen Flanken der Tagebaue Dichtwände errichtet. Dadurch werden nachteilige Einflüsse auf Fließgewässer, Seen, Teiche und grundwasserabhängige Feuchtgebiete im Umfeld der Tagebaue vermieden bzw. eingeschränkt. Der Bau der Dichtwände erfolgt im Schlitzfräsverfahren. Damit werden im Lockergestein des Lausitzer Braunkohlenreviers derzeit Tiefen bis 110 Meter erreicht. Die Leistungsfähigkeit einer modernen Dichtwandanlage liegt gegenwärtig bei 45.000 m ² pro Jahr. Abgeschlossen und voll funktionstüchtig sind die Dichtwände zwischen dem Tagebau Jänschwalde und der Neiße (Länge ca. 10.700 Meter; Tiefe zwischen 52 und 85 Meter) sowie zwischen dem Tagebau Cottbus-Nord und der Spree (Länge ca. 7.100 Meter; Tiefe zwischen 51 und 72 Meter). Im Bau befinden sich aktuell die Dichtwände an der Süd- und Ostmarkscheide des Tagebaus Reichwalde (aktuelle Länge ca. 6.400 Meter; Tiefe zwischen 40 und 65 Meter; geplante Gesamtlänge ca. 11.000 Meter mit Tiefen bis 90 Meter) sowie zwischen dem Tagebau Welzow-Süd und der Erweiterten Restlochreihe (geplante Länge ca. 10.200 Meter; mit Tiefen zwischen 95 und 120 Meter, fertiggestellt sind 6.500 Meter mit Tiefen zwischen 95 und 110 Meter).
Wassereinleitung zur Stützung		
Einleitung von Stützungswasser in die Fließgewässer im Umfeld der Tagebaue	B111 B112 B113 B114 B115 B116 B117 B118 B119 B120 B121 B122 B236 B237 B443 B444 B445 B446 B447 B448 B449 B451 B453 B455 B486 B487 B488 B489 B551	In den Grundwasserabsenkungstrichtern der Tagebaue versickert Wasser aus örtlichen Fließäben. Grundwasserabhängige Landökosysteme fallen trocken. Durch die Einleitung von Stützungswasser wird deren Erhalt während der bergbaulichen Grundwasserabsenkung gesichert. Dazu wird bergbaulich gering belastetes Sumpfungswasser, Reinwasser aus den GWBA/GWVBA oder unbelastetes Grundwasser verwendet. Solche Einleitungen erfolgen im Umfeld des Tagebaus Nochten in die Flusssysteme Rothwassergraben/Floßgraben/Legnitzka und Struga, im Umfeld des Tagebaus Welzow-Süd in das Hühnerwasser, die Kochsa, den Döbberner Graben, das Steinitzer Wasser, die Steinitzer Quelle und das Petershainer Fließ sowie im Umfeld des Tagebaus Jänschwalde in die Malxe, die Jänschwalder Laßzinswiesen mit Laßzinsener Wiesengraben, das Schwarze Fließ, das Eilenzfließ und die Moaske. Die Wirkungen der Einleitungen auf die Fließgewässer werden durch ein adäquates → <u>Fließgewässermonitoring</u> überwacht.

Maßnahmen	Nr.	Erläuterung
Studien und Konzepte		
Künftiger Grundwasserabstrom vom Tagebau Nochten zur Spree	E756	Die Spree zwischen Neustadt und Spreewitz ist ein Schwerpunkt der diffusen Eiseneinträge (sogenannter Hotspot) aus dem Grundwasser der Spreewitzer Rinne. Der Eiseneintrag trat infolge des Grundwasserwiederanstiegs zuerst im bergrechtlichen Verantwortungsbereich der LMBV in Erscheinung. In der Spreeaue südlich von Neustadt ist der Grundwasserspiegel durch den Tagebau Nochten abgesenkt. Für den künftigen Einflussbereich des Tagebaus Nochten auf die Spree werden Untersuchungen angestellt, inwieweit diese Bereiche künftig von diffusen Eiseneinträgen aus dem Verantwortungsbereich der LE-B betroffen sind.
Sümpfungswasserprognosen für die Tagebaue	B428 E757 E758	In mehrjährigen Abständen werden systematische Erhebungen zu den Sümpfungswassermengen und zur Wasserbeschaffenheit in den Teilräumen der Braunkohletagebaue der LE-B durchgeführt. Aus dem Verschnitt der gemessenen und prognostizierten Sümpfungswassermengen und deren Wasserbeschaffenheiten werden aktuelle und künftige Frachtbilanzen erstellt. Aus den Prognosen wird einerseits der Handlungsbedarf für die Wasserbehandlung abgeleitet und andererseits die Nutzung des Sümpfungswassers disponiert.
Prognosen der Wasserbeschaffenheit in den künftigen Bergbaufolgeseen	E759 E760 E761 E762 E763	Im Rahmen von Umweltverträglichkeitsuntersuchungen zu diversen Genehmigungsverfahren für Rahmen-, Haupt-, Sonder- und Abschlussbetriebspläne sowie Wasserrechtsverfahren werden Prognosen zur hydrochemischen Entwicklung der künftigen Bergbaufolgeseen in den Tagebauen der LE-B erstellt. Diese Prognosen werden durch die erforderlichen Erkundungsarbeiten zur Ermittlung von Grundlagendaten flankiert. Dazu gehören insbesondere die → <u>geochemische Erkundung</u> von Kippen sowie des Gewachsenen im Grundwasserabsenkungstrichter als Grundlage zur Prognose der Grundwasserbeschaffenheit in den Herkunftsräumen, aus denen sich der Grundwasserzstrom zu den Bergbaufolgeseen künftig generiert.
Erkundung		
Geochemische Erkundung in den Tagebauen	B375 B397 E764 E765 E766	Die Formierung der Grundwasserbeschaffenheit in den Kippen und in den Grundwasserabsenkungstrichtern der Tagebaue hängt maßgeblich von der Geochemie des Deckgebirges ab. Die LE-B führt deshalb systematische geochemische Untersuchungen in den Tagebauvorfeldern und in den Kippen mittels Kernbohrungen durch. Die Erkundungsergebnisse werden in einer Datenbank zusammengeführt. Sie bilden die Grundlage für Prognosen der Grundwasserbeschaffenheit, die ihrerseits in die → <u>Prognosen der Wasserbeschaffenheit</u> von Bergbaufolgeseen und Fließgewässern einfließen. Ende 2019 lagen für vier Gewinnungstagebaue und einem Sanierungstagebau der LE-B geochemische Daten vor, welche in 47 Einzelberichten zur geochemischen Beschaffenheit der Sedimente im Vorfeld der Tagebaue sowie im Bereich der Kippen verarbeitet wurden. Die Proben für die geochemischen Daten wurden zum Teil aus Bohrungen (repräsentative Proben aus den Kernstrecken) und Schürfen in den einzelnen Tagebau- und Kippenbereichen gewonnen.
Wechselwirkungen der Spree mit dem Grundwasserabstrom aus dem Tagebau Nochten	E599	Die konzeptionellen Untersuchungen zu den künftigen hydraulischen und stofflichen → <u>Wechselwirkungen des Grundwassers mit der Spree</u> im künftigen Grundwasserabstrombereich des Tagebaus Nochten zur Spree werden durch ein Erkundungsprogramm flankiert. Es beinhaltet die Errichtung neuer Grundwassermessstellen in der Anordnung als Querriegel zur Spree, flächendeckende hydrochemische Untersuchungen des Grundwassers, Stichtagsmessungen und Dauermessung der Wasserstände im Grundwasser und in der Spree sowie eine begleitende modellgestützte Auswertung dieser Messungen. Mit diesem umfangreichen Methodeninstrumentarium sollen mögliche Stoffeinträge in die Spree frühzeitig erkannt und sicher vorhergesagt sowie ein ausreichender Planungsvorlauf für geeignete Abwehrmaßnahmen gewonnen werden.

Maßnahmen	Nr.	Erläuterung
Monitoring		
Diverse Fließgewässermonitorings	B408 B409 B410 E680 B419 E575	Der oberirdische Abfluss aus den GWBA/GWVBA sowie die mit Stützungswasser beaufschlagten Fließgewässer werden gemäß den wasserrechtlichen Erlaubnissen hinsichtlich der Einhaltung der genehmigten Einleitwerte systematisch überwacht. Dazu wurden geeignete Monitoringprogramme aufgestellt, die in der Regel eine monatliche Überwachung vorsehen. Die Überwachung beinhaltet Durchflussmessungen und hydrochemische Untersuchungen, so dass vollständige Stoffbilanzen erstellt werden können. Einleitstellen werden i. d. R. dichter gemessen. Alle mit Stützungswasser beaufschlagten Fließgewässer werden durch Monitorings überwacht (→ <u>Einleitung von Stützungswasser im Umfeld der Tagebaue</u>).
Grundwassermonitoring in den Förderräumen	B233 B381 B411 B420 B473 B384 B417 B513 E576 B234 B385 B415 B421 B474	In den Förderräumen Nochten/Reichwalde, Cottbus/Jänschwalde und Welzow-Süd der LE-B wird ein systematisches Monitoring der Grundwasserstände und der Grundwasserbeschaffenheit durchgeführt. Die Grundwasserstände werden überwiegend im monatlichen Rhythmus erfasst. Zur Erfassung der Grundwasserbeschaffenheit werden einmal jährlich Grundwasserproben als Pumpproben aus definierten Grundwassermessstellen entnommen. Das Monitoring der Grundwasserbeschaffenheit umfasste zuletzt (im Jahr 2019) etwa 250 Messstellen. Das Messnetz wird an die Tagebauentwicklung angepasst. Ältere Messstellen werden schrittweise durch Grundwassermessstellen neuer Bauart ersetzt.
Diverse Anlagenmonitorings	E797 E798 E799 E800 E801	Die Wasserbehandlungsanlagen werden zur Prozesssteuerung und zur Ausleitkontrolle kontinuierlich überwacht. Diese Messungen zur Prozesssteuerung erfassen verfahrensrelevante Kennwerte an mehreren Stellen in den Anlagen. Dazu gehören vor allem der pH-Wert, die Eisen-gesamt- und Eisen-gelöst-Konzentrationen sowie die Trübung. Im Einzelfall werden weitere Kennwerte erfasst.
Monitoring zum Cottbuser Ostsee	E679	Mit dem Cottbuser Ostsee entsteht der erste Bergbaufolgesee der LE-B. Die Entwicklung des Bergbaufolgesees wird durch ein intensives Monitoring begleitet. Dazu gehören vor allem die Überwachung des Wasserspiegelanstiegs im See und des Grundwasseranstiegs in dessen Umgebung sowie die Überwachung der hydrochemischen und biologischen Entwicklung. Daraus sollen einerseits Erfahrungen für die Flutung weiterer Bergbaufolgeseen gesammelt und andererseits rechtzeitig Informationen für Maßnahmen zur Steuerung der Flutung und zur Beeinflussung der Wasserbeschaffenheit erlangt werden.
Monitoring zur Talsperre Spremberg (Sulfat)	E681	Mit dem Vorstoß der Verockerung der Spree bis in die Talsperre Spremberg im Jahr 2011/2012 wurde von der LMBV ein zeitlich hochauflösendes → <u>Eisenmonitoring der Talsperre Spremberg</u> (siehe Tabelle 22 in Abschn. 6.2.1) etabliert. Das Sulfatmonitoring sieht tägliche Beprobungen der Spree vor der Vorsperre Bühlow, nach der Vorsperre Bühlow und nach der Talsperre Spremberg vor. Das Sulfatmonitoring wird von der LE-B zur Überwachung der Sulfatbelastung der Spree genutzt und in der gleichen zeitlichen Intensität wie das Eisenmonitoring betrieben. Das zeitlich verdichtete Sulfatmonitoring liefert Erkenntnisse zur Transformation des Sulfat-signals der Spree in der Talsperre Spremberg, dient der Überwachung kritischer Belastungssituationen der Talsperre Spremberg wie im Jahr 2014 und der Erfolgskontrolle der Sulfatsteuerung durch die FZL.

Maßnahmen	Nr.	Erläuterung
Modellierung		
Numerische Grundwassermodellierung in den Förderbereichen	B378 B402 E574 E678	Die LE-B betreibt numerische Grundwasserströmungsmodelle für ihre Förderräume. Diese Modelle dienen der Entwässerungsplanung und liefern Informationen über die Beeinflussung von Fließgewässer-OWK, sonstigen Fließgewässern, grundwasserabhängigen Landökosystemen und Standgewässern im Absenkungstrichter der Braunkohlentagebaue. Die geohydraulischen Modelle werden entsprechend der höheren Genauigkeitsansprüche der Prognosen an den Sanierungsbergbau weiterentwickelt und in Einzelfällen neu aufgestellt, wie z. B. für den Förderraum Cottbus/Jänschwalde. Derzeit werden von der LE-B die Modelle NoRei (Förderraum Nochten/Reichwalde), WELZ (Förderraum Welzow-Süd) und JäWa (Förderraum Cottbus/Jänschwalde) betrieben.

6.3.2 Zusätzlich empfohlene Maßnahmen

Diese Rubrik enthält Maßnahmenvorschläge des Gutachters (Tabelle 27), die bislang noch nicht Bestandteil der Maßnahmenplanung des Bergbauunternehmens LE-B sind, die jedoch notwendig und geeignet erscheinen, den Zielstellungen des strategischen Hintergrundpapiers langfristig gerecht zu werden. Sie lassen sich unterscheiden als:

- Fortschreibung bestehender Maßnahmen,
- Modifizierung von Maßnahmen im Zuge der Einstellung der Abbautätigkeit und dem Übergang zum Sanierungsbergbau und
- neue Maßnahmen im Zusammenhang mit veränderten Randbedingungen und neuen Entwicklungen.

Die zusätzlich erforderlichen Maßnahmen werden frühestens ab 2022 bis zu einem mehr oder weniger überschaubaren Planungshorizont im Jahr 2027 empfohlen (Tabelle 27). In manchen Fällen ist eine darüberhinausgehende Weiterführung erforderlich. Diese Maßnahmen sind mit einem Pfeil (→) markiert. Die nachfolgende Auflistung erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Die empfohlenen zusätzlichen Maßnahmen der LE-B und LE-K werden in der Tabelle 28 kurz erläutert.

Tabelle 27: Zusätzlich empfohlene Maßnahmen der LE-B und mögliche Planungshorizonte.

Planungshorizonte	K										M	L	
	2. BWZ					3. BWZ							
Bewirtschaftungszeitraum nach Wasserrahmenrichtlinie	Vor 2019	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028-2033	2034-2039	Nach 2039
Maßnahmen													
Studien und Konzepte													
Vertiefende Untersuchungen zum künftigen Grundwasserabstrom vom Tagebau Nochten zur Spree													
Vertiefende Untersuchungen zum künftigen Grundwasserabstrom vom Tagebau Welzow zur Spree													
Bedarfsabhängige Fortschreibung der Sumpfwasserprognosen für die Tagebaue der LE-B											→		
Studie zur Wasserbeschaffenheit der Malxe (Tgb. Jänschwalde) beim Grundwasseranstieg													
Prognose der Abflussverhältnisse von Kippenvorflut und angebundenen Fließgewässern													
Prognose der Wasserbeschaffenheit der Steinitzer Quelle und Ableitung von Kompensationsmaßnahmen													

Planungshorizonte	K										M	L	
	2. BWZ					3. BWZ							
Bewirtschaftungszeitraum nach Wasserrahmenrichtlinie	Vor 2019	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028-2033	2034-2039	Nach 2039
Maßnahmen													
Prognose der Grundwasserbeschaffenheit im Quellgebiet des Petershainer Fließes													
Prognose der Grundwasserbeschaffenheit in den Quellgebieten auf der Innenkippe des Tgb. Welzow-Süd													
Evaluation künftiger wassergütemwirtschaftlicher Aufgaben der Wiedernutzbarmachung													
Untersuchungen zu den wasserwirtschaftlichen Folgen des Braunkohlenausstiegs auf die Spree													
Erkundung													
Erkundungen zum Eiseneintrag in die Fließgewässer in den Grundwasserantriegsgebieten											→	→	→
Monitoring													
Grundwasserstand und Wechselwirkungen OW/GW im künftigen Abstrom vom Tgb. Nochten zur Spree													
Grundwasserbeschaffenheit im künftigen Abstrom vom Tgb. Nochten zur Spree											→	→	→
Modellierung													
Geohydraulische Modellierung des künftigen Grundwasserabstroms vom Tgb. Nochten zur Spree als räumlich hoch aufgelöste Modelllupe											→	→	→
Qualifizierung der numerischen geohydraulischen Modelle für den Grundwasserwiederanstieg							→	→	→	→	→	→	→
Reaktive 3D-Stofftransportmodellierung des künftigen Grundwasserabstroms vom Tgb. Nochten zur Spree							→	→					
Reaktive 3D-Stofftransportmodellierung des künftigen Grundwasserabstroms aus der Kippe des Tagebaus Jänschwalde zur Neiße beim Schlitzten der Dichtwand							→	→					
Reaktive 3D-Stofftransportmodellierung des künftigen Grundwasserabstroms aus der Kippe des Tagebaus Jänschwalde zu den Laßzinswiesen							→	→					

Legende zur Tabelle 27:

Maßnahmenstatus	Farbe
Bestandsmaßnahme	
Weiterführung ggf. erforderlich	→

Tabelle 28: Erläuterungen zu den zusätzlich empfohlenen Maßnahmen der LE-B und LE-K.

Maßnahmen	Nr.	Erläuterung
Studien und Konzepte		
Vertiefende Untersuchungen zum Grundwasserabstrom vom Tgb. Nochten zur Spree	N767	Die aktuellen und künftigen Grundwasserwechselwirkungen im Abschnitt der Spree zwischen der Mündung des Schwarzen Schöps und Neustadt sollen in Fortführung aktueller Arbeiten (siehe Tabelle 26 in Abschn. 6.3.1) vertiefend untersucht werden. Die erforderlichen Datengrundlagen werden durch das → <u>Monitoring des Grundwasserstandes und der Wechselwirkungen OW/GW</u> sowie das → <u>Monitoring der Grundwasserbeschaffenheit</u> im künftigen Abstrom vom Tgb. Nochten zur Spree gelegt. Dazu gehören unter anderem die Komplettierung vorhandener und der Aufbau neuer Messriegel, deren Ausstattung mit moderner Messtechnik (Druckmessdosen mit DFÜ) sowie spezielle hydraulische Tests zur Quantifizierung der Wechselwirkungen des Grundwassers mit der Spree.

Maßnahmen	Nr.	Erläuterung
Vertiefende Untersuchungen zum künftigen Grundwasserabstrom vom Tgb. Welzow-Süd zur Spree	N768	Derzeit versickert Wasser aus der Talsperre Spremberg und strömt als Grundwasser in den Grundwasserabsenkungstrichter des Tagebaus Welzow-Süd ab. Im nachbergbaulichen Zustand, nach dem Grundwasseranstieg im Bereich des Tagebaus Welzow-Süd, kehrt sich die Grundwasserfließrichtung um. In diesem Zusammenhang wird Kippenwasser in die pleistozänen Grundwasserleiter der Spreeaue und letztlich in die Talsperre Spremberg fließen. Mittels einer Studie auf der Basis geohydraulischer Berechnungen (→ <u>Numerische Grundwassermodellierung in den Förderbereichen</u> , siehe Tabelle 27) soll das Gefährdungspotenzial für die Wasserbeschaffenheit in der Talsperre Spremberg und in der Spree abgeschätzt und das Erfordernis weiterer Untersuchungen bewertet werden.
Bedarfsabhängige Fortschreibung der Sumpfungswasserprognosen für die Tagebaue der LE-B	N769 N770 N771	Die bisherigen Prognosen zur Sumpfungswasserbeschaffenheit in den Tagebauen der LE-B werden unter Berücksichtigung von aufgelaufenen Daten zur Sumpfung, neuen Monitoringergebnissen zur Wasserbeschaffenheit, veränderten Tagebauplanungen und neuen Anforderungen an die Wassernutzung bedarfsabhängig fortgeschrieben.
Studie zur Wasserbeschaffenheit der Malxe (Tgb. Jänschwalde) beim Grundwasseranstieg	N772	Mit dem Aufschluss des Tagebaus Jänschwalde wurde die Malxe durchschnitten und im sogenannten Malxe-Neiße-Kanal zur Neiße umgeleitet. Im Rahmen der Rekultivierung des Tagebaus Jänschwalde soll der ursprüngliche Gewässerverlauf der Malxe wiederhergestellt werden. Die Malxe muss zu diesem Zweck über die Kippe des Tagebaus Jänschwalde verlegt werden. Im Trassenbereich der Malxe soll die Wasserbeschaffenheit des Kippenwassers prognostiziert werden. Für den Fall einer Versauerungsdisposition und hoher Eisenkonzentrationen des Kippenwassers müssen geeignete Abwehrmaßnahmen konzipiert werden.
Prognose der Abflussverhältnisse von Kippenvorflut und angebundenen Fließgewässern	N802	Aktuell wird die Wasserführung in den Fließgewässern im Umfeld der Tagebaue durch die Einleitung von geeignetem, ggf. aufbereitetem Sumpfungswasser aufrechterhalten. Für den Übergangszeitraum mit abnehmender Sumpfung und Grundwasserwiederanstieg und darüber hinaus sind Prognosen zu Menge und Beschaffenheit des abfließenden Wassers zu erarbeiten und bei Notwendigkeit Maßnahmen abzuleiten.
Prognose der Grundwasserbeschaffenheit der Steinitzer Quelle und Ableitung von Kompensationsmaßnahmen	N572	Das natürliche unterirdische Einzugsgebiet der Steinitzer Quelle wurde vom Tagebau Welzow-Süd anteilig überbaggert. Die LE-B war gemäß einem Sonderbetriebsplan verpflichtet, das abgebaggerte unterirdische Einzugsgebiet auf der Kippe wiederherzustellen. Im künstlich geschütteten Grundwassereinzugsgebiet steigt derzeit der Grundwasserspiegel an. Die in mehreren Messstellen überwachte Grundwasserbeschaffenheit entwickelt sich örtlich unterschiedlich. Die weitere Entwicklung der Grundwasserbeschaffenheit im künstlich geschütteten Einzugsgebiet der Steinitzer Quelle ist aufbauend auf das → <u>Grundwassergütemonitoring</u> zu prognostizieren. Im Falle ungünstiger Entwicklungen sind Maßnahmen abzuleiten.
Prognose der Grundwasserbeschaffenheit im Quellgebiet des Petershainer Fließes	N573	Die natürlichen Quellgebiete mehrerer Fließe, hier des Petershainer Fließes, wurden vom Tagebau Welzow-Süd anteilig überbaggert. Die betroffenen Fließe werden derzeit durch die → <u>Einleitung von Stützungswasser</u> erhalten. Im Zuge des Grundwasserwiederanstieg wird mit einer Reaktivierung der Quellen gerechnet. Da der Grundwasserspiegel noch sehr tief liegt, bestehen noch keine validen Erkenntnisse zur künftigen Wasserbeschaffenheit. Die Entwicklung der Grundwasserbeschaffenheit in den betroffenen Quellgebieten soll durch geeignete Methoden, wie → <u>geochemische Erkundung</u> und das → <u>Grundwassergütemonitoring</u> , prognostiziert werden.
Prognose der Grundwasserbeschaffenheit in den Quellgebieten auf der Innenkippe des Tgb. Welzow-Süd	N805	Nach aktuellen Planungen wird auf der Kippe Welzow-Süd im Teilfeld I ein Netz von Entwässerungsgräben zur Regulierung des Grundwasserstandes hergestellt. Die Entwicklung der Grundwasserbeschaffenheit der Kippenvorflut soll durch geeignete Methoden, wie die → <u>geochemische Erkundung</u> und das → <u>Grundwassergütemonitoring</u> , prognostiziert werden.
Evaluation künftiger wassergütwirtschaftlicher Aufgaben der Wiedernutzbarmachung	N773	Die LE-B kann die künftigen wassergütwirtschaftlichen Herausforderungen im Rahmen der wasserwirtschaftlichen Restraumgestaltung derzeit noch nicht im Detail benennen. Mögliche räumliche Schwerpunkte deuten sich z. B. mit dem → <u>Grundwasserabstrom vom Tagebau Nochten zur Spree</u> an. Dazu sind Detailuntersuchungen erforderlich, die sich zum Teil bereits in den vorgeschlagenen zusätzlichen konzeptionellen Maßnahmen widerspiegeln.

Maßnahmen	Nr.	Erläuterung
		Zum rechtzeitigen Erkennen der wassergütwirtschaftlichen Herausforderungen und zur frühestmöglichen Planung von Abwehr- und Kompensationsmaßnahmen sollen Metastudien analog den → <u>Fließgewässerkonzeptionen</u> für die Sanierungsgebiete der LMBV (Tabelle 21 in Abschn. 6.2.1) erarbeitet werden. Hier sollen die Ergebnisse der Erkundung, der Monitorings und von Detailuntersuchungen durch eine Systemanalyse zusammengeführt und hieraus der notwendige Handlungsbedarf (Maßnahmenkonzepte) abgeleitet werden.
Untersuchungen zu den wassermengen- und wassergütwirtschaftlichen Folgen des Braunkohlenausstiegs auf die Spree	N774	Der Ausstieg aus der Braunkohlenverstromung ist politischer Konsens zur Umsetzung der deutschen Klimapolitik. Der Ausstieg aus der Braunkohlenverstromung und damit auch aus der Braunkohlenförderung soll im Lausitzer Braunkohlenrevier spätestens bis zum Jahr 2038 erfolgen. Während die struktur- und arbeitsmarktpolitischen Folgen des Braunkohlenausstiegs im öffentlich ausgiebig erörtert werden, bleiben die wasserwirtschaftlichen Konsequenzen unterbeleuchtet. Die sommerliche Wasserführung in der Spree und das sommerliche Wasserdargebot des Spreewaldes werden maßgeblich durch die Einleitung behandelter Sumpfungswässer des Gewinnungsbergbaus der LE-B von derzeit etwa 8 m ³ /s stabilisiert. Die Konsequenzen des Verzichts auf diese Wassermengen für die Wasserführung der Spree und für das Wasserdargebot des Spreewaldes einerseits sowie für die Wasserbeschaffenheit der Spree andererseits sind bislang unbeachtet. In einer Studie sind diese Folgen aufzuzeigen.
Erkundung		
Erkundungen zum Eisen- eintrag in die Fließ- gewässer in den Grund- wasseranstiegsgebieten	N635 N636 N729	In den Einzugsgebieten eisenbelasteter und ggf. versauerungsdisponierter OWK und Fließgewässer mit anteiligem Bergbaueinfluss (z. B. die Raklitza und der Fischgraben) sind die Quellen örtlich zu erkunden und durch geeignete Messprogramme die Quellstärken zu bestimmen. Aus den Ergebnissen dieser Untersuchungen sind Vorschläge für weitere Maßnahmen abzuleiten. Mit solchen Detailuntersuchungen wird die → <u>Evaluation künftiger wassergütwirtschaftlicher Aufgaben der Wiedernutzbarmachung</u> untersetzt.
Monitoring		
Grundwasserstand und hydraulische Wechsel- wirkungen OW/GW im künftigen Abstrom vom Tgb. Nochten zur Spree	N775	Diese Maßnahme sieht ein Langzeitmonitoring der Entwicklung der Wasserstände im Übergangsbereich vom Tagebau Nochten zur Spree und eine modellgestützte Auswertung derselben vor. Auf dieser Grundlage sollen die geohydraulischen Parameter des Grundwasserleiters räumlich differenziert bestimmt sowie die Volumenströme des Grundwassers und der hydraulischen Wechselwirkungen zwischen dem Grundwasserleiter und der Spree quantitativ valide ermittelt werden. Dieses Monitoring schafft die Datenbasis für die → <u>vertiefenden Untersuchungen zum Grundwasserabstrom vom Tgb. Nochten zur Spree.</u>
Grundwasserbeschaffen- heit im künftigen Abstrom vom Tgb. Nochten zur Spree	N776	Diese Maßnahme sieht ein spezielles Monitoring zur Grundwasserbeschaffenheit im Übergangsbereich des Tagebaus Nochten zur Spree vor. Es unterscheidet sich von den sonstigen Monitorings durch ein räumlich verdichtetes Messnetz und einen zeitlich verdichteten Messrhythmus. Dieses Monitoring schafft die Datenbasis für die → <u>vertiefenden Untersuchungen zum Grundwasserabstrom vom Tagebau Nochten zur Spree.</u>
Modellierung		
Geohydraulische Modellie- rung des künftigen Grund- wasserabstroms vom Tgb. Nochten zur Spree als räumlich hoch aufgelöste Modelllupe	N777	Der Übergangsbereich vom Tagebau Nochten zur Spree soll in einem geo- hydraulischen Modell durch eine Modelllupe räumlich fein aufgelöst werden. Das geohydraulische Detailmodell bildet die Grundlage zur Auswertung des Monitorings des Grundwasserstandes und der hydraulischen Wechselwirkungen OW/GW im künftigen Abstrom vom Tagebau Nochten zur Spree.
Qualifizierung der nume- rischen geohydraulischen Modelle für den Grund- wasserwiederanstieg	N779 N782 N783	Die ursprünglich vorrangig für die Bedürfnisse der Tagebausümpfung ent- wickelten geohydraulischen Modelle des Bergbaubetreibers wurden in den letzten Jahren bereits für die Prozesse der Flutung und des Grundwasser- ansteigs qualifiziert. Steigende Genauigkeitsansprüche an die Modelle (geologisches Strukturmodell, räumliche Auflösung, Kolmationsparameter etc.) sind an den Wechselwirkungen mit den Oberflächengewässern auszu- richten. Mit den Modellen müssen sich die Örtlichkeiten und Volumenströme

Maßnahmen	Nr.	Erläuterung
		der Wechselwirkungen OW/GW ausweisen lassen. Die Modelle sind dem Stand der Technik entsprechend weiterzuentwickeln.
Reaktive 3D-Stofftransportmodellierung des künftigen Grundwasserabstroms vom Tgb. Nochten zur Spree	N778	Für den Übergangsbereich vom Tagebau Nochten zur Spree soll ein reaktives Stofftransportmodell aufgebaut werden, womit insbesondere die künftig zu erwartenden Stoffeinträge in die Spree prognostiziert werden können. Die Grundlage dafür bilden ein qualifiziertes → <u>Monitoring des Grundwasserstandes und der hydraulischen Wechselwirkungen OW/GW</u> , dessen modellgestützte Auswertung durch → <u>geohydraulische Modellierung des künftigen Grundwasserabstroms vom Tagebau Nochten zur Spree</u> sowie ein qualifiziertes → <u>Monitoring der Grundwasserbeschaffenheit</u> .
Reaktive 3D-Stofftransportmodellierung des künftigen Grundwasserabstroms aus der Kippe des Tagebaus Jänschwalde zur Neiße beim Schlitz der Dichtwand	N780	Die Gestaltung des nachbergbaulichen Wasserhaushaltes, insbesondere die Wiederherstellung der Lage der überregionalen Wasserscheide zwischen Neiße und Elbe sowie die Vermeidung örtlicher Vernässungen, erfordern eine abschnittsweise Perforation der Dichtwand an der Ostmarkscheide des Tagebaus Jänschwalde. Dadurch wird stärker mineralisiertes und lokal versauerungsdisponiertes Kippenwasser in die Neiße abströmen und sich als diffuser Stoffeintrag manifestieren. Durch eine numerische 3D-Stofftransportmodellierung im Grundwasser sollen die Grundlagen für eine Gefährdungsabschätzung des Stoffaustrages aus der Kippe und des Stoffeintrages in die Neiße gelegt werden. Mit dem Modell soll eine zeitliche Entwicklung der Volumenströme und Stoffkonzentrationen der kippenbürtigen Einträge in die Neiße aufgezeigt werden.
Reaktive 3D-Stofftransportmodellierung des künftigen Grundwasserabstroms aus der Kippe des Tagebaus Jänschwalde zu den Laßzinswiesen	N781	Der Tagebau Jänschwalde bildet vor allem nach Westen und nach Norden einen Grundwasserabsenkungstrichter aus. Zur Begrenzung der nachteiligen Auswirkungen der Grundwasserabsenkung auf das grundwasserabhängige Landökosystem Laßzinswiesen wird Wasser in Gräben und Schluckbrunnen versickert. Dieses Wasser strömt zum Tagebau ab. Im nachbergbaulichen Zustand kehrt sich die Grundwasserströmung um. Die Laßzinswiesen erhalten wieder Grundwasseranschluss. Zu einem gegebenen Zeitpunkt wird das stärker mineralisierte und lokal versauerungsdisponierte Kippenwasser die Laßzinswiesen erreichen. Mit einem numerischen 3D-Stofftransportmodell soll die zeitliche Entwicklung der kippenbürtigen Stoffeinträge (Volumenströme und Stoffkonzentrationen) in die Laßzinswiesen aufgezeigt werden.

6.4 Behörden

6.4.1 Bestandsmaßnahmen

Die Behörden der Länder Brandenburg und Sachsen schaffen mit ihren administrativen Maßnahmen und Entscheidungen die Rahmenbedingungen für die Umsetzung der Anforderungen der EG-WRRL an den ökologischen Zustand bzw. das ökologische Potenzial von Oberflächengewässern. Sie arbeiten dabei eng mit den Bergbauunternehmen, Gewässerunterhaltungsverbänden und anderen Akteuren in der Arbeitsgruppe „Flussgebietsbewirtschaftung Spree-Schwarze Elster“ zusammen. Die AG FGB koordiniert länderübergreifend im operativen Geschäft die Flussgebietsbewirtschaftung und hat dazu Bewirtschaftungsgrundsätze für die Flussgebiete und Immissionsrichtwerte für bergbaurelevante Beschaffenheitskennwerte erarbeitet und abgestimmt (vgl. Abschn. 5.1.2).

Die im Folgenden genannten Maßnahmen der Behörden und Länder basieren auf dem aktuellen Kenntnisstand der AG FGB und ihres Arbeitsgremiums „Eisen- und Sulfatmonitoring“ im Arbeitskreis (AK) „Wasserbeschaffenheit“ sowie auf dem Arbeitsprogramm 2020 zum „Strategiepapier zur Beherrschung bergbaubedingter Stoffbelastungen in den Fließgewässern Spree, Schwarze Elster und Lausitzer Neiße“, siehe LfU et al. (2020). Dieses Arbeitsprogramm wurde gemeinsam von Behörden des Landes Brandenburg (MLUL, LfU und MWE) und den Bergbauunternehmen LMBV und LEAG erarbeitet. Es wird jährlich aktualisiert.

In der Tabelle 29 sind die Maßnahmen der Behörden und Länder per Stand Dezember 2019, gegliedert nach den Maßnahmenkategorien im Abschn. 3.3 Tabelle 10 aus LBGR (2020a), dargestellt. Die behördlichen Planungshorizonte kurzfristig (K), mittelfristig (M) und langfristig (L) orientieren sich vorzugsweise an den Bewirtschaftungszeiträumen nach der EG-WRRL. Als kurzfristig (K) wird der aktuelle gesetzliche Planungshorizont der EG-WRRL bis 2027, als mittelfristig (M) der Planungshorizont einer möglichen Verlängerung der EG-WRRL bis zum Jahr 2039 und als langfristig (L) der Planungshorizont darüber hinaus deklariert. Wenn die Weiterführung einer Maßnahme über den vorgesehenen Planungszeitraum hinaus ggf. erforderlich ist, wird sie mit einem Pfeil (→) gekennzeichnet.

Tabelle 29: Behördliche Bestandsmaßnahmen und Planungshorizonte.

Planungshorizonte	K											M		L
	2. BWZ					3. BWZ								
Bewirtschaftungszeitraum nach Wasserrahmenrichtlinie														
Maßnahmen	Vor 2019	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028-2033	2034-2039	Nach 2039	
	Organisation und Abstimmung													
Begleitgremium zur Wasserbehandlung in der Vorsperre Bühlow														
Fachliche Begleitung des EHS-Konzeptes der LMBV zur Entscheidungsfindung und Genehmigung				→	→									
Wöchentliche Abstimmungen der Behörden mit der Flutungszentrale Lausitz (LMBV)												→	→	
AG FGB: Bewirtschaftungsgrundsätze und Flutungssteuerung												→	→	
Überführung der Ergebnisse des StrathGFP in die Bewirtschaftungspläne											→			
Sicherung von Finanzmitteln im Verwaltungsabkommen														
Vorsorgevereinbarung: Überprüfung der Aufwendungen												→	→	

Planungshorizonte	K										M	L	
	2. BWZ					3. BWZ							
Bewirtschaftungszeitraum nach Wasserrahmenrichtlinie	Vor 2019	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028-2033	2034-2039	Nach 2039
Maßnahmen													
Wassermengensteuerung, Wassergütesteuerung													
Bewirtschaftung der Talsperre Spremberg für den Eisenrückhalt													
Studien und Konzepte													
Erarbeitung und Fortschreibung des StratHGP												→	→
Inhaltliche Erweiterung des StratHGP					→	→							
Risikobewertung der Trinkwasserversorgung						→	→	→					
Vita-Min-Projekt zu hydrologischen Extremsituationen													
Studie zum ökologischen Potenzial von sauren Bergbaufolgeseen				→	→								
Muster-Vorhabens- und Sanierungspläne (SN) sowie Gewässerentwicklungskonzepte (BB)						→	→	→	→	→			
Konzept zur Wasserüberleitung und für Rückhaltevorhaben													
Monitoring													
Monitoring Grund- und Oberflächenwasser Sachsen												→	→
Monitoring Grund- und Oberflächenwasser Brandenburg												→	→
Systematische Sondermonitorings zur Eisen- und Sulfatbelastung in Fließgewässern												→	→
Modellierung													
Aktualisierung des Sulfatprognosemoduls im WBaImo												→	→

Legende zur Tabelle 29:

Maßnahmenstatus	Farbe
Bestandsmaßnahme	
Weiterführung ggf. erforderlich	→

In der folgenden Tabelle 30 werden die bereits konzipierten Maßnahmen der Behörden und Länder Brandenburgs und Sachsens inhaltlich untersetzt.

Tabelle 30: Erläuterungen zu den behördlichen Bestandsmaßnahmen.

Maßnahmen	Nr.	Erläuterung
Organisation und Abstimmung		
Begleitgremium zur Wasserbehandlung in der Vorsperre Bühlow	E700	Die Wasserbehandlung in der Vorsperre Bühlow ist eine Interimslösung. Sie füllt die zeitliche Lücke zwischen dem Auftreten der Eisenbelastung und der Umsetzung des Sonderbetriebsplanes für den Südraum der LMBV. Die fachliche Begleitung und Koordinierung der Wasserbehandlungsmaßnahme der LMBV in der Vorsperre Bühlow durch die Länderbehörden sollen bis zum Übergang in den Regelbetrieb fortgeführt werden. Die Wasserbehandlung erfolgt derzeit unter Nutzung lediglich eines Sedimentationsbeckens. Vorgehen ist die Nutzung von drei Sedimentationsbecken.
Fachliche Begleitung des EHS-Konzeptes der LMBV zur Entscheidungsfindung und Genehmigung	E802	In technischen und naturräumlichen Wasserbehandlungsanlagen und bei der Beräumung verockerter Fließgewässer fallen Eisenhydroxidschlämme (EHS) und eisenhydroxidhaltige Gewässersedimente an. Zur Vermeidung, Verwertung und sicheren Beseitigung dieser Schlämme bzw. Sedimente hat die LMBV ein Maßnahmenkonzept für den gesamten Sanierungsbereich Lausitz entwickelt. Die zuständigen Behörden begleiten dieses EHS-Konzept fachlich und führen es zur Entscheidungs- und Genehmigungsreife.

Maßnahmen	Nr.	Erläuterung
Wöchentliche Abstimmungen der Behörden mit der Flutungszentrale Lausitz	E703 E724	Die fachliche Arbeit der bei der LMBV angelegten Flutungszentrale Lausitz (FZL) wird durch das Landesamt für Umwelt des Landes Brandenburg (LfU), die Landesdirektion Sachsen (LDS) und die Landestalsperrenverwaltung des Freistaates Sachsen (LTV) kontinuierlich begleitet. Wöchentlich erfolgen Abstimmungen zur Gewässerbewirtschaftung in den Flussgebieten der Spree und Schwarzen Elster. Die Zusammensetzung und die Arbeit dieses Gremiums werden von der zukünftigen Trägerstruktur für die wasserwirtschaftliche Organisation im Flussgebiet abhängen.
AG FGB: Bewirtschaftungsgrundsätze und Flutungssteuerung	B177 B178 B213 B214 B215 B216 B334 B348 B374 B393 B394 B395 B396 B457 B458 E702 E725	Die Länder und ihre Behörden arbeiten mit weiteren Akteuren im Rahmen der länderübergreifenden AG „Flussgebietsbewirtschaftung Spree-Schwarze Elster“ zusammen. Die AG hat das Mandat, die Sanierung des Wasserhaushaltes fachlich zu begleiten und die Flussgebietsbewirtschaftung in den Flussgebieten der Spree und der Schwarzen Elster auf der Basis einer abgestimmten Bewirtschaftungsstrategie durchzuführen. Grundlage für die Planung und Entscheidungsfindung in diesem Prozess ist die Festlegung und Fortschreibung von Bewirtschaftungsgrundsätzen. Diese regeln u. a. die Nutzung des natürlichen Wasserdargebotes, die Wasserabgaben aus Talsperren und Speichern, die Flutung und Nachsorge von Bergbaufolgeseen nach einer regelmäßig zu aktualisierenden Rangliste sowie erforderliche Mindestabflüsse und Immissionsrichtwerte für die Fließgewässer.
Überführung der Ergebnisse des StratHGP in die Bewirtschaftungspläne	E784	Die Erkenntnisse und Ergebnisse des strategischen Hintergrundpapiers zu den Kennwerten Eisen und Sulfat fließen in die Bewirtschaftungspläne und Maßnahmenprogramme der FGG Elbe ein und bilden die Grundlage für diverse Hintergrundpapiere zur Begründung von Ausnahmen von den Bewirtschaftungszielen der EG-WRRRL für die bergbaulich beeinflussten Fließgewässer-OWK im Falle einer Zielverfehlung. Die zuständigen Behörden prüfen außerdem Empfehlungen zur Deklaration und zum Zuschnitt von bergbaubeeinflussten Fließgewässer-OWK.
Sicherung von Finanzmitteln im Verwaltungsabkommen	E709	Die Länder wirken darauf hin, dass im kommenden ergänzenden Verwaltungsabkommen zur Braunkohlensanierung (VA VII für den Zeitraum 2023-2027) zwischen dem Bund und den Braunkohlensämländern die erforderlichen Finanzmittel für die im strategischen Hintergrundpapier zur Ausführung empfohlenen wasserwirtschaftlichen Maßnahmen der LMBV an den Fließgewässer-OWK eingeplant werden.
Vorsorgevereinbarung: Überprüfung der Aufwendungen	E785	Die LE-B hat Mitte 2019 mit den Ländern Brandenburg und Sachsen Vorsorgevereinbarungen zur Sicherung der Wiedernutzbarmachungs- sowie etwaiger Nachsorgeverpflichtungen für ihre Lausitzer Tagebaue abgeschlossen, LBGR & LE-B (2019) und SOBA & LE-B (2018). Die Vereinbarungen basieren auf dem Revierkonzept der LE-B vom 30. März 2017 einschließlich der Vorsorgekonzepte für die einzelnen Tagebaue und den darin getroffenen Annahmen hinsichtlich der Maßnahmen und Kosten der Wiedernutzbarmachung. Zur Sicherung der Transparenz wird LE-B diese Vorsorgekonzepte regelmäßig (im zweijährigen Zyklus) überprüfen und beim Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe des Landes Brandenburg bzw. beim Sächsischen Oberbergamt einreichen. Bei Bedarf sind die prognostischen Annahmen zum zeitlichen Anfall, zum Umfang und zu den Kosten der zukünftigen bergrechtlichen Wiedernutzbarmachungsverpflichtungen anzupassen.
Wassermengensteuerung, Wassergütesteuerung		
Bewirtschaftung der Talsperre Spremberg für den Eisenrückhalt	E618	Die Talsperre Spremberg erfüllt unfreiwillig eine wichtige wassergütwirtschaftliche Funktion. Sie hält die Eisenlast der Spree weitgehend zurück, so dass die Stadt Cottbus und der Spreewald von der Verockerung verschont bleiben. Der Eisenrückhalt in der Talsperre Spremberg ist maßgeblich von der Verweilzeit und von der Wassertemperatur der Spree abhängig. Zur Vermeidung eines unzulässig hohen Eisenaustrags aus der Talsperre Spremberg wird die Talsperre jahreszeitabhängig so bewirtschaftet, dass jeweils ausreichend lange Verweilzeiten zum höchstmöglichen Eisenrückhalt

Maßnahmen	Nr.	Erläuterung
		gewährleistet sind. Sie betragen im Sommer mindestens 14 Tage und im Winter mindestens drei Wochen. Dafür müssen Einschränkungen bei anderen Bewirtschaftungsaufgaben, wie z. B. die Niedrigwasseraufhöhung, in Kauf genommen werden.
Studien und Konzepte		
Erarbeitung und Fortschreibung des StratHGP	E689	Die Erarbeitung des strategischen Hintergrundpapiers zur Eisen- und Sulfatbelastung der Spree und Schwarzen Elster ist in drei Phasen gegliedert. Die erste Phase beinhaltet die Erstellung einer Datenbank mit einem problemadäquaten Kennwertespektrum zur Verockerung, Sulfatbelastung und Versauerung von Fließgewässer-OWK sowie ein Geodatenmanagement. In der zweiten Phase werden die erfassten Primärdaten zur Ableitung von Handlungsschwerpunkten analysiert und bewertet. Auf dieser Grundlage werden in der dritten Phase Vorschläge für ein bergbauspezifisches Maßnahmenprogramm abgeleitet. Das StratHGP wird im Zeitraum von 2018 bis 2020 erarbeitet und soll in den Folgejahren unter Berücksichtigung der Berichtszyklen der EG-WRRL fortgeschrieben werden.
Inhaltliche Erweiterung des StratHGP	E786	Aufgrund des hohen Sumpfungswasseraufkommens wurden in der Vergangenheit Abschnitte der Spree und der Schwarzen Elster sowie weiterer Fließgewässer verlegt und ausgebaut. Mit dem zu erwartenden Rückgang des Sumpfungswasseraufkommens werden Maßnahmen zum Ausgleich des Wasserdefizites und zur Angleichung der Hydromorphologie an die zukünftig verringerten Abflüsse erforderlich. Dazu sollen im StratHGP Konzepte entwickelt und objektkonkrete Vorschläge erarbeitet werden. Außerdem ist vorgesehen, in der Datenbank weitere chemische Kennwerte (ACP der OGewV) zu erfassen.
Risikobewertung der Trinkwasserversorgung	E733	Für die Wasserwerke Briesen und Friedrichshagen sowie bei Erfordernis für weitere Standorte der Trinkwasserversorgung sollen Gefährdungsabschätzungen erarbeitet werden. Schwerpunkte sind das Wasserangebot, die Auswirkungen der Sulfatbelastung der Fließgewässer auf die Qualität des Trinkwassers sowie ggf. erforderliche Bewirtschaftungsmaßnahmen zur Einhaltung der Anforderungen der Trinkwasserverordnung.
Vita-Min-Projekt zu hydrologischen Extremsituationen	E698	Im Rahmen des EU-geförderten deutsch-tschechischen Vita-Min-Projektes, das grenzüberschreitende Auswirkungen des Bergbaus zum Inhalt hat, ist die Erarbeitung einer Studie vorgesehen, die Aspekte des Wasserhaushalts in hydrologischen Extremsituationen untersucht.
Studie zum ökologischen Potenzial von sauren Bergbaufolgeseen	E704	Bergbaufolgeseen, die bislang noch unter Bergaufsicht stehen, wurden bisher nicht als Oberflächenwasserkörper in die Berichterstattung zur EG-WRRL aufgenommen. Mit einem Gesamtkonzept zum ökologischen Potenzial, insbesondere von sauren Bergbaufolgeseen, sollen die Grundlagen dafür geschaffen werden. In einer Studie sollen erste Ansätze zur Bewertung des ökologischen Potenzials von Bergbaufolgeseen entwickelt und diese Bewertung in den Folgejahren durchgeführt werden.
Muster-Vorhabens- und Sanierungspläne (SN) sowie Gewässerentwicklungskonzepte (BB)	E704 E803	In der Verantwortung der Bergbauunternehmen werden für die bergbaubeeinflussten Fließgewässer-OWK Sanierungspläne entwickelt. Diese beziehen sich auftragsgemäß ausschließlich auf die bergbaulichen Verpflichtungen. Parallel dazu erarbeiten die Länder entsprechende Konzepte, die alle Facetten der Bewirtschaftungsziele der WRRL berücksichtigen müssen. In Brandenburg sind das die sogenannten Gewässerentwicklungskonzepte (GEK). In Sachsen werden aktuell federführend durch das LfULG Muster-Vorhabens- und Sanierungspläne (VoSa) für einzelne OWK erarbeitet, welche dann als Grundlage zur Erstellung weiterer Pläne durch die für die jeweiligen Gewässerunterhaltungsmaßnahmen zuständigen Behörden dienen sollen. Zur Vermeidung von Parallelarbeiten oder gar konterkarierenden Maßnahmen sind die bergbaulichen Sanierungspläne mit den GEK und VoSa abzustimmen.

Maßnahmen	Nr.	Erläuterung
Konzept zur Wasserüberleitung und zu Rückhaltevorbau	E732	Das SMEKUL stellt unter Berücksichtigung der veränderten wasserwirtschaftlichen Situation in den Sanierungs- und Bergbaugebieten sowie neuer Klima- und Wasserhaushaltsprojektionen alle in der Vergangenheit vorgeschlagenen Maßnahmen zur Stabilisierung des nachbergbaulichen Wasserhaushaltes hinsichtlich des Wasserdargebots und der Wasserbeschaffenheit auf den Prüfstand. Dazu gehören u. a. Wasserüberleitungen aus benachbarten Flussgebieten und das Schaffen zusätzlicher Speicherräume.
Monitoring		
Monitoring Grund- und Oberflächenwasser Sachsen	E687 E706	Der Freistaat Sachsen betreibt landeseigene Messnetze zur Überwachung des Durchflusses und der Wasserbeschaffenheit in den Oberflächengewässern sowie des Grundwasserstandes und der Grundwasserbeschaffenheit. Die Daten der landeseigenen Pegel und Grundwassermessstellen bilden die Grundlage zur Beschreibung des Zustandes der Fließgewässer-OWK und der Grundwasserkörper (GWK).
Monitoring Grund- und Oberflächenwasser Brandenburg	E688 E707	Das Land Brandenburg betreibt landeseigene Messnetze zur Überwachung des Durchflusses und der Wasserbeschaffenheit in den Oberflächengewässern sowie des Grundwasserstandes und der Grundwasserbeschaffenheit. Die Daten der landeseigenen Pegel und Grundwassermessstellen bilden die Grundlage zur Beschreibung des Zustandes der Fließgewässer-OWK und der Grundwasserkörper (GWK).
Systematische Sondermonitorings zur Eisen- und Sulfatbelastung	B200 B386 B416	Die bergbaubedingten Stoffeinträge von Eisen und Sulfat in die Fließgewässer werden durch ein länderübergreifendes Sondermonitoring von den zuständigen Landesbehörden unter Einbeziehung der relevanten Gewässernutzer erfasst und bewertet. Die Auswertung erfolgt jährlich im Arbeitsgremium Eisen- und Sulfatmonitoring der AG Flussgebietsbewirtschaftung unter Einbeziehung der Ergebnisse des Betriebsmonitorings von LMBV und LE-B. Das Monitoring ist problemorientiert zu qualifizieren.
Modellierung		
Aktualisierung des Sulfatprognosemoduls im WBalMo	E690	Das Sulfatprognosemodul im Simulationssystem für die Bewirtschaftungs- und Rahmenplanung von Flussgebieten WBalMo soll für das jeweils aktuelle Länderbewirtschaftungsmodell fortgeschrieben und aktualisiert werden. Ziel sind Langfristprognosen zur Sulfatbelastung der Spree unter spezifischen Bewirtschaftungsbedingungen.

6.4.2 Zusätzlich empfohlene Maßnahmen

Diese Rubrik enthält Maßnahmenvorschläge der Behörden und des Gutachters, die bislang noch nicht Bestandteil der behördlichen Planung sind, jedoch als notwendig und geeignet erscheinen, den Zielstellungen des strategischen Hintergrundpapiers langfristig gerecht zu werden. Sie lassen sich unterscheiden als:

- Fortschreibung bestehender Maßnahmen sowie
- neue Maßnahmen im Zusammenhang mit veränderten Randbedingungen und neuen Entwicklungen.

Die empfohlenen Maßnahmen werden frühestens ab 2020 bis zu einem mehr oder weniger überschaubaren Planungshorizont aufgeführt (Tabelle 31). Eine mögliche Weiterführung ist mit einem Pfeil (→) gekennzeichnet. Die nachfolgende Auflistung erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

Tabelle 31: Zusätzlich empfohlene behördliche Maßnahmen und Planungshorizonte.

Planungshorizonte	K										M		L
Bewirtschaftungszeitraum nach Wasserrahmenrichtlinie	2. BWZ					3. BWZ							
Maßnahmen	Vor 2019	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028-2033	2034-2039	Nach 2039
Organisation und Abstimmung													
Gründung von operativen Plattformen (Arbeitskreisen) für den überinstitutionellen Informationsaustausch													
Sicherung von Finanzmitteln im Verwaltungsabkommen												→	→
Überarbeitung, Systematisierung und Vereinheitlichung der Maßnahmen erfassung (Dokumentenmanagement)													→
Pilot- & Demovorhaben (P&D)													
Begleitung von Versuchs- und Experimentierfeldern zur naturräumlichen Wasserbehandlung													
Studien und Konzepte													
Niederschlagsmengen, Gebietsverdunstung und Verdunstung aus Bergbaufolgeseen (Klimastudie)					→	→							
Rückläufige Sumpfungswassermengen des Gewinnungsbergbaus, Ausleitungen aus Bergbaufolgeseen und Niedrigwasserkonzept (Wassermengenstudie)					→	→							
Maßnahmenkonzept für saure Bergbaufolgeseen											→		
Konzept einer Trägerstruktur für die wasserwirtschaftliche Organisation im Flussgebiet						→	→	→	→	→	→		
Studie zur Ableitung begrifflicher und inhaltlicher „Konventionen“													
Wasserwirtschaftliche Konfliktfelder des Kohleausstiegs und Ableitung von Lösungskonzepten													
Klären von Prüffällen hinsichtlich der bergbaulichen Verursachung sulfat- und eisenbelasteter OWK													
Ableitung und fachliche Begründung der Inanspruchnahme von Ausnahmen von den Bewirtschaftungszielen für bergbaubeeinflusste OWK													
Klärung der Zuständigkeiten für den Rückbau oder die Renaturierung von bergbaulich genutzten wasserwirtschaftlichen Anlagen und Gewässern													
Monitoring													
Ereignisbezogene Sondermonitorings zur Eisen- und Sulfatbelastung in den Fließgewässern												→	→
Erweiterung und Anpassung der Messnetze der Bundesländer für das Monitoring der Fließgewässer-OWK												→	→
Modellierung													
Entwicklung eines Wasserhaushaltsmodells Lausitz						→	→	→	→	→	→		

Legende zur Tabelle 31:

Maßnahmenstatus	Farbe
Empfohlene Maßnahme	
Weiterführung ggf. erforderlich	→

In der folgenden Tabelle 32 werden die zusätzlich vorgeschlagenen behördlichen Maßnahmen inhaltlich untersetzt.

Tabelle 32: Erläuterungen zu den zusätzlich empfohlenen behördlichen Maßnahmen.

Maßnahmen	Nr.	Erläuterung
Organisation und Abstimmung		
Gründung von operativen Plattformen (Arbeitskreisen) für den überinstitutionellen Informationsaustausch	N734	Die Behörden der Länder und/oder Landkreise berufen bei konkretem Bedarf operative Plattformen (Arbeitskreise) für den Informationsaustausch ein. Sie beziehen in diese Arbeitskreise nach Bedarf die Bergbauunternehmen, fachlich Beteiligte, Experten und Betroffene ein. Ein Beispiel für die Berufung einer operativen Plattform war der Informationsaustausch zur Aufklärung und Lösung des Versauerungsschubs der Schwarzen Elster im Sommer 2019.
Sicherung von Finanzmitteln im Verwaltungsabkommen	N804	Weiterführung der gleichlautenden Maßnahme aus der Tabelle 29 und aus der Tabelle 30.
Überarbeitung, Systematisierung und Vereinheitlichung der Maßnahmenfassung (Dokumentenmanagement)	N735	Die Maßnahmen zur Abwehr der Auswirkungen der Eisen- und Sulfatbelastung auf die Fließgewässer-OWK sind zwischen den fachlich Beteiligten häufig nicht ausreichend abgestimmt und mit unterschiedlicher Detailschärfe erfasst. Durch ein zentrales datenbankgestütztes Dokumentenmanagement sollen die Maßnahmen der fachlich Beteiligten überarbeitet, systematisiert und vereinheitlicht werden. Die Pflege der Datenbank erfolgt zentral zur Gewährleistung der inhaltlichen und strukturellen Konsistenz. Der Zugriff auf die Datenbank als Informationsquelle wird allen fachlich Beteiligten gewährt.
Pilot- und Demovorhaben (P&D)		
Begleitung von Versuchs- und Experimentierfeldern zur naturräumlichen Wasserbehandlung	N787	In Anbetracht des langen Zeithorizontes der bergbaulichen Stoffeinträge in die Fließgewässer-OWK sind die Potenziale der naturräumlichen Wasserbehandlung bislang unterbeleuchtet. Das liegt u. a. an der fehlenden technischen Normierbarkeit und an mangelnder Akzeptanz. Gleichzeitig werden gerade diese Verfahren dem Anspruch an Nachhaltigkeit in besonderer Weise gerecht. Zur Untersuchung von ortsangepassten Maßnahmen zur Verringerung bergbaulicher Belastungen, insbesondere von innovativen Verfahren der naturräumlichen Wasserbehandlung, ist die Einrichtung von Versuchs- und Experimentierfeldern an ausgewählten Standorten vorgesehen. Die Länder und Behörden unterstützen die Bergbauunternehmen als Maßnahmenträger bei der Konzeption, Genehmigung und Einrichtung dieser Versuchs- und Experimentierfelder.
Studien und Konzepte		
Niederschlagsmengen, Gebietsverdunstung und Verdunstung aus Bergbaufolgeseen (Klimastudie)	N696	Bereits in der Vergangenheit wurden zahlreiche Klimastudien und Szenarien zu möglichen Veränderungen des Wasserhaushaltes aufgrund des Klimawandels vorgestellt, z. B. im Projekt Globaler Wandel des Wasserkreislaufes (GLOWA-Elbe). Eine entsprechende Berücksichtigung durch das für die Gewässerbewirtschaftung maßgebenden Bewirtschaftungsmodell WBalMo „Spree-Schwarze Elster“ und durch das Sulfatprognosemodell Spree ist bisher nicht erfolgt. Dafür sind länderübergreifend Vorschläge zu den Randbedingungen zu erarbeiten. Diese sollen in der AG FGB Spree-Schwarze Elster vorgestellt, hinsichtlich der zukünftigen Verwendung abgestimmt und ggf. in den Bewirtschaftungsgrundsätzen berücksichtigt werden. Zur Entwicklung der verfügbaren Niederschlagsmengen soll eine Klimastudie erstellt werden. Weitere Schwerpunkte der Klimastudie sollen auf der Gebietsverdunstung und auf der Gewässerverdunstung aus den Bergbaufolgeseen liegen.
Rückläufige Sumpfungswassermengen des Gewinnungsbergbaus, Ausleitungen aus Bergbaufolgeseen und Niedrigwasserkonzepte (Wassermengenstudie)	N695	In einer Studie sollen die Wirkungen des Braunkohleausstiegs auf den Wasserhaushalt der Lausitz dargestellt werden. Dabei sind insbesondere die rückläufige Entwicklung der Sumpfungswassermengen des Braunkohlenbergbaus und entsprechend der Rückgang der Einleitmengen in die Fließgewässer zu betrachten. Im Rahmen der Wassermengenstudie sollen des Weiteren Aussagen zu den Auswirkungen der Ausleitungen aus Bergbaufolgeseen auf das Abflussregime der Spree und Schwarzen Elster getroffen werden. Daneben stehen Aspekte der Nutzung von Bergbaufolgeseen für die Niedrigwasseraufhöhung im Fokus.

Maßnahmen	Nr.	Erläuterung
Maßnahmenkonzept für saure Bergbaufolgeseen	N699	Ausgehend von den Bewertungsgrundlagen zum ökologischen Potenzial von Bergbaufolgeseen und fallkonkreten Bewertungen sollen Maßnahmen für die Anbindung saurer Bergbaufolgeseen an die Vorflut abgeleitet werden.
Konzept einer Trägerstruktur für die wasserwirtschaftliche Organisation im Flussgebiet	N737	Bund und Länder haben im fünften ergänzenden Verwaltungsabkommen (VA VI) zur Braunkohlensanierung in den Jahren 2018-2022 u. a. vereinbart, während der Laufzeit dieses Vertrages die Vorgehensweise für eine darüber hinaus reichende Fortführung der Braunkohlensanierung abzustimmen. Dazu ist u. a. die Organisation der bergbaubedingten wasserwirtschaftlichen Tätigkeiten in den Flussgebieten der Spree und der Schwarzen Elster zu analysieren und es sind Konzepte für eine vom Bund unabhängige Trägerstruktur nach § 5 dieses Verwaltungsabkommens abzuleiten.
Studie zur Ableitung begrifflicher und inhaltlicher „Konventionen“	N738	Eine unterschiedliche Semantik stellt sich nicht selten als Planungs- und Genehmigungshindernis dar. Das betrifft z. B. einen Bergbaufolgeseen an der Grenze beider Bundesländer, der in Sachsen als Industrielle Absetzanlage (IAA) und in Brandenburg als Standgewässer-OWK geführt wird. Das betrifft des Weiteren die Deklaration von Fließgewässer-OWK. Das betrifft außerdem die Abgrenzung von Eisenhydroxidschlämmen in Fließ- und Standgewässern von Gewässersedimenten. In einer Studie sollen Vorschläge für eine länderübergreifende, einheitliche Verwendung grundlegender Begriffe der Maßnahmenplanung und von Maßnahmenkonzepten erarbeitet werden. Hierzu gehören Betrachtungen zu den Medien (z. B.: Grund- und Oberflächenwasser, Stand- und Fließgewässer), zum lokalen Bezug von Anlagen zu diesen Medien (z. B. ex situ und in situ, off site und on site), zu Maßnahmengruppen, -komplexen und -kategorien sowie zu verfahrenstechnischen Begriffen (Prozess, Verfahren, Verfahrensprinzip, Technologie, Maßnahme), Maßeinheiten etc. Diese Studie ist durch behördeninterne juristische Expertise zum Umwelt-, Wasser- und Abfallrecht zu begleiten.
Wasserwirtschaftliche Konfliktfelder des Kohleausstiegs und Ableitung von Lösungskonzepten	N739	In einer Studie sollen die Auswirkungen der veränderten wasserwirtschaftlichen Verhältnisse infolge des Kohleausstiegs auf die Landwirtschaft, die Brauchwasserversorgung der Industrie (z. B. am Industriestandort Schwarze Pumpe), die Vorflut für das Abwasser, FFH-Gebiete und Biosphärenreservate, Tourismus (z. B. im Spreewald), Speicherbewirtschaftung an der Spree und Schwarzen Elster, Trinkwasserversorgung aus Uferfiltrat, Wasserführung und Wasserbeschaffenheit der Spree in Berlin untersucht werden.
Klären von Prüffällen hinsichtlich der bergbaulichen Verursachung sulfat- und eisenbelasteter OWK	N788	Fließgewässer-OWK, für die weder ein räumlich dominanter Bergbaueinfluss vorliegt noch ein direkter Bergbaueinfluss ausgeschlossen werden konnte, wurden in LBGR (2020a) als sogenannte „Prüffälle“ eingestuft. Wenn in solchen OWK die Orientierungswerte der OGewV für Eisen, Sulfat und pH-Wert nicht eingehalten werden, sind Untersuchungen zu den Ursachen und Eintragsquellen durchzuführen. Neben dem Sanierungs- und Gewinnungsbergbau (Braunkohle) sind dabei weitere Einflussfaktoren, wie z. B. Altbergbau, Bergbau auf Steine- und Erden, Melioration, Grundwasserentnahmen und Niedermoore zu berücksichtigen. Solange kein konkreter Verursacher ermittelt werden kann, handelt es sich zunächst um eine hoheitliche Aufgabe.
Ableitung und fachliche Begründung der Inanspruchnahme von Ausnahmen von den Bewirtschaftungszielen für bergbaubeeinflusste OWK	N789	Sind für bergbaubeeinflusste Fließgewässer-OWK die Bewirtschaftungsziele nach § 27 WHG (2018) im zweiten BWZ oder, nach erneuter Fristverlängerung, auch im dritten BWZ nicht oder nur mit unverhältnismäßig hohem Aufwand erreichbar, können durch die zuständigen Behörden weniger strenge Bewirtschaftungsziele nach § 30 WHG festgelegt werden (Abschn. 6.1.2). Als Grundlage für diese Entscheidungen sind Zielwerte für Eisen, Sulfat bzw. den pH-Wert abzuleiten und fachlich zu begründen. Hierbei sind die konkreten Standortbedingungen zu berücksichtigen, insbesondere die Wirkung auf unterstromig gelegene Fließgewässer, Gewässernutzungen, Schutzgebiete etc.

Maßnahmen	Nr.	Erläuterung
Klärung der Zuständigkeiten für den Rückbau oder für die Renaturierung von bergbaulich genutzten wasserwirtschaftlichen Anlagen und Gewässern	N806	Im Zuge des Braunkohlenbergbaus wurden wasserwirtschaftlichen Anlagen errichtet und eine Vielzahl von Gewässern umverlegt, ausgebaut, abgedichtet oder gänzlich neu geschaffen. Die Anlagen und die Gewässer sind nach dem Ende des Bergbaus entweder zurückzubauen oder zu renaturieren. Die Zuständigkeiten für diese Maßnahmen sind in der überwiegenden Zahl der Fälle eindeutig dem Sanierungs- oder dem Gewinnungsbergbau zugeordnet. In Einzelfällen ist die Zuständigkeit für Rückbau oder Renaturierung aber noch nicht abschließend geklärt. Dies betrifft insbesondere Gewässer und Anlagen, die in den Überlappungsbereichen des Sanierungs- und Gewinnungsbergbaus liegen und die vor 1990 errichtet wurden (z. B. die verlegte Trantitz und die Trantitz). Für diese Anlagen und Gewässer ist die Zuständigkeit für den Rückbau oder für die Renaturierung zu klären.
Monitoring		
Ereignisbezogene Sondermonitorings zur Eisen- und Sulfatbelastung	N791	Zur besseren Analyse von Schadstoffquellen und zur Abgrenzung des Bergbaueinflusses werden bei Bedarf unter Einbeziehung maßgeblicher Akteure Sondermonitorings eingerichtet. Die Messstellenanzahl, der Messrhythmus, die Messdauer und der Untersuchungsumfang richten sich nach der konkreten Problemstellung. Ein Beispiel ist das → <u>Sondermonitoring zur Versauerung der Schwarzen Elster im Sommer 2019</u> (siehe Abschn. 6.2.1). Ein ereignisbezogenes Monitoring kann sich bei entsprechendem Erfordernis zu einem systematischen Monitoring entwickeln.
Erweiterung und Anpassung der Ländermessnetze für das Monitoring der Fließgewässer-OWK	N792	Die Ländermessnetze für das Monitoring der Wasserbeschaffenheit von Fließgewässer-OWK sind fortlaufend zu evaluieren. Das betrifft u. a. die Lage der repräsentativen Messstellen innerhalb von OWK, die Ausweisung von OWK, ggf. Vorschläge zur Teilung oder Aberkennung des Status als OWK und die Harmonisierung mit den Messnetzen zur Erfassung der Durchflüsse. Die Messhäufigkeiten richten sich nach der OGewV. Ziel ist die Komplettierung der Messnetze für eine umfassende Zustandsbeschreibung der OWK.
Modellierung		
Entwicklung eines Wasserhaushaltsmodells Lausitz	N697	Auf Initiative des LfULG und des SMUL (jetzt: SMEKUL) wurden zwei Studien zur Realisierbarkeit eines lausitzübergreifenden numerischen Wasserhaushaltsmodells angefertigt. Das Modell sieht eine quantitative Kopplung der Grundwasserströmung mit den Oberflächengewässern und dem Gebietswasserhaushalt (Grundwasserneubildung) vor. Es soll als Entscheidungsgrundlage sowohl für die länderübergreifenden langfristigen wasserwirtschaftlichen Planungen als auch für kurz- und mittelfristige wasserwirtschaftliche Entscheidungen dienen. Es soll sowohl von den Länderbehörden als auch von den Bergbauunternehmen genutzt werden. Ursprünglich war sogar die Nutzung als überregionales Stofftransportmodell vorgesehen. Obwohl in beiden Studien abweichende Empfehlungen ausgesprochen wurden, soll diese Entwicklung weiterverfolgt werden.

7 Maßnahmenkosten

Für die in den Abschnitten 6.1.2, 6.3.2 und 6.4.2 aufgeführten zusätzlich erforderlichen technischen und konzeptionellen Maßnahmen wurden nach den in Abschn. 5.3 dargestellten Ansätzen Kosten ermittelt. Die in Abschn. 6.4.2 aufgeführten organisatorischen Maßnahmen der Behörden wurden bei der Kostenermittlung nicht berücksichtigt. Die Ergebnisse der Kostenermittlung sind nachfolgend zusammenfassend dargestellt.

Die zusätzlich empfohlenen **konzeptionellen Maßnahmen** untergliedern sich entsprechend LBGR (2020a) in die vier Maßnahmenkategorien:

- Erkundung,
- Monitoring,
- Modellierung sowie
- Studien und Konzepte.

Für diese Maßnahmenkategorien wurden summarische Kostenannahmen zu den einmaligen bzw. jährlich anfallenden Kosten getroffen (Tabelle 33).

Tabelle 33: Summarische Annahmen für die einmaligen und jährlichen Kosten der zusätzlich empfohlenen konzeptionellen Maßnahmen nach Maßnahmenkategorien.

Maßnahmenkategorie	Einmalige Kosten	Jährliche Kosten
	Mio. €	Mio. €/a
Erkundung	1,935	---
Monitoring	---	0,569
Modellierung	1,575	0,744
Studien und Konzepte	5,565	---
Summe	9,075	1,313

Die zusätzlich empfohlenen **technischen Maßnahmen** untergliedern sich entsprechend LBGR (2020a) in neun Maßnahmenkategorien. Für die Kategorien wurde nach dem in Abschn. 5.3 beschriebenen Ansätzen summarische Kostenannahmen zu den Investitionskosten und den laufenden Kosten getroffen (Tabelle 34). Die aus Kostensicht identischen Alternativmaßnahmen N670 (Verspülung eisenhydroxidhaltiger Gewässersedimente im RL Westmarkscheide) und N671 (Verspülung eisenhydroxidhaltiger Sedimente im RL Heide V) wurden bei der Kostenermittlung nur einmal berücksichtigt (vgl. Tabelle 24).

Tabelle 34: Summarische Annahmen zu den Investitionskosten und den laufenden Kosten für die zusätzlich empfohlenen technischen Maßnahmen nach Maßnahmenkategorien.

Maßnahmenkategorie	Investitionskosten	Laufende Kosten
	Mio. €	Mio. €/a
Wasserüberleitung	13,670	0,843
Hydraulische Barrieren	100,000	---
Wasserhaltung	0,995	0,016
Wassergütesteuerung	---	0,536
Gewässerunterhaltung	10,000 *)	1,280
Wasserbehandlung in Anlagen	53,410	7,904
Inlake-Wasserbehandlung	0,450	0,106

Maßnahmenkategorie	Investitionskosten	Laufende Kosten
	Mio. €	Mio. €/a
Naturräumliche Wasserbehandlung	21,690	1,572
Pilot- und Demonstrationsvorhaben	1,700	---
Summe	201,915	12,277

*) pauschale Annahme

Für alle im StratHGP zusätzlich empfohlenen Maßnahmen kann damit die folgende **Kostenvorschau** gegeben werden:

- Konzeptionelle Maßnahmen:
 - Einmalige Kosten ca. 9,1 Mio. €
 - Jährliche Kosten ca. 1,3 Mio. €/a

- Technische Maßnahmen:
 - Investitionskosten ca. 202,0 Mio. €
 - Laufende Kosten..... ca. 12,3 Mio. €/a.

Die angegebenen Kosten sind vor dem Hintergrund der in den letzten Jahren deutlich gestiegenen Baupreise als konservative Abschätzung zu verstehen.

Die Kostenvorschau zeigt, dass die zu erwartenden finanziellen Aufwendungen für die zusätzlich empfohlenen technischen Maßnahmen wesentlich über denen für die konzeptionellen Maßnahmen liegen. Nur etwa 4 % der Investitionskosten bzw. der einmaligen Kosten und etwa 10 % der laufenden bzw. jährlichen Kosten entfallen auf konzeptionelle Maßnahmen. Die konzeptionellen Maßnahmen, einschließlich der P&D-Vorhaben, sollten daher verstärkt zur Vorbereitung und Optimierung von technischen Maßnahmenplanungen eingesetzt werden, um die laufenden Kosten der technischen Maßnahmen nach Möglichkeit zu minimieren. Dazu gehört u. a. die Bestimmung der Bemessungsgrößen und Leistungsparameter von technischen Anlagen. Das beinhaltet einerseits die Erhebung und Analyse von Daten aus Literaturquellen und von existierenden Anlagen und andererseits die Durchführung von P&D-Vorhaben zur Anpassung der Anlagenkonfiguration an die konkreten Standortbedingungen und an die spezifische Wasserbeschaffenheit.

Etwa 50 % der für die technischen Maßnahmen ermittelten Investitionskosten sind nur einer technischen Maßnahme zugeordnet: der Dichtwand am nördlichen Ufer des Speichers Lohsa II (Maßnahme N606, siehe Tabelle 24). Dabei ist allerdings zu berücksichtigen, dass für die Dichtwand praktisch keine laufenden Kosten anfallen und kein Rückbauerfordernis besteht. Mehr noch, die Dichtwand generiert durch die Verminderung der Wasserverluste aus dem WSS Lohsa II von - konservativ geschätzt - 9 Mio. m³/a und die Verfügbarkeit dieser Wassermengen für die Wasserbewirtschaftung im Spreeeinzugsgebiet einen wirtschaftlichen Vorteil.

Aus der Kostenvorschau wird auch die große Bedeutung der laufenden Kosten für technische Maßnahmen im Vergleich mit den Investitionskosten deutlich. Jährlich fallen laufende Kosten in Höhe von etwa 6 % der Investitionskosten über den gesamten Planungszeitraum von 25 Jahren an. Den laufenden Kosten von etwa 12,3 Mio. €/a stehen im Planungszeitraum Investitionskosten von durchschnittlich 8,1 Mio. € pro Jahr gegenüber. Bei der Bewertung und Priorisierung von Maßnahmen sind deshalb die laufenden Kosten und die geplante Nutzungsdauer von Anlagen bzw. der Durchführungszeitraum der Maßnahmen zu berücksichtigen. Beim Vergleich von Alternativen sind daher dynamische Kostenvergleichsrechnungen erforderlich.

8 Priorisierung von Maßnahmen

Im vorliegenden strategischen Hintergrundpapier wurde ein umfangreiches Maßnahmenprogramm entfaltet, mit dem die umweltrelevanten Folgen des Braunkohlenbergbaus in der Lausitz, insbesondere die aus dem Eiseneintrag und aus der Versauerung resultierenden Belastungen für die Fließgewässer-OWK, substanziiell gemindert und weitgehend überwunden werden können. Eine erfolgreiche Umsetzung der Maßnahmen setzt eine enge Zusammenarbeit der maßgeblichen Akteure, der Bergbauunternehmen einerseits und der Länder und Behörden andererseits, voraus.

Das vorliegende Maßnahmenprogramm ist nicht redundant ausgestattet, sondern beinhaltet ausschließlich die von den Bearbeitern erkannten notwendigen Maßnahmen zur Zielerreichung. Der Verzicht auf einzelne Maßnahmen impliziert notwendigerweise Abstriche an der Zielerreichung.

Zu welchem Zeitpunkt können die Ziele erreicht werden? In welcher Reihenfolge sollten die Maßnahmen in Angriff genommen werden?

Als Prinzipien für die Priorisierung der Maßnahmen kommen zahlreiche in Betracht, als solche:

1. eine maximale Frachtminderung,
2. eine hohe Zählwirkung, wie Flusskilometer oder Anzahl von Fließgewässer-OWK mit Zielerreichung,
3. eine Favorisierung von Schutzgütern, wie Trinkwasserfassungen, FFH-Gebiete, Naherholungsgebiete usw.,
4. niedrigste spezifische Kosten,
5. kürzeste Umsetzungsdauer sowie
6. höchste Akzeptanz, wie Genehmigungsfähigkeit, geringes öffentliches Konfliktpotenzial, Zustimmung der Eigentümer usw.

Das Ziel, eine möglichst starke Frachtminderung zu erreichen, kann als ein objektivierbares naturwissenschaftliches Prinzip angesehen werden. Die LMBV ist bei der Umsetzung der Barrierenkonzepte im Südraum und im Nordraum des Sanierungsbergbaus zunächst nach diesem Prinzip verfahren. Die Umsetzung führte unter anderem zu sogenannten End-of-pipe-Lösungen an den Fließgewässern 2. Ordnung im Nordraum des Sanierungsbergbaus und im Gebiet Lauchhammer. Diese Lösungen schützen bevorzugt die Fließgewässer höherer Ordnung und bieten keine Lösungen für die Fließgewässer 2. Ordnung.

Das Bestreben, die Belastungen in einer möglichst großen Anzahl von Fließgewässer-OWK oder Flusskilometer von Fließgewässer-OWK zu mindern, kann als normatives Prinzip zur Erfüllung der Bewirtschaftungsziele der EG-WRRL bzw. des WHG gesehen werden. Dieses Prinzip führt zu einer Umsetzungsreihenfolge von den einfach und schnell zu lösenden Fällen zu den anspruchsvolleren Fällen. Es bewirkt nahezu das Gegenteil des zuvor genannten Prinzips der Frachtminderung.

Die Priorisierung von Maßnahmen, die Schutzgüter, wie Trinkwasserfassungen, FFH-Gebiete, Naherholungsgebiete usw. bevorzugen oder beeinträchtigen, stellt ökologische Anforderungen und Nutzungsansprüche in den Vordergrund.

Die Priorisierung von Maßnahmen mit den geringeren spezifischen Kosten folgt einer stringenten wirtschaftlichen Betrachtungsweise und ist von ihren Effekten nicht sehr verschieden vom Kriterium der maximalen Frachtminderung. Es sei denn, dass die absoluten Investitions- und Betriebskosten in den Vordergrund gestellt werden, die nicht zuletzt von deren Finanzierbarkeit abhängig sind.

Die Priorisierung von Maßnahmen mit einer möglichst kurzen Umsetzungsdauer wird einer Erwartungshaltung nach schnellen Lösungen gerecht. Als Reaktion auf die nahezu spontane Spreeverockerung in den Jahren 2010/2011 war die LMBV versucht, diesem Anspruch durch sogenannte Sofortmaßnahmen gerecht zu werden.

Unabhängig von den zuvor diskutierten alternativen Prinzipien zur Priorisierung von Maßnahmen wird deren Umsetzung maßgeblich von der Genehmigung, vom öffentlichen Konfliktpotenzial, von der Zustimmung von Eigentümern und weiteren subjektiven Faktoren bestimmt.

Eine mögliche Zeitschiene zur Umsetzung der Maßnahmen unter Berücksichtigung der zuvor genannten Aspekte ist in den Maßnahmentabellen dargestellt.

9 Quellenverzeichnis

AG FGB (2019): Grundsätze für die länderübergreifende Bewirtschaftung der Flussgebiete Spree, Schwarze Elster und Lausitzer Neiße. – Arbeitsgemeinschaft „Flussgebietsbewirtschaftung Spree-Schwarze Elster“, Stand: April 2019.

Arnold & Fisch (2013): Arnold, I. & Fisch, S. (2013): Braunkohlengewinnung in der Niederlausitz. Dresdner Grundwassertage 2013 „Entwicklung und Applikation innovativer Grundwasserschutz- und Grundwasserbehandlungsmaßnahmen“, Heft 49, 109-119, 2013.

Arnold & Uhlmann (2002): Arnold, I. & Uhlmann, W. (2002): Eisenausfällungen im Lausitzer Braunkohlerevier – Teil 1: Wasserhebung und -ableitung im Tagebau Nochten, Hydrochemie der Sumpfungswässer.– In: Surface Mining – Braunkohle & Other Minerals, 54 (3): 232-241; Clausthal-Zellerfeld – ISSN 0931-3990.

Bigham et al. (1994): Bigham, J. M., Carlson, L. & Murad, E. (1994): Schwertmannite, a new iron oxyhydroxysulphate from Pyhäsalmi, Finland, and other localities. – Mineralogical Magazine, 58: 641-648.

Bilek et al. (2007): Bilek, F., Wagner, S. & Petzel, C. (2007): Technikumsversuch zur Eisen- und Sulfatabscheidung durch autotrophe Sulfatreduktion im in situ Reaktor.– In: Wiss. Mitt. 35: 49-56; TU Bergakademie Freiberg, Institut für Geologie - ISSN 1433-1284.

BMWi (2020): Entwurf eines Gesetzes zur Reduzierung und zur Beendigung der Kohleverstromung und zur Änderung weiterer Gesetze (Kohleausstiegsgesetz).– Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 29.01.2020.– Online im Internet: https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/G/gesetzentwurf-kohleausstiegsgesetz.pdf?__blob=publicationFile&v=8 [Zugriff am 10.02.2020].

Brown et al. (2002): Brown, M., Barley, B. & Wood, H. (2002): Minewater Treatment - Technology, Application and Policy. – IWA Publishing, London. – ISBN 1 84339 004 3.

DIN 4049-1 (1992): Hydrologie – Grundbegriffe. DIN 4049, Teil 1.– Deutsches Institut für Normung e. V., Dezember 1992.

DIN 4049-2 (1990): Hydrologie – Begriffe der Gewässerbeschaffenheit. DIN 4049, Teil 2.– Deutsches Institut für Normung e. V., April 1990.

DIN 4049-3 (1994): Hydrologie – Begriffe zur quantitativen Hydrologie. DIN 4049, Teil 3.– Deutsches Institut für Normung e. V., Oktober 1994.

DWA (2012): Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen (KVR-Leitlinien). – Hrsg.: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. in Kooperation mit DVGW, 8. überarb. Aufl., Hefen, Juli 2020 - ISBN 978-3-941897-55-7.

EG-WRRL (2000): Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik (EG-Wasserrahmenrichtlinie). – Amtsblatt der Europäischen Union Nr. L327/1 vom 22.12.2000. – Online im Internet: https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:5c835afb-2ec6-4577-bdf8-756d3d694eeb.0003.02/DOC_1&format=PDF [Zugriff am 23.08.2019].

FGG Weser (2016): Detailliertes Maßnahmenprogramm 2015 bis 2021 für die Flussgebietseinheit Weser bzgl. der Salzbelastung gemäß § 82 WHG in Ergänzung zum Maßnahmenprogramm 2015 bis 2021 für die Flussgebietseinheit Weser gemäß § 82 WHG. – Hrsg.: FGG Weser, März 2016. – Online im Internet: <https://www.fgg-weser.de/component/downloads/send/8-eg-wrll/327-mnpsalz2015-weser-final-160318> [Zugriff am 13.09.2019].

- FIB (2018):** Walko, M., Hildmann, Ch., Schöpke, R., Regel, R., Uhlmann, W. und Pezenka C. (2018): Mikrobiell induzierte Eisenretention im Grundwasseranstrom zu Bergbaufolgeseen und Fließgewässern am Standort Ruhlmühle. Abschlussbericht, FIB Forschungsinstitut für Bergbaufolgelandschaften e.V. Finsterwalde, 01.11.2018.
- Friedrich et al. (2007):** Friedrich, H.-J., Zaruba, A., Meyer, S., Knappik, R., Stolp, W. & Benthaus, F. C. (2007): Verfahren und kleintechnische Anlage zur Aufbereitung schwefelsaurer Grubenwässer (RODOSAN®-Verfahren). – In: Proceedings des DGFZ e.V., Heft 31, 2007; Dresden. – ISSN 1430-0176.
- GEOS (2020):** Aubel, T., Walther, J., Fischer, H. & Pohl, M. (2020): Nutzung der Abprodukte aus Wasserreinigungsanlagen als Wertstoffe (TP2.1). – G.E.O.S. Ingenieurgesellschaft mbH, Freiberg, Präsentation, 3. Fachkonferenz in Weißwasser, 28.01.2020. – Online im Internet: https://www.vita-min.sachsen.de/download/2020-01-28_LfULG_EHS_Abschlusspraesentation_final.pdf [Zugriff am 27.05.2020].
- GrwV (2017):** Grundwasserverordnung vom 09. November 2010 (BGBl. I S. 1513), die zuletzt durch Artikel 1 der Verordnung vom 04. Mai 2017 (BGBl. I S. 1044) geändert worden ist. – Online im Internet: http://www.gesetze-im-internet.de/grvw_2010/GrwV.pdf [Zugriff am 23.08.2019].
- IED (2010):** RICHTLINIE 2010/75/EU DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 24. November 2010 über Industrieemissionen (integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung) (Neufassung). – Amtsblatt der Europäischen Union Nr. L334/17 vom 17.12.2010. – Online im Internet: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:334:0017:0119:de:PDF> [Zugriff am 23.08.2019].
- LAWA (2015a):** LAWA-BLANO Maßnahmenkatalog (WRRL, HWRMRL, MSRL). – Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser, Stand: 01.09.2015.
- LAWA (2015b):** Anhang B zum LAWA-BLANO Maßnahmenkatalog (WRRL, HWRMRL, MSRL). – Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser, Stand: 01.09.2015.
- LAWA (2017):** Ableitung von Geringfügigkeitsschwellenwerten für das Grundwasser. - Aktualisierte und überarbeitete Fassung 2016. – Hrsg.: Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA), Stuttgart, Januar 2017. – Online im Internet https://www.lawa.de/documents/geringfuegigkeits_bericht_seite_001-028_1552302313.pdf [Zugriff am 03.09.2019].
- LBGR (2018):** Uhlmann, W., Zimmermann, K., Claus, T., Gerstgraser, C. & Giebler, S. (2018): eines strategischen Hintergrundpapiers zu den bergbaubedingten Stoffeinträgen in den Flusseinzugsgebieten Spree und Schwarze Elster. - Teil 1: Grundlagenermittlung. - Institut für Wasser und Boden Dr. Uhlmann und Gerstgraser Ingenieurbüro für Renaturierung im Auftrag des LBGR, Dresden/Cottbus, 23.11.2018.
- LBGR (2020a):** Uhlmann, W., Zimmermann, K., Claus, T., Schmidt, K., Seher, W., Gerstgraser, C. & Giebler, S. (2020): Erarbeitung eines strategischen Hintergrundpapiers zu den bergbaubedingten Stoffeinträgen in den Flusseinzugsgebieten Spree und Schwarze Elster. - Teil 2: Zustandsanalyse und Handlungsschwerpunkte. – Institut für Wasser und Boden Dr. Uhlmann und Gerstgraser Ingenieurbüro für Renaturierung im Auftrag des LBGR, Dresden/Cottbus, Februar 2020.
- LBGR (2020b):** Uhlmann, W., Gröschke, A. und Zimmermann, K. (2020): Erarbeitung eines strategischen Hintergrundpapiers zu den bergbaubedingten Stoffeinträgen in den Flusseinzugsgebieten Spree und Schwarze Elster. - Teil 3: Maßnahmenkonzept. – Institut für Wasser und Boden Dr. Uhlmann, Dresden, Februar 2020.

LBGR & LE-B (2019): Vorsorgevereinbarung zur Sicherung der Wiedernutzbarmachungs- sowie etwaiger Nachsorgeverpflichtungen für die Tagebaue Welzow-Süd und Jänschwalde („Vorsorgevereinbarung Welzow-Süd/Jänschwalde“). – Öffentlich-rechtlicher Vertrag, Land Brandenburg, Lausitz Energie Bergbau AG, 01.07.2019. – Online im Internet: https://lbgr.brandenburg.de/media_fast/4055/Vorsorgevereinbarung.pdf [Zugriff am 28.05.2020].

LfU et al. (2020): LfU, MLUK, LBGR, MWAE, LMBV & LEAG (2020): Arbeitsprogramm 2020 zum „Strategiepapier zur Beherrschung bergbaubedingter Stoffbelastungen in den Fließgewässern Spree, Schwarze Elster, und Lausitzer Neiße“ – Maßnahmen zur gezielten Beeinflussung bergbaubedingter Stofffrachten. – Online im Internet: https://mluk.brandenburg.de/sixcms/media.php/land_bb_test_02.a.189.de/Arbeitsprogramm2020-Strategiepapier-bergbaubedingte-Stoffbelastungen.pdf [Zugriff am 20.05.2020].

LfULG (2012): Bilek, F. (2012): Reinigungsverfahren von Grundwasser und Oberflächen-gewässern. – Endbericht im Rahmen des Ziel 3 Projektes VODAMIN, Teilprojekt 04. – Dresdner Grundwasserforschungszentrum e. V. im Auftrag des Sächsischen Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, 27.02.2012. – Online im Internet: http://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/download/Endbericht_TP_04_Reinigungsverfahren.pdf [Zugriff am 09.08.2019].

LfULG (2013a): Glombitza, F., Aubel, T., Schaffrath, M. & Janneck, E. (2013): Verfahren zur Fassung, Ableitung und Reinigung bergbaulich kontaminierter Grundwässer. – Endbericht im Rahmen des Ziel 3 Projektes VODAMIN, Teilprojekt 14. – G.E.O.S. Ingenieurgesellschaft mbH im Auftrag des Sächsischen Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie. – Online im Internet: http://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/download/Abschlussbericht_Vodamin_TP14.pdf [Zugriff 09.08.2019].

LfULG (2013b): Wolkersdorfer, C. (2013): Grubenwasserreinigung – Beschreibung und Bewertung Verfahren. – Endbericht im Rahmen des Ziel 3 Projektes VODAMIN, Teilprojekt 09. – Tshwane University of Technology im Auftrag des Sächsischen Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie; Pretoria, Südafrika, 27.09.2013.

LfULG (2015): Uhlmann, W., Seiler, D., Zimmermann, K., Kritzner, W., Wricke, M., Lindner, C. & Götzke, W. (2015): Maßnahmenplanung und Bestimmung der Verhältnismäßigkeit der Maßnahmen für bergbaulich beeinflusste Oberflächenwasserkörper im sächsischen Teil des Lausitzer Braunkohlenreviers. Abschlussbericht. – Institut für Wasser und Boden Dr. Uhlmann und Ingenieurbüro für Wasser und Boden GmbH im Auftrag des Sächsischen Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Dresden, Possendorf, 30.04.2015. – Unveröffentlicht.

LfULG (2017): Friedrich, H.-J., Zschornack, D. & Viehweger, K. (2017): WRRL-unterstützte Wertstoffnutzung (Düngenutzung) aus potenziell wasserqualitätsmindernden Koppelprodukten der Wasseraufbereitung von Grubenwasserreinigungsanlagen (hier Ammonium, Sulfat) einschließlich Durchführung von Technikumsversuchen mit Ammoniumsulfat am Beispiel der GWRA Rainitz. – Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme IKTS im Auftrag des Sächsischen Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie; Dresden, 08.02.2017. – Unveröffentlicht.

LfULG (2018): Weber, A. & Bilek, F. (2018): Recherche und Wirtschaftlichkeit (mikro-) biologischer Verfahren zur Reinigung von Bergbauwässern. – Abschlussbericht Vita-Min-Teilprojekt 1.9. – Dresdner Grundwasserforschungszentrum e. V. im Auftrag des Sächsischen Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, 20.12.2018. – Online im Internet: https://www.vita-min.sachsen.de/download/1-9_Endbericht_Biologie_2019-06-06.pdf [Zugriff am 11.10.2019].

LfULG (2019a): Hildmann, C., Bilek, F., Uhlig, M. & Walko, M. (2019): Reinigungsverfahren sowie wirtschaftliche Bewertung und Selektion der Best-Praxis-Verfahren gegen Acid-Mine-Drainage. – Abschlussbericht Vita-Min, Teilprojekt 1.8. – FIB Forschungsinstitut für Bergbaufolgelandschaften e.V., GFI Grundwasser-Consulting-Institut GmbH Dresden und VisDat geodatentechnologie GmbH im Auftrag des Sächsischen Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, 31.05.2019. – Online im Internet: https://www.vita-min.sachsen.de/download/1-8_Endbericht_20191128_Rechtschr_korr.pdf [Zugriff am 20.02.2020].

LfULG (2019b): Martin, M., Löser, R., Janneck, E., Mayer, R., Kuhr, J., Kahnt, R. & Haubrich, F. (2019): Analyse des anthropogen und natürlich bedingten Zutrittes von Eisen und Sulfat in bergbaubeeinflusste Fließgewässer. – Abschlussbericht Vita-Min, Teilprojekt 1.1. – G.E.O.S. Ingenieurgesellschaft mbH, Niederlassung Freiberg, im Auftrag des Sächsischen Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, 30.09.2019. – Online im Internet: https://www.vita-min.sachsen.de/download/1-1_Endbericht_AnalyseFeSO4_GEOS_Sep2019.pdf [Zugriff am 20.02.2020].

LMBV (2012): Wricke, M., Kritzner, W. & Uhlmann, W. (2012): Externe Fremdbegutachtung während des Weiterbetriebes der bestehenden Pilotanlage am Standort der GWRA Raintza zur Verfahrenserprobung der elektrochemischen Sulfatabtrennung mit CO₂-Injektion. – IWB Possendorf & IWB Dr. Uhlmann im Auftrag der LMBV, Possendorf & Dresden, 30.04.2012. – Unveröffentlicht.

LMBV (2015a): Uhlmann, W., Zimmermann, K., Theiss, S. & Kreutziger, Y. (2015): Einschätzung des Anteils des Sanierungsbergbaus der LMBV an der Sulfatbelastung der Spree. – Institut für Wasser und Boden Dr. Uhlmann im Auftrag der LMBV, Dresden, 31.03.2015. – Online im Internet: https://www.lmbv.de/files/LMBV/Dokumente/Wassermanagement/Verockerung%20der%20Spree/Studien/LMBV_Sulfatbilanz%20Spree_IWB_Text_2015.pdf [Zugriff am 30.08.2019].

LMBV (2015b): Luckner, L., Sommer, T., Uhlmann, W., Kreutziger, Y., Mix, S., Herre, K., Scholz, E., Lucke, B., Totsche, O. & Mischke, D. (2015): LMBV Flutungs-, Wasserbehandlungs- und Nachsorgekonzept Lausitz. Teil 2: Gestaltung von Gewässersystemen in den Bergbaufolgelandschaften der Lausitz. Lausitzer und Mitteldeutsche Bergbau-Verwaltungsgesellschaft mbH Senftenberg, Oktober 2015. – Online im Internet unter: https://www.lmbv.de/index.php/Publ_Lausitz.html [Zugriff am 30.08.2019].

LMBV (2016): Uhlmann, W. & Zimmermann, K. (2016): Bilanzierung des Anteils des Sanierungsbergbaus der LMBV an der Eisenbelastung der Spree und der Kleinen Spree. Bericht im Auftrag der LMBV, Institut für Wasser und Boden Dr. Uhlmann, Dresden, 30.09.2016. – Unveröffentlicht.

LMBV (2017a): Scholz, E., Lucke, B., Benthous, F.-C., Luckner, L., Totsche, O., Jentschura, C., Geller, W., Grünewald, U., Weiß, H., Reußner, S. (2017): In-Lake-Neutralisation von Bergbaufolgeseeen im Lausitzer und Mitteldeutschen Braunkohlerevier. Aktueller Stand und Bewertung der technischen Entwicklung. – Lausitzer und Mitteldeutsche Bergbau-Verwaltungsgesellschaft mbH, Dezember 2017. – Online im Internet unter: <https://www.lmbv.de/index.php/Publikationen.html> [Zugriff am 07.05.2020].

MLUL (2013): Uhlmann, W., Theiss, S., Nestler, W. Westphal, E. & Claus, Th. (2013): Fortführung der Studie zur Talsperre Spremberg: Ausführung eines investigativen Monitorings von Eisen im Wasserkörper und im Sediment der Talsperre Spremberg zur Abschätzung der Folgen steigender Eisengehalte in der Spree im Zulauf zur Talsperre infolge des Grundwasserwiederanstieges für die Talsperre und das unterliegende Gewässersystem der Spree sowie Schlussfolgerungen für erforderliche Gegenmaßnahmen. Institut für Wasser und Boden Dr. Uhlmann im Auftrag des MLUL Brandenburg, Dresden, 31.12.2013.

MLUL & MWE (2019a): Bewirtschaftungserlass Sulfat (Spree). – Ministerium für Ländliche Entwicklung und Landwirtschaft und Ministerium für Wirtschaft und Energie des Landes Brandenburg, Potsdam, 30.04.2019. – Online im Internet: <https://mluk.brandenburg.de/sixcms/media.php/9/Bewirtschaftungserlass-Sulfat.pdf> [Zugriff am 28.05.2020].

MLUL & MWE (2019b): Anforderungen zur Reduzierung des bergbaubedingten Eintrages von Eisen in die Fließgewässer der Lausitz (Bewirtschaftungserlass Eisen). – Ministerium für Ländliche Entwicklung und Landwirtschaft und Ministerium für Wirtschaft und Energie des Landes Brandenburg, Potsdam, September 2019. – Online im Internet: https://mluk.brandenburg.de/sixcms/media.php/9/Bewirtschaftungserlass_Eisen_03-09-2019.pdf [Zugriff am 28.05.2020].

MLUL & MWE (2019a): Bewirtschaftungserlass Sulfat (Spree). – Ministerium für Ländliche Entwicklung und Landwirtschaft und Ministerium für Wirtschaft und Energie des Landes Brandenburg, Potsdam, April 2019.

MLUL & MWE (2019b): Anforderungen zur Reduzierung des bergbaubedingten Eintrages von Eisen in die Fließgewässer der Lausitz (Bewirtschaftungserlass Eisen). – Ministerium für Ländliche Entwicklung und Landwirtschaft und Ministerium für Wirtschaft und Energie des Landes Brandenburg, Potsdam, September 2019.

Mutschmann & Stimmelmayer (2002): Mutschmann, J. & Stimmelmayer, F. (Hrsg.) (2002): Taschenbuch der Wasserversorgung. – 13. vollst. überarb. Auflage, vieweg, Wiesbaden - ISBN 3-528-22554-8.

OGewV (2016): Oberflächengewässerverordnung vom 20. Juni 2016 (BGBl. I S. 1373). – Online im Internet: http://www.gesetze-im-internet.de/ogewv_2016/OGewV.pdf [Zugriff am 23.08.2019].

OVG NRW (2018): Oberverwaltungsgericht für das Land Nordrhein-Westfalen, Urteil vom 05. Dezember 2018 – 20 A 499/16, Justiz-Online.– Online im Internet: https://www.justiz.nrw.de/nrwe/ovgs/ovg_nrw/j2018/20_A_499_16_Urteil_20181205.html [Zugriff am 09.09.2019].

Preuß et al. (2007): Preuß, V., Koch, T., Schöpke, R., Koch, R. & Rolland, W. (2007): Weitergehende Grubenwasserreinigung – Sulfatentfernung mittels Nanofiltration.– In: Wiss. Mitt. 35: 19-25; TU Bergakademie Freiberg, Institut für Geologie - ISSN 1433-1284.

Schöpke (2004): Schöpke, R. (2004): Gefährdungsminderung durch Untergrundbehandlung.– In: Wiss. Mitt. 25: 147-151; TU Bergakademie Freiberg, Institut für Geologie - ISSN 1433-1284.

Schöpke et al. (2011): Schöpke, R., Gast, M., Walko, M., Regel, R., Koch, R., & Thürmer, K. (2011): Wissenschaftliche Auswertung von Sanierungsversuchen zur Untergrundsulfatreduktion im ehemaligen Lausitzer Bergbaurevier.– Schriftenreihe Siedlungswasserwirtschaft und Umwelt, 21; BTU Cottbus, Lehrstuhl Wassertechnik und Siedlungswasserbau - ISBN 3-934294-28-6.

SMUL (1999): Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft, Schreiben, AZ 42-8902.10, Dresden, 08.09.1999.

SMUL (2016): Grundlagenpapier zum wasserrechtlichen Rahmen für das SOBA. – LDS in Zusammenarbeit mit LfULG, Bearbeitungsstand 18.03.2016, Freigabe durch SMUL am 27.03.2016.

SOBA (2016): Sächsisches Oberbergamt, Schreiben an die LMBV, AZ 21-4714.00/2, Freiberg, 15.11.2016.

SOBA & LE-B (2018): Vorsorgevereinbarung zur Sicherung der Wiedernutzbarmachungs- sowie etwaiger Nachsorgeverpflichtungen für die Tagebaue Nochten und Reichwalde („Vorsorgevereinbarung Nochten/Reichwalde“). – Öffentlich-rechtlicher Vertrag, Freistaat Sachsen, Lausitz Energie Bergbau AG, 30.11.2018. – Online im Internet: https://www.oba.sachsen.de/download/Vorsorgevereinbarung_LEAG.pdf [Zugriff am 28.05.2020].

TrinkwV (2018): Trinkwasserverordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 10. März 2016 (BGBl. I S. 459), die zuletzt durch Artikel 1 der Verordnung vom 03. Januar 2018 (BGBl. I S. 99) geändert worden ist. – Online im Internet: http://www.gesetze-im-internet.de/trinkwv_2001/TrinkwV.pdf [Zugriff am 23.08.2019].

VEM (2014): Wasserbalance – Dichtwandtechnik im Lausitzer Braunkohlenbergbau. 16 Seiten, Cottbus 2014.

WHG (2018): Wasserhaushaltsgesetz vom 31. Juli 2009 (BGBl. I S. 2585), das zuletzt durch Artikel 2 des Gesetzes vom 04. Dezember 2018 (BGBl. I S. 2254) geändert worden ist. – Online im Internet: http://www.gesetze-im-internet.de/whg_2009/WHG.pdf [Zugriff am 23.08.2019].

WTG (1989): Fachwörterbuch - Begriffe für den Tagebau.– 3. überarb. Aufl., Sektion Feste Brennstoffe der WTG Energiewirtschaft der KdT (Hrsg.), Berlin, 1989.