

Kompendium wirtschaftlicher und umweltgerechter Best- Praxis Lösungen für Bergbaufolgemanagement sowie aktiven Bergbau (TP 2.6)

Teil 1: Wassermanagement in der Lausitzer
Bergbaufolgelandschaft in witterungsbedingten
Extremsituationen

Auftragnehmer:

Zentrum für Angewandte Forschung und Technologie (ZAFT) e.V.

Autoren: Grischek, Thomas; Kuhn, Karin



Auftraggeber:

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie

Koordination: Lünich, Kathleen

LANDESAMT FÜR UMWELT,
LANDWIRTSCHAFT
UND GEOLOGIE



Freistaat
SACHSEN

Berichtszeitraum: 01.09.2019 – 29.01.2021

Berichtsabschluss: 27.01.2021, aktualisiert am 03.05.2021

Gefördert durch den europäischen Fonds für Regionalentwicklung



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



Ahoj sousede. Hallo Nachbar.
Interreg V A / 2014 – 2020

INHALTSVERZEICHNIS

ABBILDUNGSVERZEICHNIS	III
TABELLENVERZEICHNIS	IV
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	V
1 EINLEITUNG UND VORBETRACHTUNGEN	1
1.1 HINTERGRUND UND ZIELSTELLUNG _____	1
1.2 BRAUNKOHLEGEWINNUNG IM LAUSITZER REVIER _____	2
1.3 LÄNDERÜBERGREIFENDE AKTIVITÄTEN DER WASSERBEWIRTSCHAFTUNG IN DER LAUSITZ _____	7
2 BESCHREIBUNG DES SACHSTANDES UND DER ENTWICKLUNG DER MENGENBEWIRTSCHAFTUNG DER GRUND- UND OBERFLÄCHENGEWÄSSER NACH BERGBAUENDE IN DER LAUSITZ	9
2.1 BESCHREIBUNG DER VERFÜGBAREN INSTRUMENTE UND UNTERLAGEN _____	9
2.2 BESCHREIBUNG DES WASSERHAUSHALTES UND DER WASSERBEWIRTSCHAFTUNG _____	16
2.3 VERHÄLTNIS VON VERFÜGBAREM DARLEHEN IN DEN EINZUGSGEBIETEN SPREE UND SCHWARZE ELSTER IM VERHÄLTNIS ZUR VERDUNSTUNG UND DESSEN VERÄNDERUNG DURCH DIE ZUNAHME VON WASSERFLÄCHEN _____	28
2.4 ROLLE DES AKTIVEN BERGBAUS UND DER SÜMPFUNGSWASSER-EINLEITUNGEN _____	39
2.5 BEEINTRÄCHTIGUNG DER GEWÄSSER DURCH EISEN UND SULFAT UND ANWENDUNG DER WASSER-RAHMENRICHTLINIE _____	43
2.6 ANFORDERUNGEN AN DIE SULFATSTEUERUNG IN DER SPREE _____	48
2.7 RESTRIKTIONEN DER FLUTUNGSSZENARIEN UND SPEICHERBEWIRTSCHAFTUNG _____	49
2.7.1 STANDSICHERHEIT VON BÖSCHUNGEN DER BERGBAUFOLGESEEN _____	49
2.7.2 RESTRIKTIONEN AUS DEM NATURSCHUTZ _____	53
2.7.3 HOCHWASSERRISIKOMANAGEMENT _____	54
3 WIRTSCHAFTLICHE UND UMWELTGERECHTE LÖSUNGSMÖGLICHKEITEN ZUR NACHHALTIGEN ENTLASTUNG BZW. STABILISIERUNG DES WASSERHAUSHALTES	55
3.1 STEUERUNG UND FINANZIERUNG DER MAßNAHMEN _____	55
3.2 KOMPLEXE, EINZUGSGEBIETSÜBERGREIFENDE MODELLIERUNG DES WASSERHAUSHALTS _____	57
3.3 PRÜFUNG DER BEWIRTSCHAFTUNGSZIELE _____	58
3.4 AUSBAU DER SPEICHERBEWIRTSCHAFTUNG _____	60
3.5 STÜTZUNG DES WASSERHAUSHALTS DURCH NEIßWASSERÜBERLEITUNG _____	62
3.6 STÜTZUNG DES WASSERHAUSHALTS DURCH ELBEWASSERÜBERLEITUNG _____	65
3.7 STÜTZUNG DER TRINKWASSERVERSORGUNG VON BERLIN UND BRANDENBURG DURCH ODERWASSERÜBERLEITUNG _____	73
4 ZUSAMMENFASSUNG	74
LITERATURVERZEICHNIS	79



Abbildung 35: Neißewasserüberleitung von Steinbach (LMBV, 2006)	63
Abbildung 36: Trassen der Varianten Rohrleitung (RL) und (2) Tunnel (T) (GFI, 2010)	66
Abbildung 37: Einleitungspunkte und Speicherkapazitäten der Variante V2b-TUBAF-K3 Tunnel (nach LMBV, 2009)	66
Abbildung 38: Tunneltrasse im Festgestein (nach Potzeldt, 2009)	67
Abbildung 39: Abfluss-Dauerlinien der Elbe, Pegel Schöna	72

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Übersicht der Braunkohletagebaue im Lausitzer Revier und der entstandenen Bergbaufolgeseen	4
Tabelle 2: Abbauende der Braunkohletagebaue im Lausitzer Revier	6
Tabelle 3: Berechneter Niederschlag (schwarz) und berechnete Abflüsse (blau) in Prozent bezogen auf Mittelwerte der Klimanormalperiode 1961-1990 im Einzugsgebiet der Spree, Modell WEREX, Realisierung 66 (LfULG, 2014)	24
Tabelle 4: Stauraumaufteilung der TS Quitzdorf gemäß Wasserwirtschaftsplan (LTV, 2020)	32
Tabelle 5: Stand der Flutung der Bergbaufolgeseen 2019 im Lausitzer Revier (LMBV, 2020a)	33
Tabelle 6: Planung der Flutung der Bergbaufolgeseen in Verantwortung der LEAG (LEAG, 2020), Arbeitsstände, Revierkonzept in Überarbeitung	35
Tabelle 7: Wasserhebung in Tagebauen und Einleitungen von Sumpfungswässern (Grundwasser) in die Oberflächengewässer im Jahr 2017 (Schapp, 2018)	39
Tabelle 8: Herkunft der Eisen- und Sulfatkonzentrationen in der Spree (MLUK, 2020)	44
Tabelle 9: Fiktive Sperrstellen und der benötigte Betriebsraum zur Aufhöhung des Abflusses am Pegel Neuwiese um $0,7 \text{ m}^3/\text{s}$ bis $0,85 \text{ m}^3/\text{s}$ (LfULG, 2019b)	60
Tabelle 10: Immissionsziele für Sulfat für die Schwarze Elster und die Spree (AG FGB, 2020)	70





ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

AG	Arbeitsgruppe
AG FGB	Arbeitsgruppe Flussgebietsbewirtschaftung Spree – Schwarze Elster
BfG	Bundesanstalt für Gewässerkunde
BFS	Bergbaufolgesee
BKP	Braunkohlenplan
DWD	Deutscher Wetterdienst
EHS	Eisenhydroxidschlamm
ERLK	Erweiterte Restlochkette
FG	Fließgewässer
FGG	Flussgebietsgemeinschaft
FZL	Flutungszentrale Lausitz
GRMSTEU	Flutungssteuermodell
GSM	Gütesteuierungsmodell
GW	Grundwasser
GWAB	Grubenwasserabsetzbecken
GWBA	Grubenwasserbehandlungsanlage
GWK	Grundwasserkörper
GWRA	Grubenwasserreinigungsanlage
HWRM-RL	Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
LAUBAG	Lausitzer Braunkohle AG
LAWA	Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser
LBGR	Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg
LDS	Landesdirektion Sachsen
LEAG	Lausitz Energie Bergbau AG
LfU	Landesamt für Umwelt Brandenburg
LfULG	Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie Sachsen
LMBV	Lausitzer und Mitteldeutsche Bergbau Verwaltungsgesellschaft
LTV	Landestalsperrenverwaltung Sachsen
nBR	nachrangiger Betriebsraum (eines Speichers)
NWA	Niedrigwasseraufhöhung
OWK	Oberflächenwasserkörper





PSP	Probestauphase
Qök	Ökologischer Mindestabfluss
RCP	Representative Concentration Pathways (Treibhausgaskonzentrationen)
RL	Restloch
SB	Speicherbecken
SPM	Sulfatprognosemodell
TS	Talsperre
ÜL	Überleiter
WBA	Wasserbehandlungsanlage
WBalMo	Interaktives Simulationssystem für die Bewirtschaftungs- und Rahmenplanung von Flussgebieten
WEREX	auf den Freistaat Sachsen adaptierte Version des statistischen Regionalisierungsverfahrens WETTREG zur Erzeugung von regionalen Klimaprojektionen
WHG	Wasserhaushaltsgesetz
WHH	Wasserhaushalt
WRRL	Wasserrahmenrichtlinie
WSS	Wasserspeichersystem



1 EINLEITUNG UND VORBETRACHTUNGEN

1.1 HINTERGRUND UND ZIELSTELLUNG

Seit dem 19. Jahrhundert wird in Brandenburg, Sachsen und Sachsen-Anhalt Braunkohlebergbau betrieben, der zwangsläufig mit erheblichen Eingriffen in den Gebietswasserhaushalt einhergeht. Kennzeichnend ist, dass in Zeiten des aktiven Bergbaus (Braunkohlegewinnung) das Wasserdargebot durch die Sumpfungmaßnahmen (Heben und Ableiten von Grundwasser zur Freihaltung des Tagebaus) über dem natürlichen Dargebot liegt. Nach dem aktiven Bergbau kann das vorhandene natürliche Wasserdargebot nicht nur beansprucht, sondern sogar überbeansprucht sein. Dies gilt sowohl für die Phase der bergbaulichen Wiedernutzbarmachung (Sanierungsphase) durch den Bedarf an Flutungswasser (zur Herstellung von Tagebaufolgeseen), als auch für die Zeit nach der Flutung der Seen aufgrund der erhöhten Verdunstung. So haben die Trockenjahre 2018, 2019 und 2020 eindringlich gezeigt, dass mit dem verfügbaren Wasserdargebot in den Einzugsgebieten der Spree, Schwarzen Elster und Lausitzer Neiße die Nutzungsanforderungen länderübergreifend nur teilweise erfüllt werden können. Extremereignisse, wie Trockenjahre und Hochwasser, werden aufgrund des Klimawandels zukünftig häufiger auftreten und deren Verteilung und Ausprägung werden sich wesentlich ändern. Verschärft wird die Situation dadurch, dass sich aufgrund des durch die Sumpfung erhöhten Wasserdargebotes in der Vergangenheit Wassernutzungen herausgebildet haben, die mit dem vorhandenen natürlichen Dargebot, insbesondere während Trockenjahren, allenfalls bedingt befriedigt werden können. Der frühere Ausstieg aus der Braunkohlenverstromung und der damit einhergehende Strukturwandel (frühere Schließung von Tagebauen, Wegfall des Sumpfungswassers, Bedarf an zusätzlichem Flutungswasser bei gleichzeitiger Ansiedlung neuer Industrie/Gewerbe) wird die Dargebotssituation weiter verschärfen, so dass insgesamt Anpassungen in der Wasserbewirtschaftung im Sinne eines strategischen Managements erforderlich sind.

Ziel des Teilprojektes 2.6 im Rahmen der Erarbeitung eines „Kompendiums wirtschaftlicher und umweltgerechter Best-Praxis Lösungen für Bergbaufolgemanagement sowie aktiven Bergbau“ ist es, auf der Basis von vorhandenen Informationen den Sachstand der Wasserbewirtschaftung in der Lausitz darzustellen. Es sollen Nutzungsansprüche sowie Möglichkeiten und Grenzen der Bewirtschaftung der Einzugsgebiete der Gewässer in der Lausitz beschrieben und ausgewählte Maßnahmen diskutiert werden. Ein Schwerpunkt ist die Beschreibung der Auswirkung von Trockenperioden im Zusammenhang mit den bekannten Klimaprojektionen. Grundlage dafür ist eine Übersicht und Einordnung bisheriger, laufender und geplanter Arbeiten der Bergbausanierer und Bergbautreibenden, der betroffenen Bundesländer und verschiedener Institutionen. Dazu wird eine Vielzahl von Studien, Publikationen, Beratungsprotokollen und Vorträgen herangezogen und zusammengefasst.

Die Komplexität der Wasserbewirtschaftung wird anhand der Kapitel zur Mengenbewirtschaftung, Verdunstung, Flutung der Bergbaufolgeseen, Sumpfungswassereinspeisungen, Sulfatsteuerung der Spree, Neißewasserüberleitung, Wasserrahmenrichtlinie und Hochwasserrisikomanagement deutlich. Durch das Aufzeigen erfolgreicher behördlicher Kooperationen und Bewirtschaftungsmaßnahmen, neuer Lösungsansätze und zu berücksichtigender organisatorischer und technischer Randbedingungen soll eine Grundlage für eine konstruktive Diskussion der Beteiligten zur Ableitung dringender Handlungserfordernisse geschaffen werden. Es ist keine Studie zur Elbewasserüberleitung, welche nur eine der möglichen Maßnahmen darstellt. Die erneute Diskussion einer Elbewasserüberleitung

unterstreicht jedoch die Notwendigkeit der weiteren länderübergreifenden Kooperation und erheblicher finanzieller Aufwendungen des Bundes und der Länder in den kommenden Jahrzehnten für die Wasserbewirtschaftung der Lausitz als Grundlage für die weitere Entwicklung der Region von Sachsen bis Berlin.

Die Autoren bedanken sich für die Bereitstellung von Dokumenten sowie Hinweise zur Studie bei der Projektleiterin Kathleen Lünich und dem Projektbeirat mit Vertretern der Landesbehörden, der LMBV und der LEAG. Weiterhin bedanken sich die Autoren für konstruktive Diskussionen und Ausführungen zu einzelnen Aspekten der Studie bei Wolf-Dieter Dallhammer, Ingolf Arnold, Prof. Dr. Uwe Grünwald und Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Nestler sowie für die Mitwirkung bei Recherchen und der Erstellung von Abbildungen bei Raffael Bulin, Gustavo Covatti und Francis Noack.

1.2 BRAUNKOHLEGEWINNUNG IM LAUSITZER REVIER

Das wichtigste Tagebaugebiet war das Lausitzer Revier (Abb. 1) mit einer Förderung von 168 Mio. t Rohbraunkohle im Jahr 1990 (Öko-Institut e.V., 2017). Mit der deutschen Wiedervereinigung und der damit einhergehenden Veränderung in der Energiewirtschaft kam es auch zu Veränderungen in der Braunkohlenbergbautätigkeit im Lausitzer Revier und zur Neuausrichtung der Bergbausanierung. In Abb. 2 ist der Rückgang der Kohleförderung in der Lausitz nach 1990 deutlich erkennbar. Die Beendigung der Auskohlung von Tagebauen, wie z. B. in Bärwalde, und der Nichtaufschluss geplanter Tagebaue, wie z. B. Cottbus-Süd, führte dazu, dass das ehemals geplante wasserwirtschaftliche System neu bestimmt werden musste. Zurzeit werden im Lausitzer Revier noch durchschnittlich 52 Mio. t/a gefördert (LEAG, 2020). Tab. 1 bietet eine Auflistung der geschlossenen und noch aktiven Tagebaue.

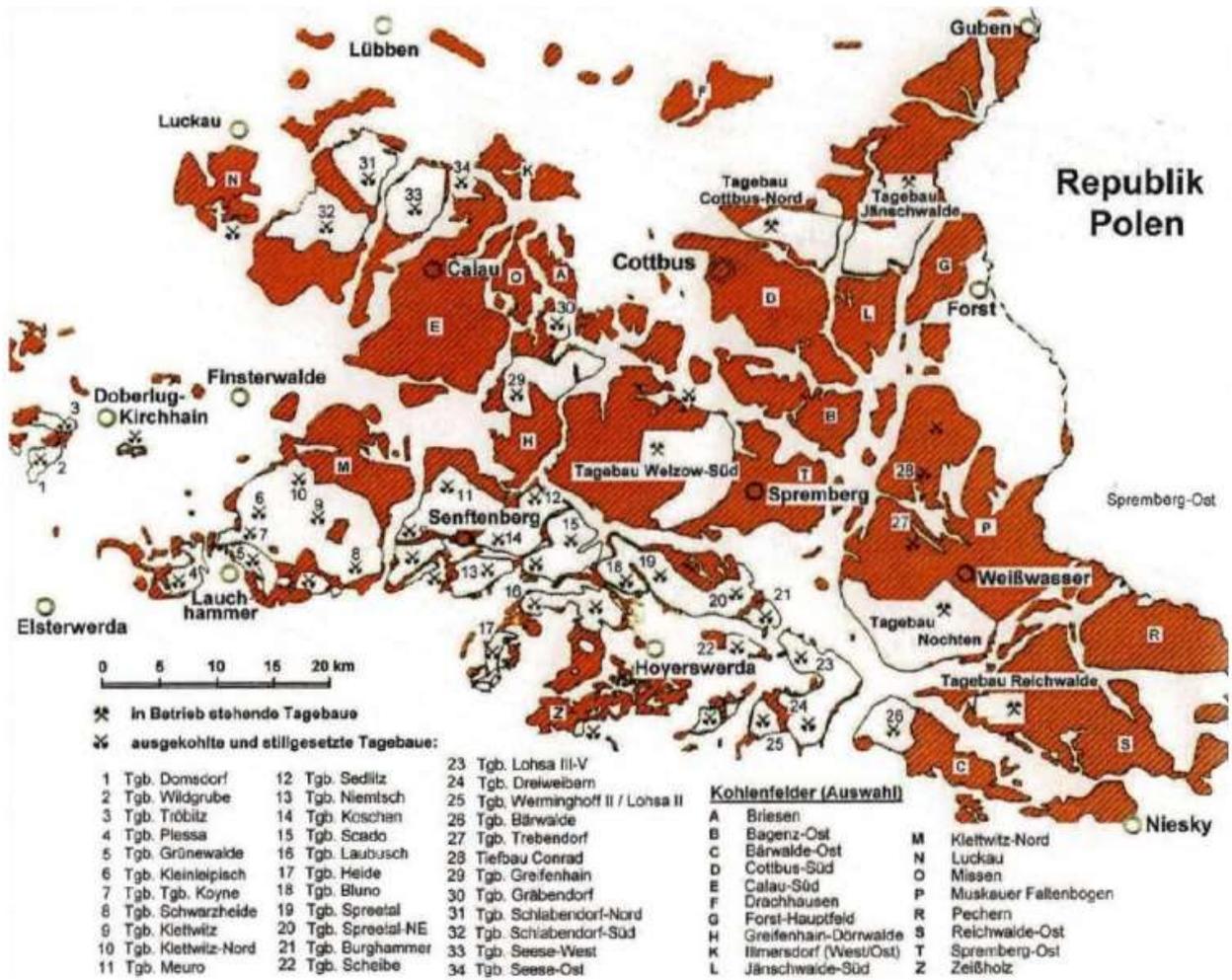


Abbildung 1: Braunkohletagebaue im Niederlausitzer Revier (IWB & iGR, 2020, nach Vulpius, 2015)

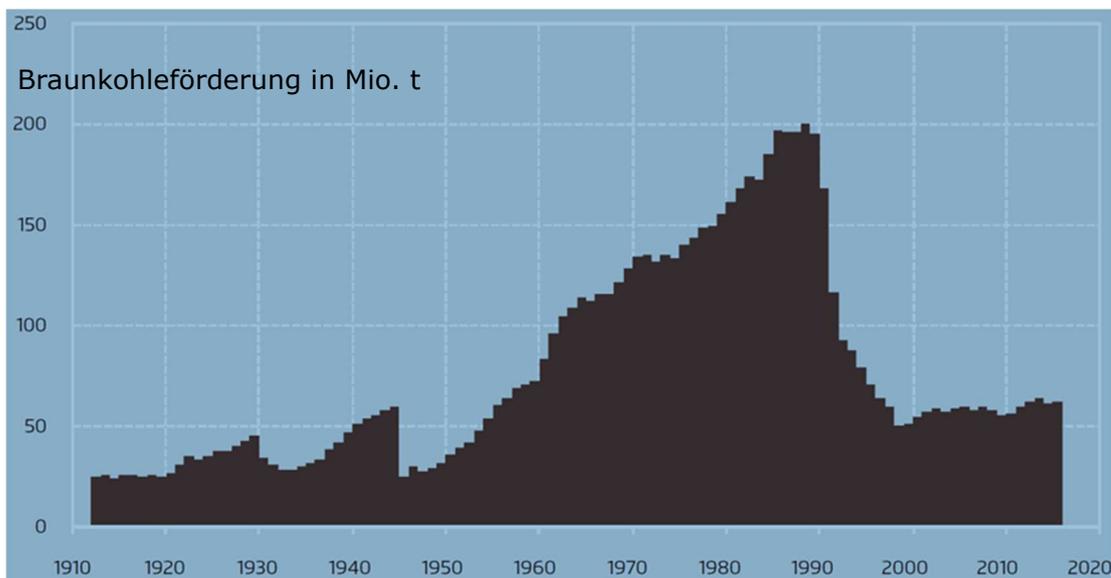


Abbildung 2: Braunkohleförderung in der Lausitz in Mio. t von 1913-2016 (Öko-Institut e.V., 2017)

Tabelle 1: Übersicht der Braunkohletagebaue im Lausitzer Revier und der entstandenen Bergbaufolgesee

Tagebau	Beginn	Ende	Bergbaufolgesee
Bärwalde	1973	1992	Bärwalder See
Berzdorf	1919 1946	1927 1997	Berzdorfer See
Bluno	1955	1968	Neuwieser See
Burghammer	1959	1973	Bernsteinsee (SB Burghammer)
Cottbus-Nord	1978	2015	Cottbuser Ostsee
Dreiweibern	1981	1989	Dreiweiberner See
Gräbendorf	1981	1992	Gräbendorfer See
Erika/Laubusch	1916	1962	Erikasee
Greifenhain	1936	1994	Aldöberner See
Halbendorf	1950	1969	Halbendorfer See
Jänschwalde	1974	k.A.	Klinger See
Klettwitz	1951	1991	Bergheider See
Koschen	1953	1972	Geierswalder See
Lohsa (Werminghoff III)	1950	1984	SB Lohsa II
Meuro	1960	1999	Großräschener See (Ilse-See)
Niemtsch	1941	1966	Senftenberger See
Nochten	1968	k.A.	in Betrieb
Olbersdorf	1910 1947	1938 1991	Olbersdorfer See
Reichwalde	1985		in Betrieb
Scheibe	1984	1996	Scheibe-See
Schlabendorf-Nord/ Schlabendorf-Süd	1959 1975	1977 1991	Lichtenauer See, Schlabendorfer See, Drehnaer See
Ilse-Ost/Sedlitz	1926	1980	Sedlitzer See
Seese-West	1962	1978	Schönfelder See
Seese-Ost	1983	1996	Bischdorfer See
Skado	1939	1977	Partwitzer See
Spreetal	1952	1983	Blunoer Südsee, Sabrodter See, Bergener See
Spreetal-Nordost	1981	1991	Spreetaler See
Welzow-Süd	1959		in Betrieb
Werminghoff I (Knappenrode)	1913	1945	Knappensee (SB Knappenrode), Graureihersee
Werminghoff II	1935	1960	Silbersee (SB Lohsa I)

Abb. 3 zeigt eine aktuell verfügbare Darstellung der aktiven und geplanten Abbaufelder, Betriebs- und Rekultivierungsflächen der Tagebaue Jänschwalde, Welzow-Süd, Nochten und Reichwalde. Mit der dort geförderten Braunkohle werden unter anderem die Kraftwerke Jänschwalde, Schwarze Pumpe und Boxberg versorgt.

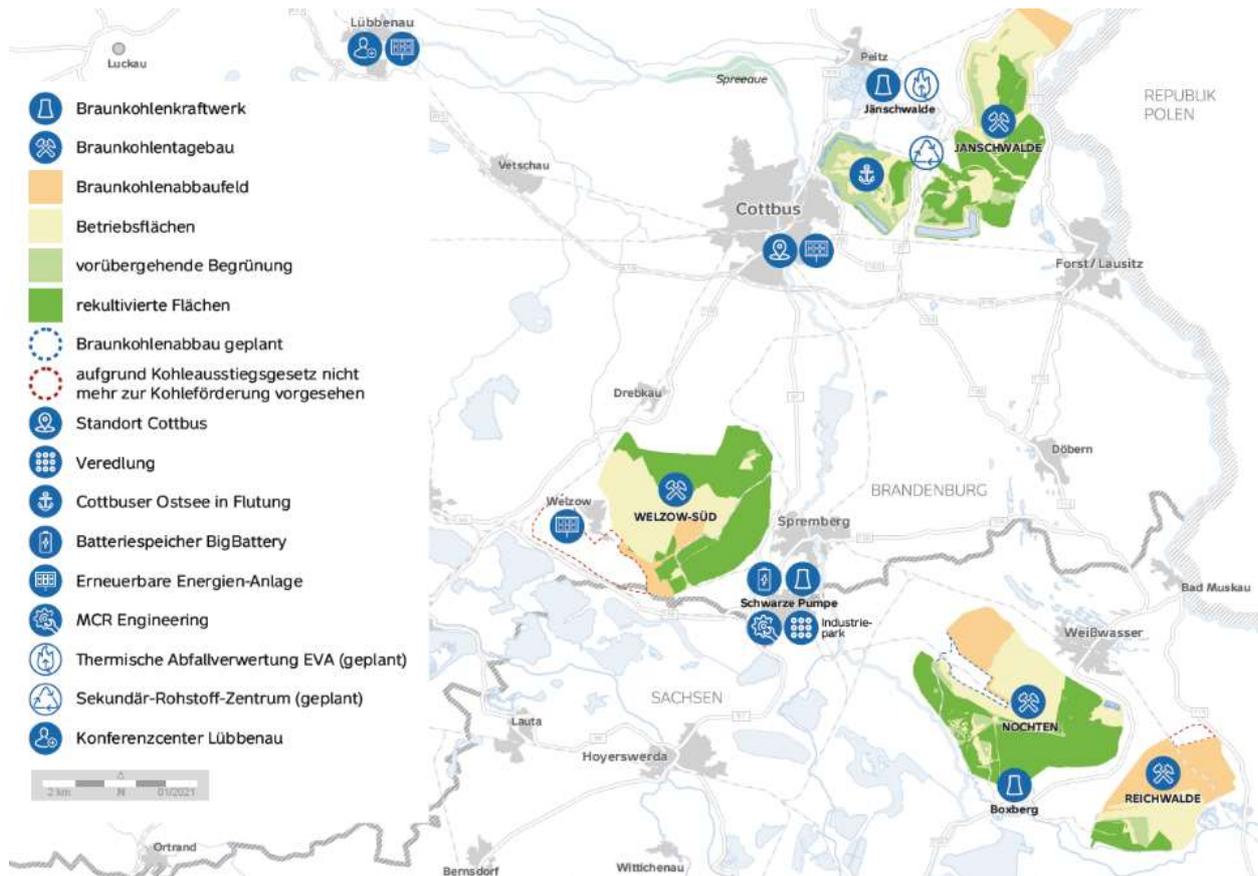


Abbildung 3: Tagebaue im Lausitzer Revier (BK, 2021)

Bereits zur Wiedervereinigung wurde aus wirtschaftlichen Erwägungen (Aufgabe der auf Braunkohleverstromung fußenden Chemieindustrie und Energiewirtschaft der ehemaligen DDR) die vorzeitige Schließung einiger Tagebaue und deren Sanierung beschlossen. Ziele und Zeiträume werden in sogenannten Braunkohlenplänen und Sanierungsrahmenplänen festgelegt.

Für den Tagebau Welzow-Süd zeigt der dort geltende Braunkohlenplan (BKP), dass die Weiterführung nahezu als zwingend eingeschätzt wurde, da für den Teilabschnitt I in der Bergbaufolgelandschaft kein Bergbaufolgesee vorgesehen war.

Auch wenn z. B. die Außerbetriebnahme des Tagebaues Nochten im Braunkohlenplan von 1994 noch für das Jahr 2026 geplant war (RPVO, 1994), war auch schon in den 1990er Jahren eine Weiterführung der Braunkohlentagebaue vorgesehen. Im BKP von 1994 wurde das Abbaugelände 2 bereits als Vorbehaltsfläche für den Braunkohlenbergbau ausgewiesen und 10/2013 durch die LEAG beantragt. Im Rahmen der Fortschreibung des BKP wurden auch volkswirtschaftliche Belange erörtert (Auslastung Boxberg, Arbeitskräftesituation, kulturpolitische Erwägungen, Übereinstimmung mit dem Landesentwicklungsplan 2013) und im Hinblick auf die Energiewende und die Folgen für die Umwelt geprüft. Das Abbauende im Tagebau Nochten war gemäß der Fortschreibung des Braunkohlenplans für 2042 geplant (RPVO, 2013). Im Jahr 2017 wurde dazu eine weitere Fortschreibung des Braunkohlenplans beschlossen (RPVO, 2017).

Am 3. Juli 2020 nahm der Deutsche Bundestag das Gesetz zur Reduzierung und zur Beendigung der Kohleverstromung und zur Änderung weiterer Gesetze (Kohleausstiegsgesetz, Drucksachen 19/17342, 19/18472) an und fasste folgende Entschließung 19/201714 (neu):

„I. Der Deutsche Bundestag nimmt zur Kenntnis, dass nach Beendigung des Braunkohlenbergbaus in der Lausitz noch umfangreiche Maßnahmen zur Wasserhaltung in der Lausitz erforderlich sind. Gemäß ihrer bergbaurechtlichen Verantwortung müssen die Unternehmen für die Wiedernutzbarmachung der Oberfläche und alle Bergschäden aufkommen. Dies ist regelmäßiger Inhalt der bergrechtlichen Genehmigung. Die Unternehmen bleiben als Genehmigungsinhaber damit verantwortlich für die durch den Bergbau verursachten Schäden. **Damit gehören auch wasserwirtschaftliche Maßnahmen zu den Aufgaben der Tagebaubetreiber.**

II. Der Deutsche Bundestag fordert von der Bundesregierung und den betroffenen Ländern für den Fall, dass wasserwirtschaftliche Maßnahmen in der Lausitz Bereiche umfassen, die außerhalb der gesetzlichen Verantwortung der Betreiber und in der Verantwortung der betroffenen Bundesländer (z. B. Bergbau ohne Rechtsnachfolger) liegen und zu erheblichen finanziellen Belastungen der Länder führen könnten,

- die Erarbeitung eines überregionalen Wasser- und Untergrundmodells zu veranlassen, welches die geologischen, hydrogeologischen und hydrochemischen Daten umfasst und als Grundlage für das zukünftige Wassermanagement dienen kann,
- auf dieser Basis den Umfang der nicht von den Tagebaubetreibern zu leistenden wasserwirtschaftlichen Maßnahmen zu ermitteln und
- die Einrichtung einer Bund-Länder-Arbeitsgruppe, die die oben genannten Probleme adressiert und eine Regelung zur Finanzierung der hieraus resultierenden Kosten erarbeitet.“ (Deutscher Bundestag, 2020)

Tab. 2 zeigt das entsprechend Bergrecht genehmigte Abbauende der noch betriebenen Tagebaue vor dem Beschluss der Bundesregierung zur Beendigung der Kohleverstromung (Kohleausstiegsgesetz) und die Vorgaben gemäß dem Beschluss. Der Betreiber LEAG kann sich z. B. aus wirtschaftlichen Gründen auch für ein früheres Abbauende entscheiden.

Tabelle 2: Abbauende der Braunkohletagebaue im Lausitzer Revier

Tagebau	Abbauende gemäß Revierkonzept 2017	Vorgabe gemäß Gesetzgebung*	Aktuelle Planung der LEAG (1/2021)
Jänschwalde	2023	-	2023
Nochten	2042	2038	2038
Welzow-Süd	2045	2038	2030
Reichwalde	2042	2038	2038

* Beschluss der Bundesregierung (Deutscher Bundestag, 2020)

Bereits die Kommission zum Wachstum, Strukturwandel und Beschäftigung hat in ihrem Abschlussbericht vom Januar 2019 empfohlen, eine einvernehmliche Lösung mit den Unternehmen der Braunkohlewirtschaft zu finden. Der entsprechende öffentlich-rechtliche Vertrag lag seit Sommer 2020 endverhandelt vor. Die Zustimmung des Deutschen Bundestages erfolgte am 13.01.2021. Die LEAG weist darauf hin, dass erst mit einem unterzeichneten öffentlich-rechtlichen Vertrag die notwendigen Rahmenbedingungen gegeben sein werden, um ein angepasstes Revierkonzept vorzulegen.

1.3 LÄNDERÜBERGREIFENDE AKTIVITÄTEN DER WASSERBEWIRTSCHAFTUNG IN DER LAUSITZ

In den letzten drei Jahrzehnten wurde im Auftrag der Bergbautreibenden, Bergbausanierer sowie von Bund und Ländern eine große Zahl von Studien zur Wassermengen- und Wasserbeschaffenheitsbewirtschaftung in der Lausitz erstellt. Diese können nicht in der gesamten Fülle in diesem Bericht dargestellt, aber zusammengefasst werden.

Zur Lösung der mit dem Braunkohlenbergbau und dessen Sanierung verbundenen wasserwirtschaftlichen Problemen wurde im Sommer 1993 eine Bund/Länder-Arbeitsgruppe „Wasserwirtschaftliche Planung“ unter Leitung des Bundesumweltministeriums gebildet, der Vertreter der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz von Berlin, der Umweltministerien von Brandenburg, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen, des Büros Braunkohlesanierung der Treuhandanstalt, des Umweltbundesamtes und der Bundesanstalt für Gewässerkunde angehörten. Diese Bund/Länder-Arbeitsgruppe legte ein „Rahmenkonzept zur Wiederherstellung eines ausgeglichenen Wasserhaushalts in den vom Braunkohlenbergbau beeinträchtigten Flusseinzugsgebieten in der Lausitz und in Mitteldeutschland (Rahmenkonzept Wasserhaushalt)“ vor, das von der 11. Umweltministerkonferenz der neuen Länder am 17./18. März 1994 als Grundlage für die weitere Arbeit beschlossen wurde. In diesem Papier wurde erstmals die bis heute geltende fachliche und politische Zielstellung formuliert, dass es „langfristiges Ziel ist, in den betroffenen Flusseinzugsgebieten unter Berücksichtigung der ökologischen Bedingungen und notwendiger Wassernutzungen solche Verhältnisse herzustellen, die einen sich weitgehend selbstregulierenden Wasserhaushalt ermöglichen“. Von Anfang an ging es dabei gleichermaßen um Menge und Beschaffenheit. Zu den auf dieser politischen Beschlusslage aufbauenden Grundsätzen für die wasserwirtschaftlichen Sanierungsarbeiten wurden für den Steuerungs- und Budgetausschuss für die Braunkohlensanierung Aufgaben definiert (siehe Ausführungen unter 3.1. und BMU (2001)).

Auf der Grundlage der umweltpolitischen Vorgaben wurden federführend durch den Regionalen Planungsverband Lausitz für in der Lausitz weiterbetriebene Tagebaue „Braunkohlenpläne“ und für zu sanierende Tagebaue „Sanierungsrahmenpläne“ erarbeitet. Die Ziele, die für jeden Bereich gesondert formuliert wurden, richteten sich im Wesentlichen an der Regionalentwicklungsplanung aus. Großräumige wasserwirtschaftliche Betrachtungen erfolgten vorerst nur in Ansätzen.

Parallel zu den umweltpolitischen Vorgaben wurde durch die LAUBAG (Lausitzer Braunkohle AG), in deren Verantwortung sowohl der Betrieb der Tagebaue als auch die Sanierung von Tagebauen lag, von 1992 bis 1993 die „Komplexhydrologische Studie Lausitz“ mit folgenden Inhalten erarbeitet (Arnold et al., 1993):

- Rekonstruktion der wasserwirtschaftlichen Ausgangssituation vor Beginn der bergbau-lichen Beeinflussung,
- Darstellung der zu dieser Zeit herrschenden wasserwirtschaftlichen Verhältnisse,
- Darstellung der künftigen Tagebauentwicklung bis 2010 für ausgewählte Untersuchungsvarianten zur Entwicklung der Braunkohleförderung und der damit verbundenen wasserwirtschaftlichen Entwicklungen.

Im Zuge dieser Arbeiten erfolgte die Abgrenzung des Grundwasserabsenkungstrichters (sogenannter „Lausitzer Löwe“) mit einer Ausdehnung von 2.500 km², vergleichbar mit der Größe des Saarlandes. Der Tradition der Braunkohlenerkundung in der DDR folgend wurde als Begrenzung die 2-m-Absenkungslinie gegenüber den vorbergbaulichen Grundwasser- verhältnissen verwendet. Mit dieser Abgrenzung konnte der Einfluss des Bergbaus mit großer Sicherheit gegenüber anderen großflächigen Maßnahmen, wie der bis in die 1980er Jahre

durchgeführten Komplexmelioration, oder den Einflüssen anderer Wasserentnahmen bewertet werden. Allerdings wurden damit sensible Gebiete, wie Feuchtgebiete, Naturschutzgebiete mit Feuchtbiotopen sowie die Interaktion zwischen Grund- und Oberflächenwasser nicht hinreichend berücksichtigt.

Im März 1992 wurde für die fachliche Begleitung der Bergbaufolgen unter Leitung der Umweltministerien eine „länderübergreifende Arbeitsgruppe Wasserwirtschaft des Lausitzer Braunkohlereviere Brandenburg/Sachsen“ gegründet. Mitglieder waren neben der LAUBAG die Landesämter von Sachsen und Brandenburg, das Regierungspräsidium Dresden und die Bergämter.

Heute wird die länderübergreifende Zusammenarbeit durch die Arbeitsgruppe „Flussgebietsbewirtschaftung“ (AG FGB) koordiniert. Arbeitskreise, die sich mit der Wassermengenbewirtschaftung, der Wasserbeschaffenheit, dem Hochwasserschutz u.a. beschäftigen, bereiten entsprechende Beschlüsse fachlich vor. Als betroffener Unterlieger wurde nahezu von Anfang an auch der Berliner Senat in die Arbeitsgruppe integriert. Die Aktivitäten und zuständigen Behörden und Unternehmen sind in Abb. 4 dargestellt, die LMBV ist ebenfalls Mitglied der AG FGB.

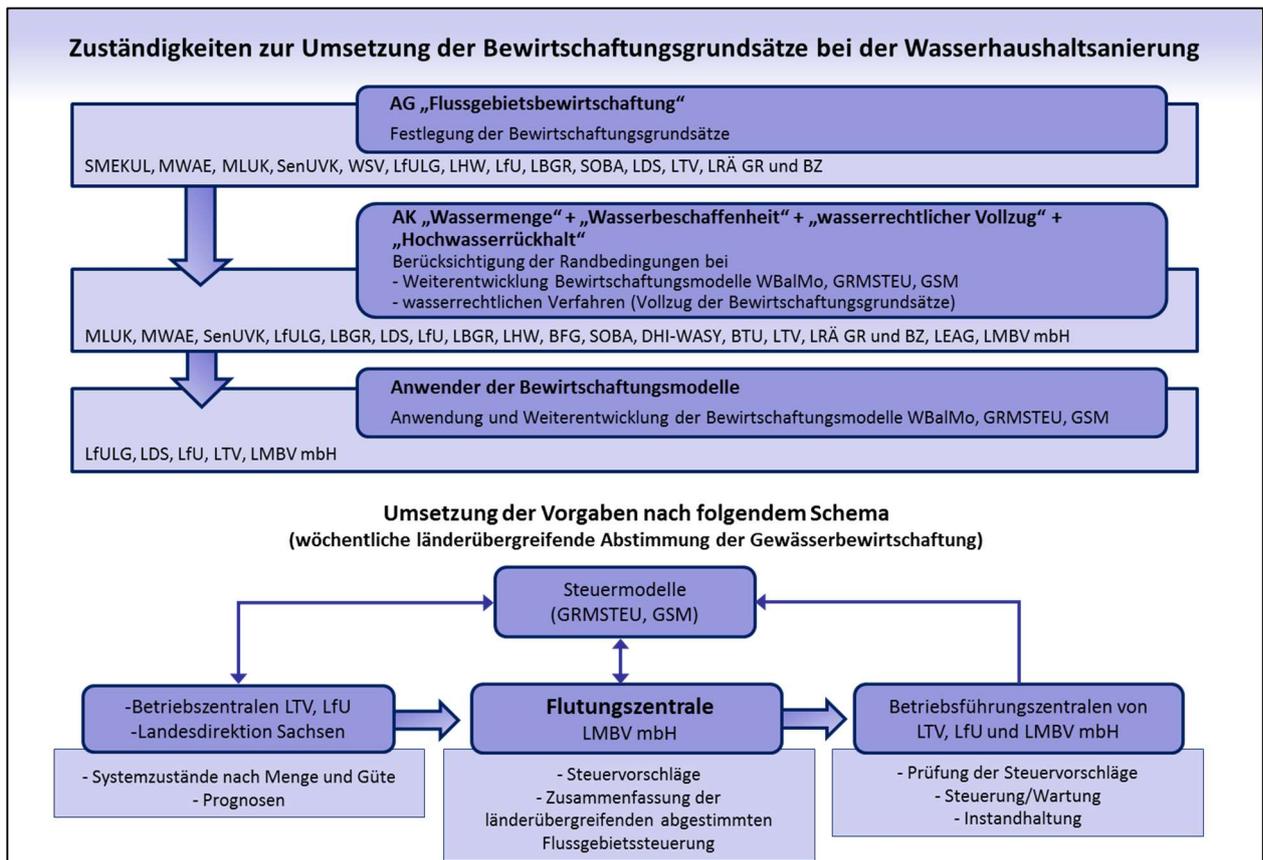


Abbildung 4: Aktivitäten und Arbeitsgruppen für die Wasserbewirtschaftung in der Lausitz (SMUL, 2019)

Mit der Verabschiedung der Wasserrahmenrichtlinie der EU am 21.02.2000 müssen auch die Vorgaben der EU, überführt in deutsches Recht, in den Bergbaufolgelandschaften umgesetzt werden. Das bedeutet, dass neben der umfangreichen Erweiterung des Monitoringsystems und der Einteilung und Bewertung der Grund- und Oberflächenwasserkörper auch das Verschlechterungsverbot und das Verbesserungsgebot beachtet werden müssen. Für die Wasserkörper, die den guten Zustand nicht erreichen, müssen Ausnahmen begründet werden. Die Herangehensweise ist in den Bewirtschaftungsplänen und Maßnahmenprogrammen der



Flussgebietsgemeinschaften Elbe und Oder beschrieben, die am 22.12.2020 als Entwürfe bereitgestellt wurden (WRRL, 2020). In Sachsen wurden für den Bewirtschaftungszeitraum bis 2021 „Sächsische Hintergrunddokumente“ erarbeitet und für den Zeitraum bis 2027 Hintergrundinformationen im Internet bereitgestellt (WRRL-B, 2020).

2 BESCHREIBUNG DES SACHSTANDES UND DER ENTWICKLUNG DER MENGENBEWIRTSCHAFTUNG DER GRUND- UND OBERFLÄCHENGEWÄSSER NACH BERGBAUENDE IN DER LAUSITZ

2.1 BESCHREIBUNG DER VERFÜGBAREN INSTRUMENTE UND UNTERLAGEN

Zur Beschreibung des Sachstandes und der Entwicklung der Mengenbewirtschaftung der Oberflächengewässer sowie als Instrumente für die Vorbereitung wasserwirtschaftlicher Maßnahmen und Unterstützung der Bewirtschaftung wurden für die Einzugsgebiete der Spree, der Schwarzen Elster und der Lausitzer Neiße ab 1993 dynamische Bewirtschaftungsmodelle erarbeitet. Erste Grundlagen wurden mit dem Bewirtschaftungsmodell GRMDYN, welches auf der Basis des ehemaligen Langfristbewirtschaftungsmodells LBM-Obere Spree entwickelt wurde, im Rahmen der sogenannten Dornier-Studie (Dornier, 1993) im Auftrag des Umweltbundesamtes gelegt. Verbunden mit einer Reihe von Weiterentwicklungen ist es als Ländermodell in den 1990er Jahren zum „maßgebenden Planungs- und Entscheidungsinstrument der Flussgebietsbewirtschaftung“ der Bundesländer Sachsen, Brandenburg und Berlin geworden.

Das aktuell verwendete Simulationssystem WBalMo „Spree-Schwarze Elster“ basiert auf folgenden Eingangsdaten/ Komponenten:

- Meteorologie, Abfluss und Sulfatfracht,
- Bedarf (Wassernutzer, Mindestabflüsse etc.) bzw. Immissionsrichtwerte sowie
- Bewirtschaftung nach Menge und Sulfat.

Veränderungen der Einzelkomponenten und/ oder Eingangsdaten führen zu entsprechend neuen Varianten und können zu Szenarien kombiniert werden. Die erarbeiteten Bewirtschaftungsgrundsätze der AG FGB werden in die jährlich länderübergreifend abgestimmte Basisvariante des WBalMo „Spree-Schwarze Elster“ integriert. Die aktuelle Basisvariante dient dann als Ländermodell zur Überprüfung anstehender Fragestellungen und Optimierung der Bewirtschaftungsstrategien der AG FGB.

Die aktuelle Basisvariante LM200320 erstreckt sich über die Einzugsgebiete der:

- Spree von der Quelle bis zum Müggelsee,
- Dahme von der Quelle bis zum Pegel Neue Mühle,
- Schwarzen Elster von der Quelle bis zur Mündung in die Elbe,
- Lausitzer Neiße von der Quelle bis zur Mündung in die Oder.

Sie umfasst:

- | | |
|---|-----|
| ▪ Gewässer: | 95 |
| ▪ Bilanzquerschnitte: | 262 |
| ▪ Teileinzugsgebiete: | 64 |
| ▪ Meteorologische Daten: | 10 |
| ▪ Wasserentnahmen/-einleitungen/-überleitungen: | 494 |





▪ Talsperren und Speicher:	21
▪ Abgaberegeln für Talsperren und Speicher:	149
▪ Konstanten (Flächen, Porenvolumina, Flutungstermine, Überleitungskapazitäten, Grenzwasserstände etc.):	932
▪ DYN-Elemente (modellspezifische Plugins für Bewirtschaftungsregeln):	95
▪ Ergebnisindikatoren (Mittelwerte, Minima, Maxima, Perzentile, Wahrscheinlichkeiten):	166
▪ Sulfatemissionen:	75

Die Abflussdaten der Teileinzugsgebiete werden durch einen Komplex von 64 Niederschlag-Abfluss-Modellen auf der Basis von MIKE NAM für das Gebiet der Lausitzer Neiße und NAM-EGMO für alle anderen Teileinzugsgebiete erzeugt.

Die meteorologischen Eingangsdaten für die Niederschlag-Abfluss-Modelle werden für 18 Teilgebiete von 36 stochastischen Modellen erzeugt. Ihre Parametrisierung erfolgte auf der Basis von gemessenen Daten des DWD (Monatsmittelwerte) für die genannten Einzugsgebiete von 1951 bis 2006 und ist deshalb repräsentativ für das Klima dieses Zeitraumes. Die erzeugten Daten sind sowohl quantitativ als auch hinsichtlich ihrer räumlichen Beziehungen und Wechselbeziehungen mit den gemessenen statistisch identisch. Darüber hinaus sind aufgrund der langen Datenreihen extremere Ereignisse (basierend auf Monatsmittelwerten) in Bezug auf Dauer und Ausprägung enthalten. Die dafür erforderlichen statistisch-mathematischen Analysen sind in der Software SIKOSIMO umgesetzt. Für einen Prognosezeitraum von 100 Jahren (2003 bis 2102) und 100 Realisierungen werden 10.000 Jahre monatlicher Daten auf der Grundlage des IST-Klimas erzeugt. Diese Datenreihen enthalten damit noch keine Klimaprojektionen und spiegeln aktuell auch noch nicht die bereits in den letzten 20 Jahren gemessenen Änderungen des Klimas wider (siehe WHH-Portal, Säule A, WHHP, 2019). Für den Prognosezeitraum werden dem Bedarf das natürliche Dargebot in einer zeitlich kontinuierlichen Bilanz gegenübergestellt und ggf. definierte Bewirtschaftungsoptionen eingesetzt. Darüber hinaus können optional für den Anwender eine Sulfatfrachtbilanz kontinuierlich im gesamten Längsschnitt der Spree berechnet und den Immissionsrichtwerten gegenübergestellt sowie die notwendigen Bewirtschaftungsoptionen ausgelöst werden. Fortlaufend werden im aktuellen Ländermodell insgesamt 166 Ergebnisindikatoren ausgewertet. Damit sind Risikoanalysen der Wasserbereitstellung für Nutzer und Mindestabflüsse, des Betriebs von Talsperren, Speichern und Überleitungen, optional der Überschreitung von Immissionsrichtwerten für Sulfat und von beliebigen anderen Systemgrößen des WBalMo-Ländermodells möglich.

Das WBalMo „Spree-Schwarze Elster“ verknüpft somit simultan alle Einflussfaktoren, wie Witterung, Wasserbedarf, Speicherbewirtschaftung, Sulfatemissionen, mengen- und gütebezogene Bewirtschaftungsregeln usw., lage- und zeitrichtig miteinander. Dies ist insbesondere für Rückkopplungen zwischen Güte- und Mengensteuerung unerlässlich.

Das WBalMo „Spree-Schwarze Elster“ enthält ebenfalls Komponenten, in der Regel reduzierte Modelle, die Wechselwirkungen zwischen Grund- und Oberflächenwasser integrieren. Dazu gehören reduzierte Grundwassermodelle für Tagebaugewässer (WSS Lohsa II, SB Bärwalde, Cottbuser Ostsee, Restlochketten, Bergbaufolgeseen). Im Hinblick auf das Dargebot wird die Abflusswirksamkeit in hydrologischen Teileinzugsgebieten aufgrund der bergbaulichen Grundwasserabsenkung berücksichtigt. Diesbezügliche Kreislaufeffekte sind darüber hinaus durch die Einbeziehung des diffusen Zustroms zu Gewässerabschnitten, der Versickerung aus Gewässern und Tagebauseen sowie der Grubenwassereinleitung im Ländermodell enthalten.





Die Grundlagendaten für die Modellansätze zur Verbindung von Grund- und Oberflächenwasser im Ländermodell beruhen auf den hydrogeologischen Regionalmodellergebnissen der LEAG und LMBV, mit denen eine realistische Abbildung der Interaktion mit den Grundwassermodellen nur stark vereinfacht möglich ist (Eulitz & Kaltfofen, 2015).

Wenn mit dem Modell die in Niedrigwasserzeiten sich aufkonzentrierende Sulfatfracht der Fließgewässer dargestellt und prognostiziert werden soll, ist eine genauere Abbildung der aus dem Grundwasser zu erwartenden Frachten unabdingbar, da sich die Fracht im Niedrigwasserfall zu 100% aus Grundwasser und Einleitungen (Sümpfung, Talsperren-/Speicherzuflüsse) zusammensetzt.

Das WBalMo „Spree-Schwarze Elster“ wird für Gutachten der Länder sowie des aktiven und Sanierungsbergbaus eingesetzt. Dafür werden jeweils Varianten des Ländermodells abgeleitet und Änderungen nach Abschluss der Gutachten mit dem inzwischen weiterentwickelten Ländermodell bei Bedarf und Eignung zusammengeführt.

Die Unternehmen LEAG und LMBV betreiben 11 eigene hydrogeologische Regionalmodelle und weitere Oberflächenwassermodelle sowohl für den noch aktiven als auch den zu sanierenden Bergbau in der Lausitz. Jedes dieser Regionalmodelle ist historisch gewachsen und zweckspezifisch aufgebaut und weiterentwickelt. Die Grundwassermodelle unterscheiden sich in ihrer Diskretisierung und ihrem hydrogeologischen Aufbau voneinander. Verwendet wird in jedem Fall die mittlere langjährige Grundwasserneubildung, die dafür genutzten Datenreihen entsprechen dem Entwicklungsstand der Modelle. So wie im WBalMo „Spree-Schwarze Elster“ reduzierte Modellansätze für die Berücksichtigung der Grundwasserströme verwendet wurden, sind auch in den Regionalmodellen nur vereinfachte Ansätze und Randbedingungen zur Kopplung des Oberflächenwassers integriert. Damit bilden sowohl das Ländermodell als auch die Regionalmodelle zwar den Gesamtwasserhaushalt ab, der Fokus liegt allerdings jeweils entweder auf den Oberflächen- bzw. Grundwasserströmen.

Die laufenden Grundwassermodelle der Unternehmen wurden 2015 im Auftrag der LMBV und LEAG analysiert - Eulitz & Kaltfofen (2015) stellten fest, dass die vorhandenen 11 Regionalmodelle nicht geeignet sind, den Gesamtwasserhaushalt und die Sulfatsituation modellübergreifend in der Lausitz abzubilden, da diese Modelle für andere Zielstellungen entwickelt wurden.

Ein Gesamtmodell für die Bewirtschaftung der Ressource Grundwasser gibt es in der Lausitz bislang nicht. Die existierenden hydrogeologischen Modelle der Bergbauunternehmen (Regionalmodelle) überlappen einander zwar teilweise im Umgriff, nicht aber in ihren Aussagegebieten, zwischen denen Lücken geringer Informationsdichte liegen. Und sie erfassen nicht das gesamte beeinträchtigte Gebiet. Sie sind Eigentum der Bergbauunternehmen und stehen für behördliche Aufgaben nicht zur Verfügung. Darüber hinaus können sie die Anforderungen des Entschließungsantrages zur Wasserwirtschaft in der Lausitz nicht erfüllen. Es besteht daher die Notwendigkeit einer großräumigen, ganzheitlichen Betrachtung im Rahmen der Grundwassermodellierung.

In Fortführung der Analyse der hydrogeologischen Regionalmodelle erteilte das LfULG 2018 den Auftrag, im Rahmen des Projektes VITA-Min (Förderung durch den europäischen Fonds für Regionalentwicklung Sachsen-Tschechien) ein Erstellungskonzept für ein Großraummodell (GRM) Lausitz (wegen möglicher Verwechslungen wird das Modell im weiteren als Komplexmodell (GRM Lausitz) bezeichnet) zu erarbeiten, das die Kopplung aller Wasserhaushaltskomponenten (Boden-Pflanze-Atmosphäre, Oberflächen- und Grundwasser) ermöglicht. Die Studie kam zu dem Schluss, dass die 11 hydrogeologischen Regionalmodelle im aktiven und sanierenden Braunkohlenbergbau der sächsisch-brandenburgischen Lausitz





weiterhin grundlegende Bedeutung für bergbauspezifische geohydraulische Fragestellungen haben. Eine revierübergreifende Transport- und Stofftransportmodellierung, die auf einer gekoppelten Grund-/Oberflächenwasser-Strömungsmodellierung beruhen muss, ist mit den Regionalmodellen nicht möglich. Ebenso kann mit der Betrachtung eines mittleren langjährigen Wasserhaushaltes keine Abschätzung der Folgen von Klimaentwicklungen auf den Wasserhaushalt durchgeführt werden. Auf Grund ihres nicht zueinander konsistenten hydrogeologischen/hydraulischen Aufbaus ist ein Komplexmodell GRM Lausitz nicht durch Zusammenführen der Regionalmodelle möglich. Das Komplexmodell müsste aus den recherchierten und umfangreich zur Verfügung stehenden Daten neu erstellt werden. Eine Testmodellierung hat bestätigt, dass die konzeptionelle Vorgehensweise zur Erstellung eines Komplexmodells technisch und wirtschaftlich umsetzbar ist. Einzelheiten sind dem Projektbericht zu entnehmen (LfULG, 2019a). Die zwischenzeitlich erfolgten bzw. noch laufenden Ertüchtigungen der Regionalmodelle konnten aufgrund der zeitlichen Parallelität der Arbeiten nicht in das Erstellungskonzept einfließen.

Im Erstellungskonzept zum Komplexmodell (GRM Lausitz) wurde festgehalten (GRML, 2020):

- Die Datenbasis für geologische, hydrogeologische und hydrochemische Informationen wird als ausreichend angesehen, um ein GRM Lausitz aufbauen zu können. Der weitere Aufwand zu deren Erschließung, Digitalisierung und länderübergreifenden Verfügbarmachung wird beschrieben.
- Die für die Beschreibung des Pfades Boden-Wasser-Atmosphäre erforderlichen Bodenwasserhaushaltsmodelle für die Berechnung der Grundwasserneubildung als Eingangsgröße für das GRM wurden sowohl für Sachsen als auch für Brandenburg aufgebaut. Hier ist es erforderlich, zeitlich veränderliche Landnutzungen, Bodenarten, offene Wasserflächen (Bergbaufolgeseen) zu ergänzen und damit die Berücksichtigung klimatischer Bedingungen und Veränderungen für Prognosebetrachtungen zu klimatischen Entwicklungen und Extremsituationen unter den spezifischen Bergbau- und Bergbaufolgebedingungen zu ermöglichen.

Zusammenfassend wird festgestellt, dass die Abbildung des Gesamtwasserhaushaltes über das vom Bergbau überprägte Gebiet mit den aktuell verfügbaren Instrumenten nur eingeschränkt möglich ist. Die Abschätzung der Entwicklung von Trockenperioden in Häufigkeit und Dauer sowie hinsichtlich der Aussage, ob es in Zukunft bisher noch nicht erlebte wasserwirtschaftliche Situationen geben wird, ist nicht möglich. Daher werden Analogien für die Beschreibung herangezogen, die aus unterschiedlichen Projekten stammen.

Die **LEAG, die LMBV, die Berg- und Landesämter in Sachsen und Brandenburg sowie der Berliner Senat** haben zahlreiche Studien beauftragt und bieten umfangreiche Informationsportale mit Downloadbereichen für Publikationen auf ihren Webseiten.

Als Einstieg in die Thematik der Braunkohlentagebaue und Sanierung wird das Buch „Braunkohlesanierung - Grundlagen, Geotechnik, Wasserwirtschaft, Brachflächen, Rekultivierung, Vermarktung“ (Drebenstedt & Kuyumcu, 2014) empfohlen.

Ergebnisse des Projektes KliWES (Säulen A, B, C), Wasserhaushaltsportal (WHHP, 2019)

Das Wasserhaushaltsportal Sachsen stellt landesweit Daten einzelner Wasserhaushaltskomponenten für definierte Gewässerteileinzugsgebiete sowohl für den Ist-Zustand (1951 bis 2014) als auch für definierte Zukunftsszenarien (bis 2100) sowie langjährige Durchflusskennwerte für Gewässerabschnitte des sächsischen Wasserlaufverzeichnisses bereit. Die Wasserhaushaltsdaten sind Ergebnisse des Projektes KliWES, welches die Auswirkungen





prognostizierter Klimaänderungen auf den Wasser- und Stoffhaushalt sächsischer Gewässer-einzugsgebiete tageswertbasiert untersucht. Die Durchflusskennwerte wurden in weiteren Projekten auf Basis modellgestützter Regionalisierungsverfahren ermittelt. Die Projekte wurden im Auftrag des Sächsischen Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie von der TU Dresden sowie von der DHI-WASY GmbH realisiert (WHHP, 2019). Da die Daten aus verschiedenen Projekten stammen, haben sie eine unterschiedliche Aktualität. Dies ist bei der Verwendung der Daten zu berücksichtigen

Anpassungsstrategien an den Klimawandel – Analyse der Sensitivität von Wasserhaushaltsgrößen sächsischer Pegel-einzugsgebiete bezüglich des ab 1988 gegenüber dem Referenzzustand von 1961-1987 erhöhten Temperaturniveaus.

Die Studie der TU Dresden und IHM im Auftrag des LfULG beschäftigt sich mit den sächsischen Pegeln, die anthropogen weitgehend unbeeinflusst sind. Gemessene Abflussdaten wurden in Verbindung mit dem korrigierten Gebietsniederschlag ausgewertet und die Auswirkungen der seit 1988 gegenüber 1961-1987 veränderten Temperaturen auf das oberirdische Wasserdargebot abflusskomponenten- und regional-spezifisch analysiert. Die Abfolge niederschlagsreicher sowie sehr warmer und damit verdunstungsstimulierter Jahre in der jüngsten Vergangenheit wurde unter Einbeziehung eines breiten Spektrums des Zustandes des Gebietswasserhaushaltes im Rahmen des gegenüber 1961-1987 veränderten Klimas analysiert. Die Aktualisierung und Ergänzung der Ergebnisse im Wasserhaushaltsportal sowie Publikationen liefern dem Nutzer detaillierte Informationen zur Auswirkung der beobachteten klimatischen Veränderung und Variabilität auf das Wasserdargebot der untersuchten sächsischen Pegel-einzugsgebiete. Die Daten sind unter Säule A KliWES im Internet veröffentlicht (WHHP, 2019).

Projekt NEYMO (2013) und NEYMO-NW (2021)

Im Projekt NEYMO wurden 2007-2013 für das Einzugsgebiet der Lausitzer Neiße auf der Grundlage einer von Sachsen und Polen länderübergreifend konsistent hergestellten Datenbasis die heutigen und zukünftigen klimatischen und hydrologischen Verhältnisse analysiert und modelliert, um ein nachhaltiges Management der Wasserressourcen im stark bergbaubeeinflussten Einzugsgebiet zu ermöglichen. Im Projekt NEYMO-NW wurden die vorhandenen Modelle qualifiziert - vor dem Hintergrund aktueller Dürreereignisse und Klimaszenarien wurden die Auswirkungen von Niedrigwasser auf Ökosysteme und die wasserwirtschaftlichen Nutzer im Einzugsgebiet untersucht, sowie grenzüberschreitende Handlungsempfehlungen abgeleitet (NEYMO-NW, 2021) Die Finanzierung der Projekte erfolgte über den Europäischen Fonds für Regionalentwicklung (EFRE) im Rahmen der operationellen Ziel-3-Programme zur Förderung der grenzübergreifenden Zusammenarbeit SN-PL 2007-2013 und SN-PL 2014-2020.

Ausarbeitungen der länderübergreifenden AG „Flussgebietsbewirtschaftung“

Hierzu zählen der länderübergreifende Bericht über das Niedrigwassermanagement 2018 „Länderübergreifende Auswertung der Niedrigwasser 2018 in den Flussgebieten Schwarze Elster, Spree und Lausitzer Neiße“ (AG FGB, 2019), veröffentlicht auf der MLUK-Website (MLUK, 2021a), sowie zahlreiche unveröffentlichte Protokolle.

Unterlagen der Deutsch-Polnischen Grenzgewässerkommission (unveröffentlicht)

Die Ergebnisse der in der Deutsch-Polnischen Grenzgewässerkommission verhandelten Wasserbewirtschaftungsfragen, insbesondere zur Überleitung von Weißwasser in das Spree-einzugsgebiet, werden im Abschnitt 3.5 beschrieben.





Studien der Brandenburgisch-Technischen Universität Cottbus

Die Erfordernisse der Wassermengen- und Wasserbeschaffenheitsbewirtschaftung und Auswirkungen klimatischer Veränderungen werden seit Jahren in zahlreichen Studien, Veröffentlichungen in Fachzeitschriften und Präsentationen von Prof. Dr. Uwe Grünewald beschrieben und zur Diskussion gestellt (z. B. Grünewald et al., 2004, 2012a,b, 2014, 2019; BTU & IWB, 2012).

Studien des Instituts für Wasser und Boden (IWB) Dr. Uhlmann

Das IWB Dr. Uhlmann hat im Auftrag der LMBV, der LEAG bzw. Vattenfall, der Berg- und Landesämter in Brandenburg und Sachsen sowie im Rahmen von Forschungsvorhaben zahlreiche Studien zum Monitoring der Wasserbeschaffenheit in Tagebauseen der Lausitz und zur Wasserbeschaffenheitsbewirtschaftung erarbeitet (z. B. Uhlmann et al., 2001; IWB, 2013, 2015, 2016, 2020; IWB & iGR, 2018, 2020).

Studien der TU Bergakademie Freiberg, des Grundwasserforschungsinstituts (GFI) (z. B. GFI, 2010, 2018) und des **Dresdner Grundwasserforschungszentrums (DGFZ)** (z. B. DGFZ, 2015), des **Ingenieurbüros DHI-WASY** (z. B. DHI, 2020; DHI WASY, 2017, 2019)

Studien aus dem Raum Brandenburg-Berlin

BWB (2019) Sulfatbelastung der Spree - Szenarioanalyse für das Wasserwerk Friedrichshagen. Berliner Wasserbetriebe. Fazit: Bei einer Konzentration in der Müggelspree in Höhe von 300 mg/l wäre ohne besondere Bewirtschaftungsmaßnahmen im Wasserwerk Friedrichshagen die Überschreitung des Trinkwassergrenzwertes nicht mehr auszuschließen.

Janneck et al. (2009) Durchführung spezieller Untersuchungen bezüglich Sulfat im brandenburgischen Einzugsgebiet der Spree unter den Bedingungen des Sanierungs- und des aktiven Bergbaus. Fazit: Verringerung der Sulfatkonzentration in der Spree im Falle einer Überleitung von Oderwasser

Gädeke et al. (2017) Trend analysis for integrated regional climate change impact assessments in the Lusatian river catchments (north-eastern Germany): Stabiler Trend zur Temperaturerhöhung im EZG Spree/Schwarze Elster in Beobachtungsdaten und Klimaszenarien, keine signifikanten Änderungen im Niederschlag, große Unterschiede zwischen Klimamodellen

Koch et al. (2006, 2014) Anpassungsoptionen inkl. Elbe- und Oderwasserüberleitung; Kühlwasserbedarf der Kraftwerke in Berlin kann unter Klimawandelbedingungen nicht gedeckt werden mit Konsequenzen für die Stromversorgung

MLUK (2021b) Landesniedrigwasserkonzept Brandenburg

Müller et al. (2003) Auswirkungen der Oderwasserüberleitung auf die Wasserbewirtschaftung im Berliner Gewässersystem: Aussagen zur Wassermenge und Qualität in Berlin in Hinblick auf Effekte der Oderwasserüberleitung; Einhaltung der Mindestabflüsse in Berlin wahrscheinlicher im Falle einer Oderwasserüberleitung

Pohle et al. (2016) Analyse von Wassermenge und Wasserbeschaffenheit für Klima- und Bewirtschaftungsszenarien, Aufbau und Nutzung einer Modellkaskade für das Spreeeinzugsgebiet: starker Rückgang natürlicher und bewirtschafteter Abflüsse in Klimaszenarien; Einhaltung des Mindestabflusses am Pegel Große Tränke unwahrscheinlich; verschärfte Wasserqualitätsprobleme unter Klimawandel, da es im Vergleich zu Varianten ohne Klimawandel zu einer Erhöhung des Sumpfungswasseranteils kommt; Analyse Anpassungsoption





Elbewasserüberleitung in die Kleine Spree und Schwarze Elster – wirksam hinsichtlich Aufhöhung Wassermenge und Verminderung Sulfatkonzentrationen

Dietrich et al. (2012, 2014) Anpassung der Wasserbewirtschaftung im Spreewald an den Klimawandel

Laufende Studien

Das Umweltbundesamt hat 2020 ein Projekt vergeben zur „**Begleitung des Braunkohleausstieges in der Lausitz unter besonderer Beachtung des Wasserhaushaltes**“, Laufzeit 01.04.2020 bis 31.03.2022. Projektleiter ist Dr. Thomas Koch (GMB GmbH), Projektpartner sind die DHI WASY GmbH, das Institut für Wasser und Boden Dr. Uhlmann, das Gerstgraser Ingenieurbüro für Renaturierung, die TU Bergakademie Freiberg (LS Hydrogeologie und Hydrochemie) und die BTU Cottbus-Senftenberg (LS Wassertechnik & Siedlungswasserbau).

Die LMBV hat im April 2021 eine Studie zur „**Evaluation der berg- und wasserrechtlichen Bergbausanierung der LMBV unter Berücksichtigung von Kohleausstieg und Klimawandel in Sachsen und Brandenburg**“ vergeben, Fertigstellung im Jahr 2021.

Hervorzuheben sind die Aktivitäten des **Wassercluster Lausitz e.V.**, der über Veröffentlichungen und Ringvorlesungen an der BTU Cottbus-Senftenberg Wissensvermittlung betreibt und am 12.03.2021 die 1. Wasserkonferenz Lausitz „Bergbau-Wasser-Klima“ in Cottbus organisiert hat (WCL, 2021).

Anmerkung

Nicht in diese Studie eingeflossen sind Pressemitteilungen und Berichte der Umweltverbände, wie der Grünen Liga (Grüne Liga, 2021), des BUND, der Regionalgruppen des NABU sowie von Bürgerinitiativen, wie z. B. dem Aktionsbündnis Klare Spree e.V., die wichtige Akteure im gesamtgesellschaftlichen Disput sind und mitwirken bei der öffentlichen Verbreitung und kritischen Bewertung der oben angeführten Studien (z. B. AKS, 2021).

2.2 BESCHREIBUNG DES WASSERHAUSHALTES UND DER WASSERBEWIRTSCHAFTUNG

Die Beschreibung der Einzugsgebiete Schwarze Elster, Spree und Lausitzer Neiße (Abb. 5) wurde der Studie „Auswertung Niedrigwasserereignisses 2018 Schwarze Elster, Spree und Lausitzer Neiße“ der AG „Flussgebietsbewirtschaftung“ (AG FGB, 2019) entnommen.

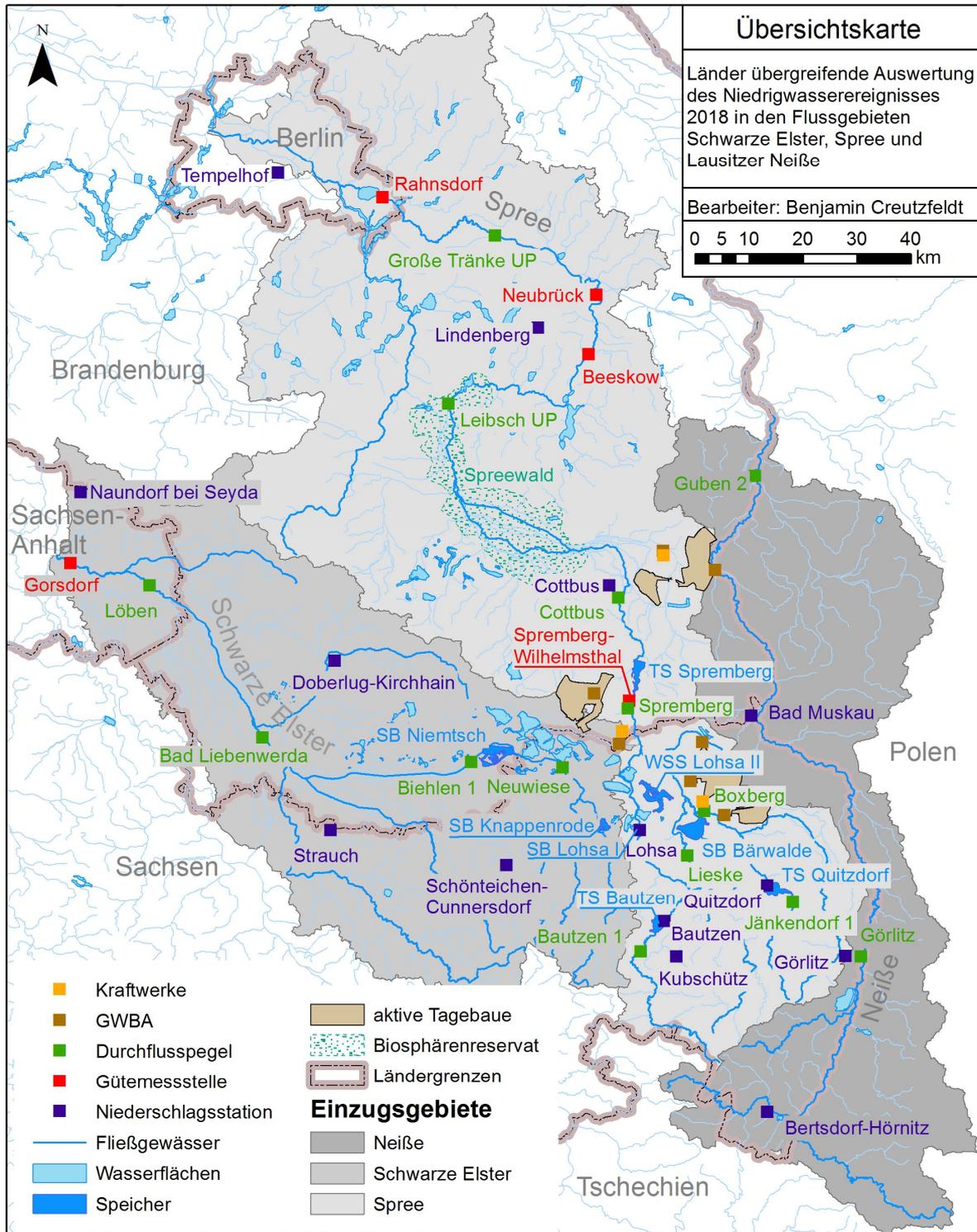


Abbildung 5: Flusseinzugsgebiete der Spree und der Schwarzen Elster (IWB & iGR, 2020)



Die Schwarze Elster entspringt am Hochstein oberhalb der Ortslage Kindisch (Oberlausitz), passiert nach 63 km die sächsisch-brandenburgische Grenze und mündet bei Listafehrda in Sachsen-Anhalt in die Elbe. Als rechter Nebenfluss der Elbe durchfließt die Schwarze Elster die Bundesländer Sachsen, Brandenburg und Sachsen-Anhalt und hat ein Gesamteinzugsgebiet von 5.489 km². Die Gesamtlänge beträgt 179 km. Zum Einzugsgebiet der Schwarzen Elster gehören zwei nennenswerte linksseitige Nebenflüsse, die Pulsnitz mit einer nördlichen und die Große Röder mit einer nordwestlichen Fließrichtung. Aufgrund von Veränderungen der Landschaft durch den Braunkohletagebau wurde die Schwarze Elster insbesondere im Gebiet Hoyerswerda - Senftenberg mehrmals umverlegt und erhielt somit teilweise ein neues Flussbett. Auf sächsischem Territorium ist das Hoyerswerdaer Schwarzwasser mit ca. 270 km² Einzugsgebiet ein bedeutender Nebenfluss der Schwarzen Elster. Über das Hoyerswerdaer Schwarzwasser können Abgaben des Speichers Knappenrode in der Schwarzen Elster in begrenztem Maß zur Niedrigwasseraufhöhung dienen. Dieses Gebiet gehört zu den ältesten Revieren der Braunkohleförderung in der Lausitz und ist durch zahlreiche Bergbaufolgeseen und deren Bewirtschaftung geprägt.

Die Spree mit einer Länge von knapp 400 km entspringt im Oberlausitzer Bergland nahe der Grenze zur Tschechischen Republik aus drei Quellen: in Ebersbach-Spreedorf, in Neugersdorf und am Kottmar. Sie fließt durch die Bundesländer Sachsen, Brandenburg und Berlin. Ihr Gesamteinzugsgebiet umfasst 10.100 km². Die Spree wird in Ober-, Mittel- und Unterlauf eingeteilt. In ihrem Oberlauf hat sie anfangs noch den Charakter eines Mittelgebirgsflusses. Ab der Talsperre Bautzen (Mittellauf) legt die Spree den Hauptteil ihrer Laufstrecke als typischer Flachlandfluss zurück. Sie bildet im Lausitzer Tiefland das erste Binnendelta. Das heißt, dass die Kleine Spree nach Westen abzweigt und etwa 30 km flussabwärts bei Spreewitz wieder in die „große“ Spree mündet. Nach Abzweig der Kleinen Spree mündet das Löbauer Wasser in die Spree. Bei Sprey mündet als einer der größten rechten Nebenflüsse der Schwarze Schöps, welcher den Weißen Schöps als größten Zufluss hat, in die Spree. Nach Erreichen der brandenburgischen Landesgrenze erreicht die Spree die Stadt Spremberg und bildet im weiteren Verlauf ein zweites Binnendelta aus, den Spreewald. Die linksseitig, unterhalb des großen Müggelsees in Berlin einmündende Dahme bildet mit einem Einzugsgebiet von 2.093 km² den größten Nebenwasserlauf der Spree. Weiter Richtung Norden mündet die Spree in Berlin in die Havel. Das Abflussverhalten der Spree und ihrer Nebenflüsse wird durch die Steuerung von Talsperren und Speichern, durch Überleitungen, Grubenwassereinleitungen des aktiven Braunkohlebergbaus sowie die Flutung von Bergbaufolgeseen erheblich beeinflusst.

Die Lausitzer Neiße ist ein linker Nebenfluss der Oder und entspringt im Isergebirge in der Nähe des Ortes Bedřichov auf tschechischem Gebiet in einer Höhe von 774 mNN. Das 4.403 km² große Einzugsgebiet der Lausitzer Neiße liegt zu 16% auf dem Territorium der Tschechischen Republik, zu 51 % auf dem der Republik Polen und zu 33% auf dem der Bundesrepublik Deutschland. Die Lausitzer Neiße ist 252 km lang. Nach 55 km erreicht sie bei Hartau im Lausitzer Gebirge die deutsche Grenze. In ihrem weiteren Verlauf nach Norden ist die Lausitzer Neiße der Grenzfluss zwischen Deutschland und Polen. Hinter dem Dorf Köbeln verlässt die Lausitzer Neiße die Oberlausitz, nachdem sie 125 km lang die Ostgrenze Sachsens bildet und tritt auf deutscher Seite in Brandenburg ein. Sie fließt vorbei an Forst (Lausitz) und Guben und mündet schließlich rund 15 km vor Eisenhüttenstadt bei Ratzdorf in die Oder. Von polnischer Seite sind die bedeutendsten Zuflüsse die Miedzianka, die Witka (auf tschechischem Gebiet Smědá), die Skroda, die Wodra und die Lubsza. Die wichtigsten linksseitigen Zuflüsse auf sächsischem Gebiet sind die Mandau und die Pließnitz, auf Brandenburger Gebiet der Malxe-Neiße-Kanal und das Schwarze Fließ. Zwischen der Mündung der Pließnitz und der Lausitzer Neiße südlich von Görlitz liegt der Bergbaufolgesee Berzdorf,





auf polnischer Seite zwischen der Mündung der Miedzianka und Witka der aktive Tagebau Turów, für den aktuell eine Erweiterung beantragt ist.

Die mittlere Jahressumme (hydrologisches Jahr = 01.11.-31.10. des Folgejahres) des Niederschlages für die 30-jährige Reihe 1981-2010 beträgt im gesamten Einzugsgebiet der Schwarzen Elster 624 mm und im Einzugsgebiet der Spree 601 mm. Für das Flussgebiet der Lausitzer Neiße bis zur sächsischen-brandenburgischen Landesgrenze wurde basierend auf der Jahresreihe 1971-2010 ein mittlerer Jahresniederschlag von 890,8 mm/a berechnet (NEYMO, 2015).

Um zu untersuchen, inwieweit die Temperaturerhöhungen der letzten Jahre bereits einen erkennbaren Einfluss auf den Wasserhaushalt haben, wurde durch das LfULG eine Studie zur Ermittlung der Sensitivität der in Sachsen bereits im Projekt KliWES ermittelten, anthropogen weitgehend unbeeinflussten Pegel Einzugsgebiete (KliWES, Säule A) in Auftrag gegeben. Ausgewertet wurden die Jahre 1961 bis 2014. Für diese Jahre lagen geprüfte Jahresreihen des Durchflusses an Pegeln vor. Im Rahmen von Voruntersuchungen wurde durch das LfULG ermittelt, dass im Zeitraum ab 1988 von einem statistisch signifikant erkennbar höheren Temperaturniveau gegenüber dem Zeitraum bis 1987 ausgegangen werden muss. Damit konnten zwei Zeiträume von 28 bzw. 27 Jahren (1961-1987 und 1988-2014, nachfolgend mit t1 und t2 bezeichnet) hinsichtlich statistisch signifikanter Unterschiede verglichen werden. Die Auswertung der Daten erfolgte über Ganglinien, Häufigkeitsanalysen und Verteilungsfunktionen. Alle Auswertungen wurden für hydrologische Jahre (Nov.-Okt.), für Winterhalbjahre (Nov.-April), für Sommerhalbjahre (Mai-Okt.), die erste Vegetationsperiode VP1 (April-Juni) und die zweite Vegetationsperiode VP2 (Juli-Sept.) durchgeführt. Für jedes der 143 Einzugsgebiete wurde ein Steckbrief generiert, der die Ergebnisse der Statistik dokumentiert und verbal erläutert. Die Steckbriefe, Dauerlinien, Ganglinien und Histogramme sind im Wasserhaushaltsportal, Säule A, verfügbar (WHHP, 2019). Abb. 6 zeigt den Zugang zu den Steckbriefen beispielhaft für den Pegel Schönau am Klosterwasser unter dem Begriff „mittlere Bilanz“.

In allen Steckbriefen wird festgestellt, dass das Wasserangebot (Niederschlag) im Zeitraum 1988-2014 (t2) im Mittel ansteigt. Das ist unter anderem auch der Tatsache geschuldet, dass es in diesem Zeitraum mindestens zwei ausgeprägte Hochwassersituationen gab. Winter und Sommer sind gleichermaßen davon betroffen, der Sommer nicht signifikant deutlicher. In der ersten Vegetationsperiode (VP1) hingegen sinkt das Wasserangebot. Die Grundwasserneubildung sinkt erheblich. Der Direktabfluss ändert sich im Mittel nur wenig. In VP1 ist die prozentuale Abnahme des Direktabflusses am stärksten. Die Verdunstung im Gebiet steigt erheblich an. Während im Winter nur geringe Änderungen festzustellen sind, nimmt die Verdunstung im Sommer deutlich zu. Trotz trockenerer Verhältnisse reicht das Wasserdargebot in VP1 aus, um dem durch höhere Temperaturen gestiegenen Verdunstungsanspruch der Atmosphäre gerecht zu werden. Die Änderungen von Wasserangebot und Verdunstung führen zu einer verringerten Abflussbildung je Niederschlagsereignis, vor allem im Sommer und in VP1.

Die Statistiken belegen, dass zur Zeit der Erstellung der Braunkohlen- und Sanierungsrahmenpläne bis 2005 von einem höheren Wasserdargebot in den 3 Einzugsgebieten ausgegangen werden musste (RPVO, 2010). Die seinerzeit bereits als angespannt bezeichnete Dargebotssituation hat sich im Zeitraum 1988-2018 weiter verschärft.





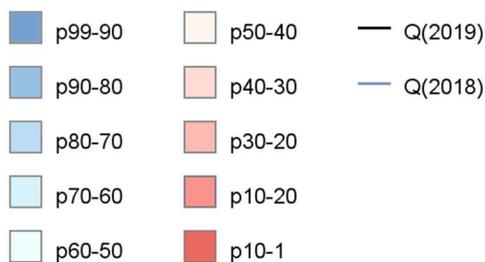
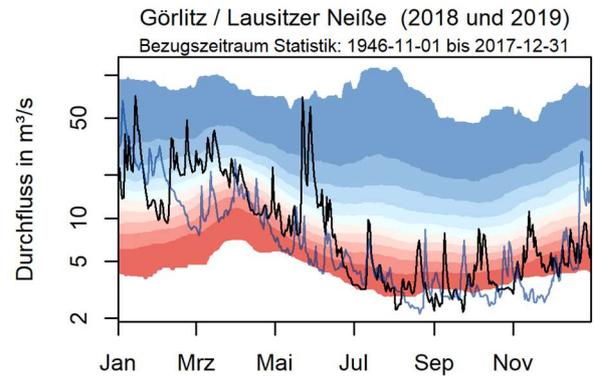
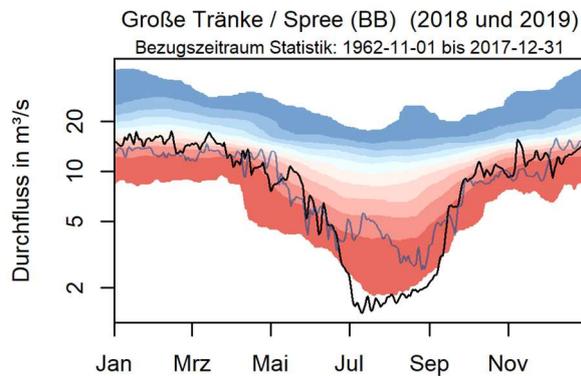
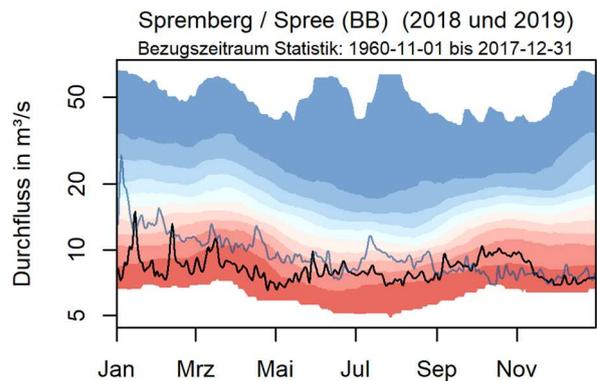
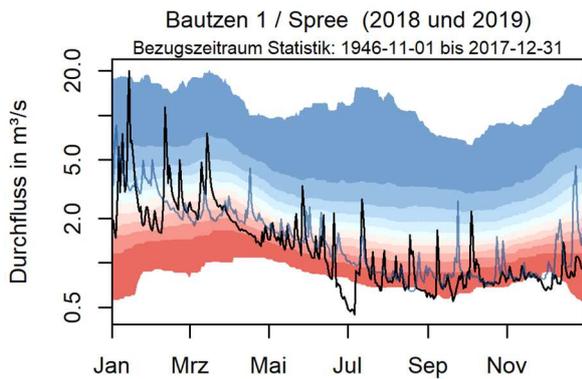
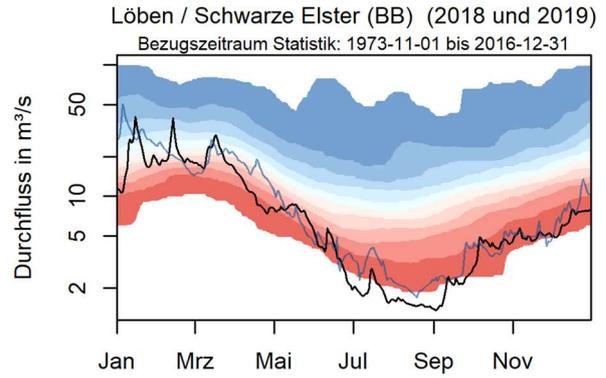
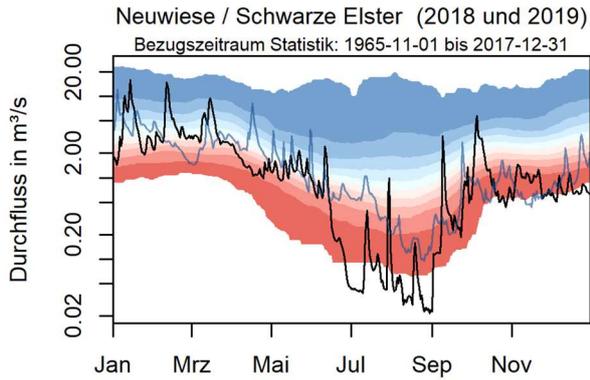
Gebietscharakteristik		Monatsmittel in mm/Monat											Größen
Pegelname: Schönau Untersuchungszeitraum: 11/1954-12/2005 Gewässerkennzahl: 5381291 Fläche: 105 km ² Speicherkonstanten der Grundwasserspeicher: schnell (CG1) 11 d schnell (CG2) 450 d Speichergrenzwert (SG1Grenz) : 4 mm hydrogeologische Einheit: Lockergestein		Monat	p	RG2	RG1	RD	Q	QG2	QG1	QD	DEF	REST	P - Gebietsmittel des korrigierten Niederschlags/ Schneeschmelze RG1 - Zufluss zum Speicher der schnelleren unterirdischen Abflusskomponente RG2 - Zufluss zum Speicher der langsamsten unterirdischen Abflusskomponente RD - Zufluss zum Speicher der schnellen Abflusskomponenten QG1 - schnellere unterirdische Abflusskomponente QG2 - langsamste unterirdische Abflusskomponente QD - schnelle Abflusskomponenten DEF - Defizit, das entsteht, wenn auf Grund der Separation aus den Speichern mehr Abfluss modelliert wird als tatsächlich gemessen wird, entsteht z. B. durch Zehrung REST - verbleibender verdunstungswirksamer Anteil P- RG1-RG2-RD, der nicht abflusswirksam wird
1	57.3	8	7.2	2.8	16.2	5.6	7.7	2.8	0	39.2			
%	100	14	12.5	5	100	35	47.4	17.7	0	68.5			
2	47.4	6.8	6.2	2.4	14.5	5.3	6.7	2.4	0	31.9			
%	100	14.5	13.1	5.1	100	36.7	46.6	16.6	0	67.4			
3	57.9	5.3	8.6	3.6	18.1	5.9	8.5	3.6	0	40.4			
%	100	9.1	14.9	6.3	100	32.7	47.2	20.2	0	69.7			
4	56.3	2.3	4.4	2.1	13.2	5.6	5.5	2.1	0	47.5			
%	100	4	7.9	3.7	100	42.1	42	15.9	0	84.3			
5	65.5	1.3	2.7	2.2	10.9	5.5	3.2	2.2	0	59.2			
%	100	2	4.2	3.3	100	50.3	29.5	20.1	0	90.5			
6	72.2	2.1	1.8	1.5	8.7	5	2.2	1.5	0	66.9			
%	100	2.9	2.5	2	100	57.7	25.7	16.8	0	92.6			
7	83.7	4.2	2.5	2.2	9.7	5	2.4	2.2	0	74.7			
%	100	5.1	3	2.7	100	52.2	24.7	23.1	0	89.2			
8	77.5	6.5	2.5	1.9	9.4	5.1	2.4	1.9	0	65.5			
%	100	8.5	3.3	2.5	100	54.3	25.3	20.4	0	85.8			
9	56.4	5.5	4.1	1.5	10	5	3.5	1.5	0	45.3			
%	100	9.8	7.3	2.6	100	50.1	35.3	14.6	0	80.3			
10	51.2	6.2	5.5	1.5	11.6	5.2	4.9	1.5	0	38.1			
%	100	12.1	10.7	2.9	100	45	42.4	12.7	0	74.4			
11	57.5	6.3	6	1.2	12.2	5.2	5.8	1.2	0	44			
%	100	11	10.4	2.1	100	42.7	47.5	9.8	100	76.6			
12	68.4	9	8.6	2.9	15.9	5.5	7.4	2.9	0	47.7			
%	100	13.2	12.6	4.3	100	35	46.5	18.5	100	69.8			

Abbildung 6: Steckbrief-Beispiel Pegel Schönau / Klosterwasser, Einzugsgebiet Schwarze Elster (WHHP, 2019)

Im Juli 2019 wurden während der Trockenperiode unter Federführung des Brandenburgischen Landesamtes für Umwelt (LfU) und unter Mitwirkung der Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft (BfUL) und der Landestalsperrenverwaltung Sachsen (LTV) Abflussmessungen durchgeführt, um die Verdunstungsverluste im Spreewald zu ermitteln. Die Untersuchungen zeigen, dass der Spreewald mit seinen zahlreichen Fließen und der Bewirtschaftung in extremen Trockenjahren Verdunstungsverluste aufweist, die das Dargebot der Spree um bis zu 6,7 m³/s verringerten. Im Bericht „Auswertung Niedrigwasser 2018 Schwarze Elster, Spree und Lausitzer Neiße“ der AG FGB wurde statistisch belegt, dass im Jahr 2018 (extremes Trockenjahr) teilweise die Grenzen der bisher gemessenen Durchflüsse unterschritten wurden (AG FGB, 2019).

Abb. 7 zeigt die Durchflüsse in den Jahren 2018 und 2019 an ausgewählten Pegeln in der Schwarzen Elster, der Spree und der Lausitzer Neiße. Bei der Interpretation der Ergebnisse muss berücksichtigt werden, dass es an einigen Pegeln in Sommerperioden und insbesondere in den extremen Niedrigwasserperioden durch die Bewirtschaftung zu überprägten und damit höheren Abflüssen im Verhältnis zum natürlichen Dargebot kam.

Dem Trockenjahr 2018 folgten mit 2019 und 2020 zwei weitere Trockenjahre. Allein daraus ist noch kein Klimawandelbedingter Trend ableitbar. Gemäß langfristigen Betrachtungen und sogenannten Klimaprojektionen für längere Zeiträume ist jedoch mit häufigeren Extremereignissen (REKIS, 2020) und einer deutlichen Abnahme der Grundwasserneubildung (WHHP, 2019) zu rechnen.



© LHWZ SN und LfU BB (Daten) und WSL-CH (R-Skript)
Aktuelle Daten (2019/18) sind ungeprüfte Rohdaten!

Abbildung 7: Tägliche mittlere Durchflüsse 2018 und 2019 für ausgewählte Pegel an der Schwarzen Elster, der Spree und der Lausitzer Neiße im Vergleich zur mehrjährigen Reihe ab Beobachtungsbeginn als Perzentil dargestellt (AG FGB, 2020)

Im Einzugsgebiet der Spree, Schwarze Elster und Lausitzer Neiße wurden bereits verschiedene Untersuchungen mit projizierten Klimadaten durchgeführt.





Die Vergleiche mit den Ergebnissen von KliWES, in denen als Input die Klimadaten des WEREX-VI-Ensembles (inkl. tschechischer und polnischer Daten für EZG Lausitzer Neiße) verwendet wurden, zeigen gravierende Unterschiede zu den Ergebnissen der Untersuchungen in GLOWA ELBE (2016) und INKA BB (2014). Diese Unterschiede resultieren aus der Weiterentwicklung der Klimaszenarien der letzten Jahre sowie aus unterschiedlichen Verfahren zur Erstellung der Szenarien (u.a. STAR, WETTREG). Die Einbeziehung von Beobachtungsdaten bis einschl. 31.12.2020, insbesondere der Dekade 2011-2020, ergab, dass für die klimatischen Bedingungen zum Ende des 21. Jahrhunderts die Projektion RCP2.6 verwendet werden kann, da in den Szenarien die real gemessenen Daten wiedergespiegelt werden.

Für die zukünftige Fortschreibung der Wasserhaushaltsmodellierung wird die Nutzung eines Ensembles aus mehreren statistischen und mehreren dynamischen Modellen unter Annahme von RCP-Szenarien (CMIP5-Datengeneration) empfohlen, um den wissenschaftlichen Fortschritt bei den Modellen und Re-Analyse-Daten einzubeziehen. Dies ist auch der Erkenntnis geschuldet, dass die Modelle bezüglich der Temperatur oft der Realität hinterherhinken, was eine Nachführung erforderlich macht.

Beispielhaft für den zusätzlichen Einfluss des Klimawandels auf den Wasserhaushalt wurde für die betrachteten Einzugsgebiete für unterschiedliche Klimaprojektionen eine Bandbreite der möglichen Entwicklungen im Wasserhaushalt dargestellt. Die folgenden Auswertungen entstammen verschiedenen Projekten, daher werden auch unterschiedliche Bezugszeiträume und Klimaprojektionen benannt. Alle Untersuchungen weisen auf ein ähnliches Trendverhalten hin. Für die Lausitzer Neiße (sächsisches und polnisches Einzugsgebiet) wurden solche Untersuchungen im Projekt NEYMO (2015) durchgeführt. Die Ergebnisse sind auf der Website des LfULG verfügbar (NEYMO, 2015). Die Abb. 8-12 zeigen beispielhaft die Entwicklung ausgewählter Bilanzgrößen für das Einzugsgebiet der Lausitzer Neiße.

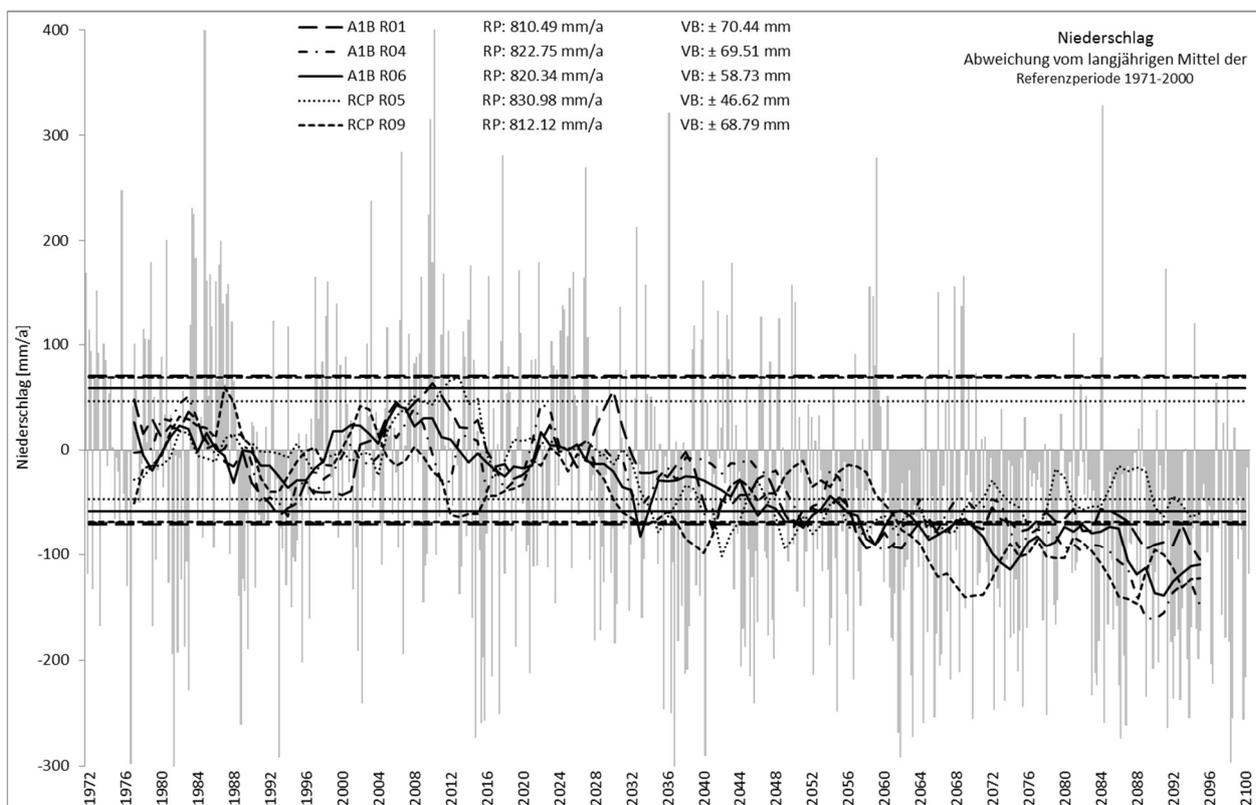


Abbildung 8: Gebietsniederschlag P - Abweichung vom langjährigen Mittel der Referenzperiode 1971-2000, Modellgebiet Lausitzer Neiße (NEYMO, 2015)

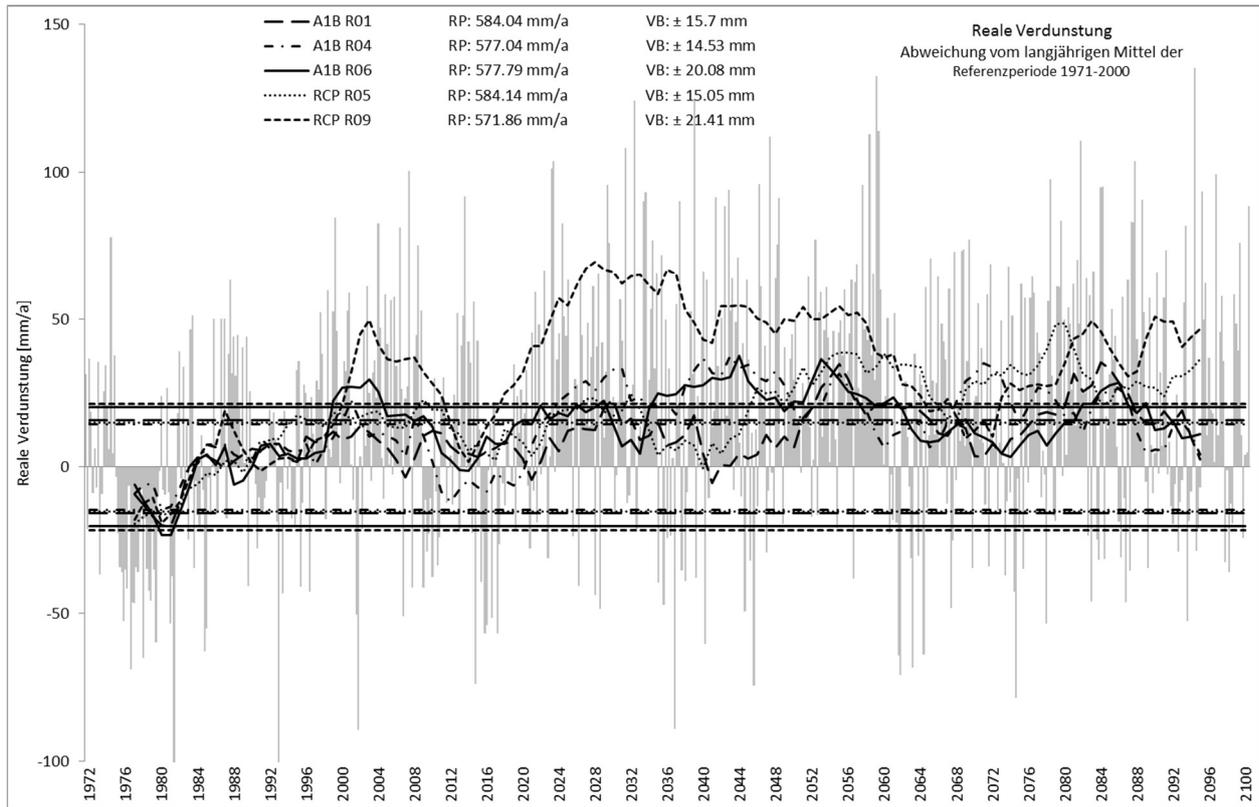


Abbildung 9: Reale Verdunstung - Abweichung vom langjährigen Mittel der Referenzperiode 1971-2000, Modellgebiet Lausitzer Neiße (NEYMO, 2015)

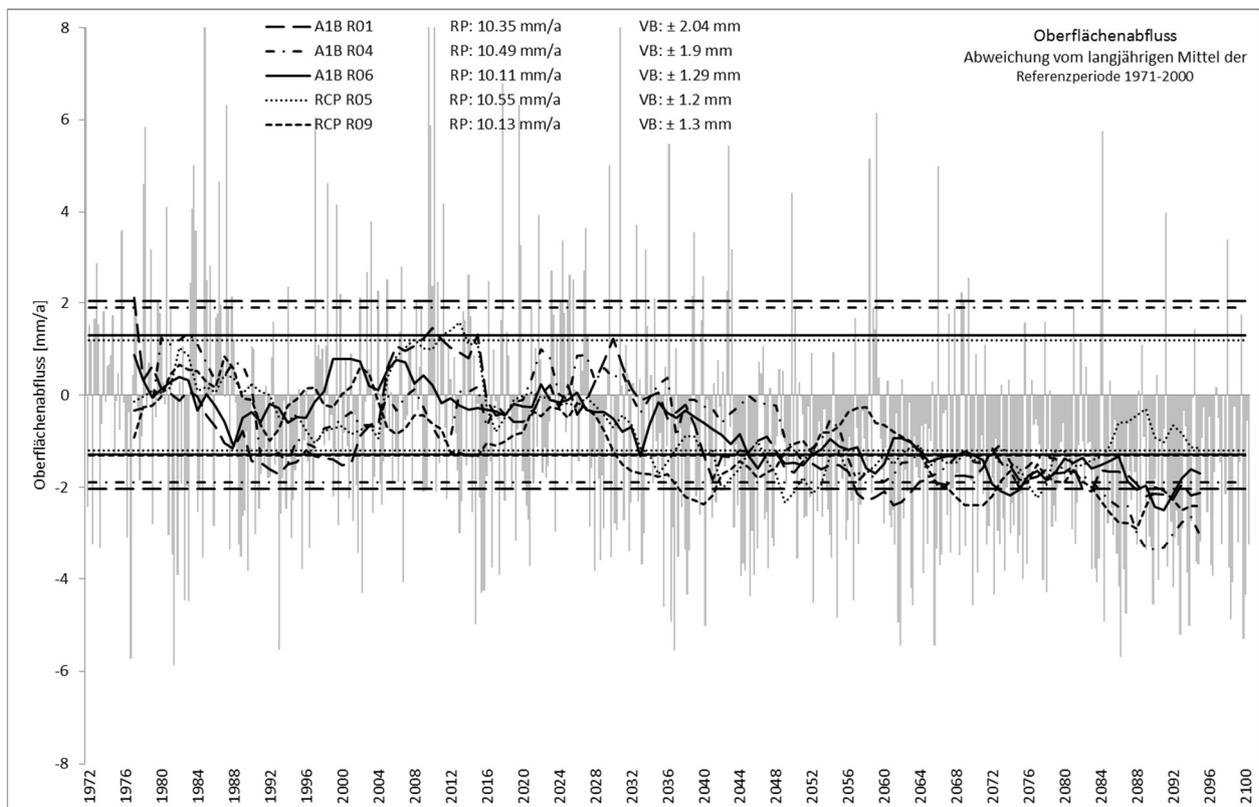


Abbildung 10: Oberflächenabfluss - Abweichung vom langjährigen Mittel der Referenzperiode 1971-2000, Modellgebiet Lausitzer Neiße (NEYMO, 2015)



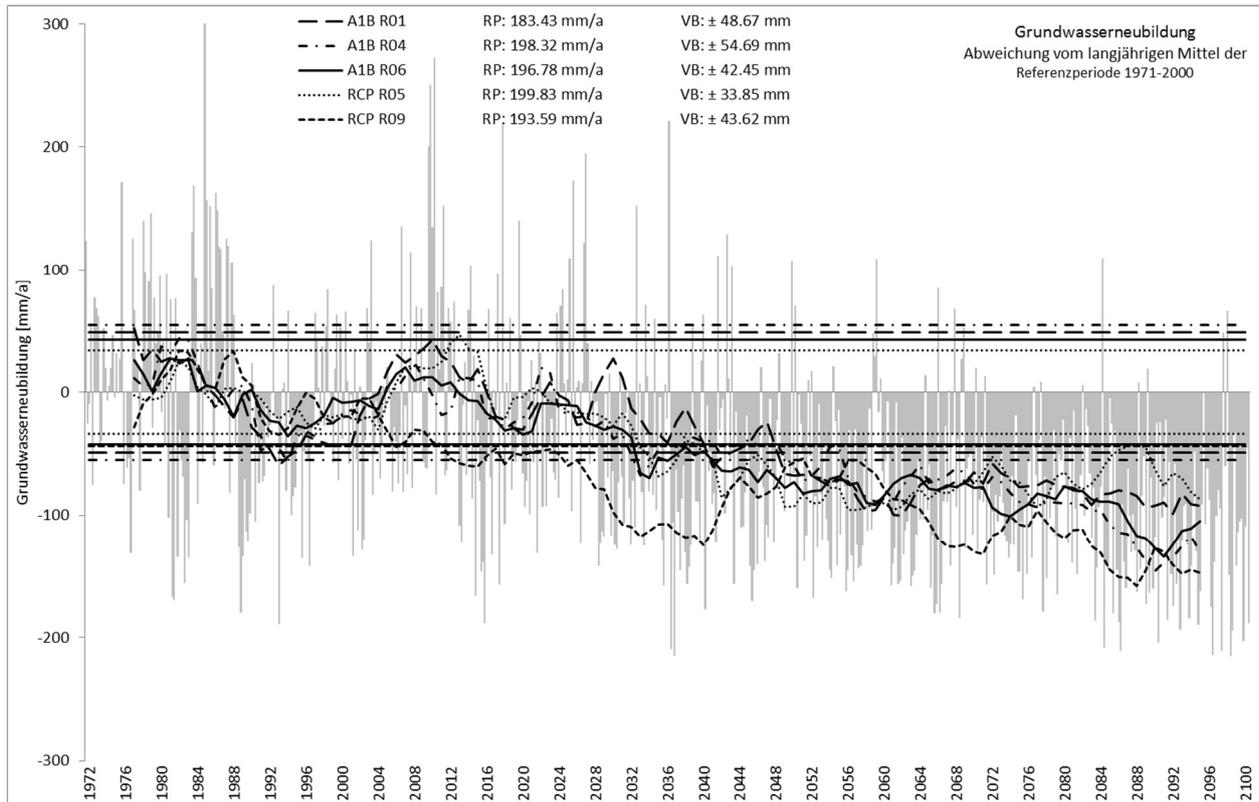


Abbildung 11: Grundwasserneubildung - Abweichung vom langjährigen Mittel der Referenzperiode 1971-2000, Modellgebiet Lausitzer Neiße (NEYMO, 2015)

Nach erfolgreicher Kalibrierung und Validierung des Modells ArcEGMO an mehreren Pegeln wurde das Modell im Folgeprojekt NEYMO-NW (2021) mit besonderem Augenmerk auf Niedrigwasser und unter Verwendung von 40 Klimasimulationen, welche den Einfluss von vier verschiedenen Emissionsszenarien (RCP8.5, A1B, RCP4.5 und RCP2.6) abbilden, erneut gerechnet. Die Ergebnisse zeigen, dass eine mittlere Abnahme des MQ von 9 – 43% (je nach Emissionsszenario) zum Ende des Jahrhunderts sehr wahrscheinlich ist.

Die Abb. 12 zeigt die Entwicklung des mittleren Niedrigwasserabflusses am Pegel Podrosche 2. Die Auswertung des mutmaßlich wahrscheinlichsten Klimaszenarios RCP8.5. ergibt einen zukünftig deutlichen Rückgang des Wasserdargebotes, insbesondere in Niedrigwasserzeiten.

Für jede der Klimaprojektionen sind etwas andere Wirkungen auf den Wasserhaushalt zu verzeichnen. Grundsätzlich sind alle Klimaprojektionen mit Unsicherheiten behaftet. Diese Unsicherheiten resultieren aus der Abbildung klimarelevanter Prozesse in Modellen und Annahmen (Szenarien) über eine künftige sozioökonomische Entwicklung. Zur Kompensation der Unsicherheiten werden in der Regel Klimaprojektions-Ensembles verwendet, aus denen Bandbreiten für eine zukünftig mögliche Klimaentwicklung resultieren (Entwicklungskorridor), was konkrete Klimafolgenbetrachtungen erschwert. Die bisher aus dem Wasserhaushaltsportal, Säule B, durchgeführten wasserwirtschaftlichen Auswertungen konnten aufgrund von Ressourcenknappheit nur für ein Szenario für das Gesamtgebiet der Spree/Schwarze Elster durchgeführt werden (Tab. 3 und Abb. 13) und zeigen daher nicht die gesamte Bandbreite möglicher Entwicklungen. Die Ableitung von Schlussfolgerungen ist hier beispielhaft und im Sinne einer Tendenz zu verstehen. In den Projekten NEYMO (2015), siehe Abb. 14, und NEYMO-NW (2021) wurden komplette Modellierungen und Auswertungen durchgeführt, die sich auf das Einzugsgebiet der Lausitzer Neiße (deutsches und polnisches Gebiet) beziehen.

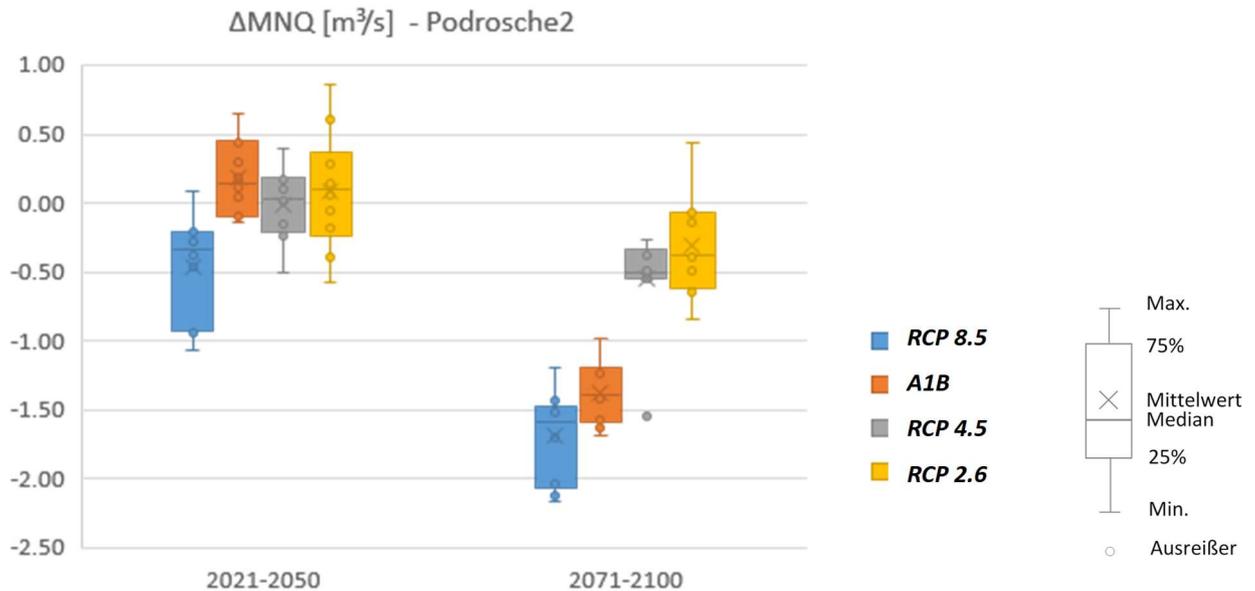


Abbildung 12: Entwicklung des mittleren Niedrigwasserabflusses am Pegel Podrosche 2, Modellgebiet Lausitzer Neiße (NEYMO-NW, 2021)

Tabelle 3: Berechneter Niederschlag (schwarz) und berechnete Abflüsse (blau) in Prozent bezogen auf Mittelwerte der Klimanormalperiode 1961-1990 im Einzugsgebiet der Spree, Modell WEREX, Realisierung 66 (LfULG, 2014)

Flussgebiet/Jahre	2021-2030	2031-2040	2041-2050	2051-2060	2061-2070
Spreezuflüsse	93 / 69	98 / 76	88 / 57	84 / 43	84 / 44
Löbauer Wasser	93 / 58	97 / 68	88 / 46	82 / 27	83 / 28
Schwarzer Schöps	94 / 51	97 / 56	88 / 26	82 / 1	84 / 4
Struga*	95 / 50	99 / 63	89 / 36	85 / 15	87 / 24
Kleine Spree	94 / 59	98 / 72	88 / 48	84 / 28	85 / 34

*stark anthropogen beeinflusst

Generell ist in allen Szenarien eine Tendenz zur Verringerung des Wasserdargebotes erkennbar. Unter anderem zeigen die Abflusskomponenten abnehmende Tendenzen. Abb. 14 zeigt ein Beispiel für die Entwicklung der Wasserhaushaltskomponenten im Spreeinzugsgebiet. Die Projektion RCP8.5, Realisierung 09, war in allen Analysen auffällig und zeigte die stärksten Veränderungen an. Der Oberflächenabfluss zeigt für einige Projektionen, dass der Bereich des bisher Gemessenen in der 2. Hälfte des Jahrhunderts verlassen wird. Die Verdunstung steigt aufgrund der erhöhten Temperatur. Dieses Signal ist bereits ab 2035 zu beobachten. Tab. 3 zeigt beispielhaft für das Einzugsgebiet der Spree für die mit dem Modell WEREX, Realisierung 66, projizierten Parameter Niederschlag und Abfluss in Prozent bezogen auf die Mittelwerte der Klimanormalperiode 1961-1990. Es handelt sich bei der Realisierung 66 entsprechend den Auswertungen des LfULG (2014) um ein Szenario, das mit den anderen vergleichbar ist, weder feuchter noch trockener.

Verwendet wurden die im WHH-Portal veröffentlichten Daten (WHHP, 2019). Diese dokumentieren den natürlichen, nicht durch Steuerung beeinflussten Wasserhaushalt.

Im Verhältnis zur Klimanormalperiode 1961-1990, auf deren Grundlage die Erstellung von Braunkohlenplänen und Sanierungsrahmenplänen erfolgte, werden auch zukünftig ca. 90% des Niederschlages erwartet. Die aus dem Niederschlag resultierenden Abflüsse werden entsprechend dieser beispielhaft ausgewerteten Realisierung 66, Modell WEREX, aber aufgrund der Temperaturerhöhung und der damit verbundenen höheren Verdunstung bereits

Mitte des 21. Jahrhunderts bei im Mittel nur ca. 43% liegen. In diesem Beispiel wird allein im sächsischen Einzugsgebiet der Spree (2.130 km²) der derzeitige durch Bewirtschaftung überprägte mittlere Abfluss MQ von 14,9 m³/s (Wert aus KLIWES, Säule B) auf 6,4 m³/s absinken. In der für die Flutung der Bergbaufolgeseen maßgeblichen Periode 2021-2050 werden es durchschnittlich 6,4 m³/s sein, die für die Flutung nicht zur Verfügung stehen.

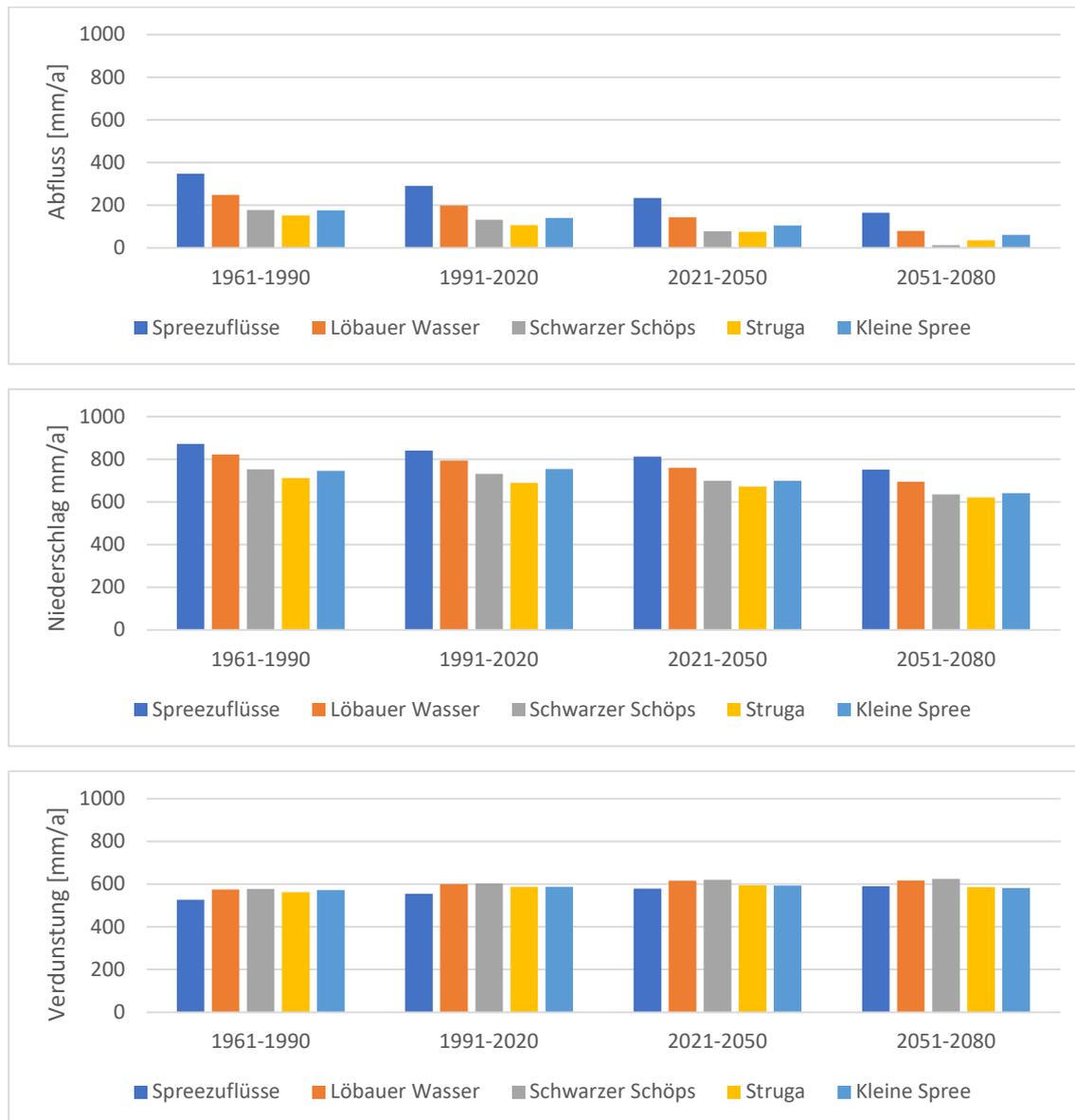


Abbildung 13: Entwicklung der Wasserhaushaltskomponenten im Spreeeinzugsgebiet von 1961-1990 bis 2051-2080, Modell WEREX, Realisierung 66, WHHP, Säule B (LfULG, 2014)

Entscheidend für die künftige Bewirtschaftung ist die Entwicklung des Grundwasserdargebotes, das zur Flutung der Bergbaufolgeseen beiträgt und durch die Interaktion zwischen Grund- und Oberflächenwasser den Oberflächenabfluss in den Gewässern bestimmt.

Beispielhaft wird in Abb. 14 die Entwicklung der Grundwasserneubildung im Einzugsgebiet der Lausitzer Neiße bis zur sächsischen Grenze am Pegel Zittau 1 unter Nutzung verschiedener Klimaszenarien dargestellt (NEYMO, 2015). Die Grundwasserneubildung verringert sich in den Klimaprojektionen unterschiedlich, die negative Tendenz ist anhand der Zunahme der roten Elemente jedoch für alle Projektionen deutlich erkennbar.

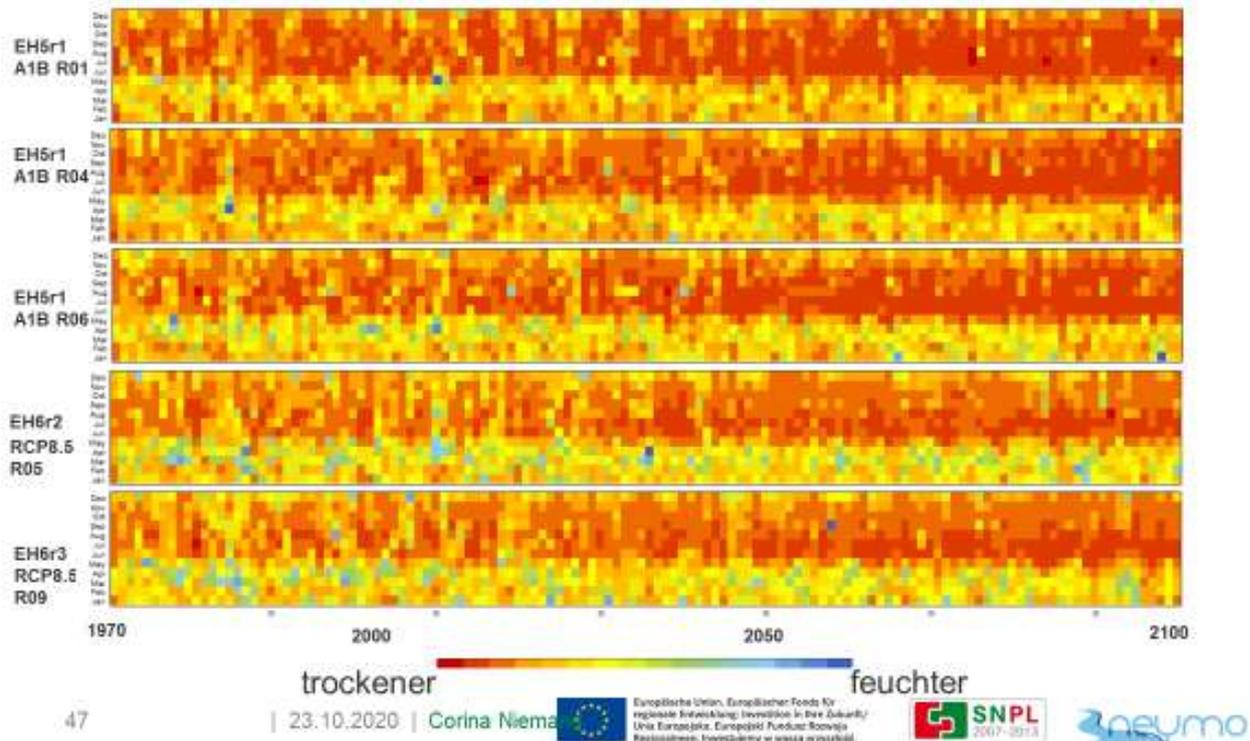


Abbildung 14: Projizierte Grundwasserneubildung für das Einzugsgebiet der Lausitzer Neiße bis zum Pegel Zittau 1/Sienawka (WHH Modell ArcEGMO, NEYMO, 2015)

Im Lausitzer Grundwasserwiederanstiegsgebiet werden sich mittelfristig höchstwahrscheinlich stabile Vorflutverhältnisse einstellen. Bezüglich der Wasserbeschaffenheit ist im Gegensatz dazu mit langfristigen Beeinträchtigungen über viele Jahrzehnte zu rechnen. Probleme durch z. B. hohe Eisen- und Sulfatkonzentrationen müssen über einen langen Zeitraum durch Quellensanierung (Eisen) bzw. entsprechende Bewirtschaftung (Sulfat) reduziert werden (siehe auch 2.6).

Neben den langfristigen Änderungen der Niederschläge, der Verdunstung und der Abflüsse gibt es natürliche Schwankungen und saisonale Effekte. Um verschiedenste Nutzungen abzusichern und den Wasserhaushalt in der Region so zu sanieren, dass langfristig ein weitestgehend selbstregulierendes System geschaffen wird, gibt es eine länderübergreifende Bewirtschaftung der Flussgebiete Spree, Schwarze Elster und Lausitzer Neiße (AG FGB, 2020). Die Bewirtschaftungsgrundsätze werden jährlich aktualisiert. Die Flutungszentrale Lausitz (FZL) bei der LMBV erhält alle aktuellen Informationen zum Wasserhaushalt und zu den zu beachtenden Bewirtschaftungsanforderungen von den zuständigen Wasserbehörden, der LTV und der LEAG, um die Wassermengenverteilung unter Beachtung der Beschaffenheitsanforderungen zu steuern. Die Wasserzuführung für den Cottbuser Ostsee der LEAG wird ebenfalls über die FZL mit bewirtschaftet. Dazu gibt es einen entsprechenden Vertrag.

Die regional verfügbaren Dargebote sollen im Rahmen der Wasserhaushaltssanierung u. a. so genutzt werden, dass die Zehrung durch Verdunstung kompensiert wird und dass Wasserspiegelschwankungen im Wesentlichen den natürlichen Trends folgen.

Für die Bewirtschaftung der Oberflächengewässer wird die aktuelle Ländervariante des Langfristprognosemodells WBalMo „Spree-Schwarze Elster“ von DHI WASY entsprechend den Vorgaben der beteiligten Länder laufend gehalten (siehe 2.1). Die LDS, die LMBV, die LTV, das LfULG und das LfU Brandenburg können das Modell für die Berechnung von Varianten nutzen. Darüber hinaus kann die aktuelle Ländervariante auch weiteren Akteuren zur



Berechnung von Varianten und Erstellung von Gutachten unter Berücksichtigung von Nutzungsvereinbarungen zur Verfügung gestellt werden (z. B. LEAG, LBGR, BTU Cottbus, BfG). Für die länderübergreifende Kurzfristbewirtschaftung in der Schwarzen Elster und Spree existieren das Flutungssteuermodell GRMSTEU sowie das Gütesteuersmodell GSM für einen Teilabschnitt des Einzugsgebietes der Spree, welche in der Flutungszentrale der LMBV wöchentlich gerechnet werden. Das GRMSTEU stellt eine Ergänzung des WBalMo dar. Es dient der Umsetzung der über Variantenrechnungen im WBalMo getesteten, in der jeweiligen aktuellen Basisvariante enthaltenen und in der AG Flussgebietsbewirtschaftung (AG FGB, 2020) abgestimmten Bewirtschaftungsgrundsätze in die Praxis. Zur Optimierung der Steuervorschläge des GRMSTEU für die Einhaltung des Immissionszielwertes vom 450 mg/l Sulfat am Bezugspegel Wilhelmsthal wurde im Auftrag der LMBV und unter Mitwirkung der Länder Sachsen (LfULG, LDS, LTV) und Brandenburg (LfU) durch das Institut für Wasser und Boden Dr. Uhlmann (IWB) das GSM entwickelt. Für die Berücksichtigung der Wasserbeschaffenheit im Langfristbewirtschaftungsmodell WBalMo wurde durch die DHI-WASY GmbH im Auftrag der Länder Brandenburg und Berlin ein Sulfatprognosemodul (SPM) entwickelt. Die aktuelle Steuerung und Bewirtschaftung des Flussgebietes wird wöchentlich durch die Flutungszentrale der LMBV länderübergreifend, in Sachsen mit der LDS und der LTV, in Brandenburg mit dem LfU abgestimmt.

Fazit: Aufgrund der zu erwartenden weiteren Verknappung des Oberflächenwasserdargebotes in den nächsten Jahrzehnten als Ergebnis der Beendigung der Kohleförderung und Sumpfungwasserhebung, der erforderlichen Flutung der entstandenen Tagebauhohlformen sowie der Auswirkung der klimatischen Veränderungen auf Grund- und Oberflächenwasser ist ein länderübergreifendes Wassermanagement weiterhin unerlässlich. Die Veränderungen in Menge UND Beschaffenheit von Oberflächenwasser UND Grundwasser müssen unter den Bedingungen des Ausstiegs aus der Kohleverstromung und dem sich ändernden Klima langfristig bilanziert werden. Dazu sind die Fortsetzung der genannten länder- und einzugsgebietsübergreifenden Aktivitäten und die Erstellung neuer bzw. Fortschreibung bestehender Instrumente zur Modellierung von Prozessabläufen im Oberflächen- und Grundwasser erforderlich.



2.3 VERHÄLTNIS VON VERFÜGBAREM DARGEBOT IN DEN EINZUGSGEBIETEN SPREE UND SCHWARZE ELSTER IM VERHÄLTNIS ZUR VERDUNSTUNG UND DESSEN VERÄNDERUNG DURCH DIE ZUNAHME VON WASSERFLÄCHEN

Die Verdunstung ist abhängig von den klimatischen Randbedingungen und der Oberfläche der Landschaft. Abb. 15 zeigt die Verdunstung von einer Wasseroberfläche (A) im Vergleich zu anderen Flächennutzungen, beispielsweise Heideland (M), Mischwald (H) und noch unbewachsenen Kippenböden (N). Grundlage sind Klimadaten aus der Lausitzer Tagebauregion von 1961-1990. Die Verdunstung über Wasserflächen ist allgemein höher als die über Landoberflächen. Im Bezugszeitraum 1961-1990 lag die potenzielle Verdunstung im Einzugsgebiet der Lausitzer Neiße bei 690 mm/a und im Einzugsgebiet der Schwarzen Elster bei 730 mm/a (Pohle, 2014). Die reale Verdunstung ist jedoch deutlich geringer, da die potenzielle (theoretisch mögliche) Verdunstung von einem unbegrenzten Wasserangebot bzw. Sättigung unter den lokalen Verhältnissen ausgeht. Die berechnete reale Verdunstung lag im o.g. Zeitraum im Einzugsgebiet der Schwarzen Elster bei 520 mm/a.

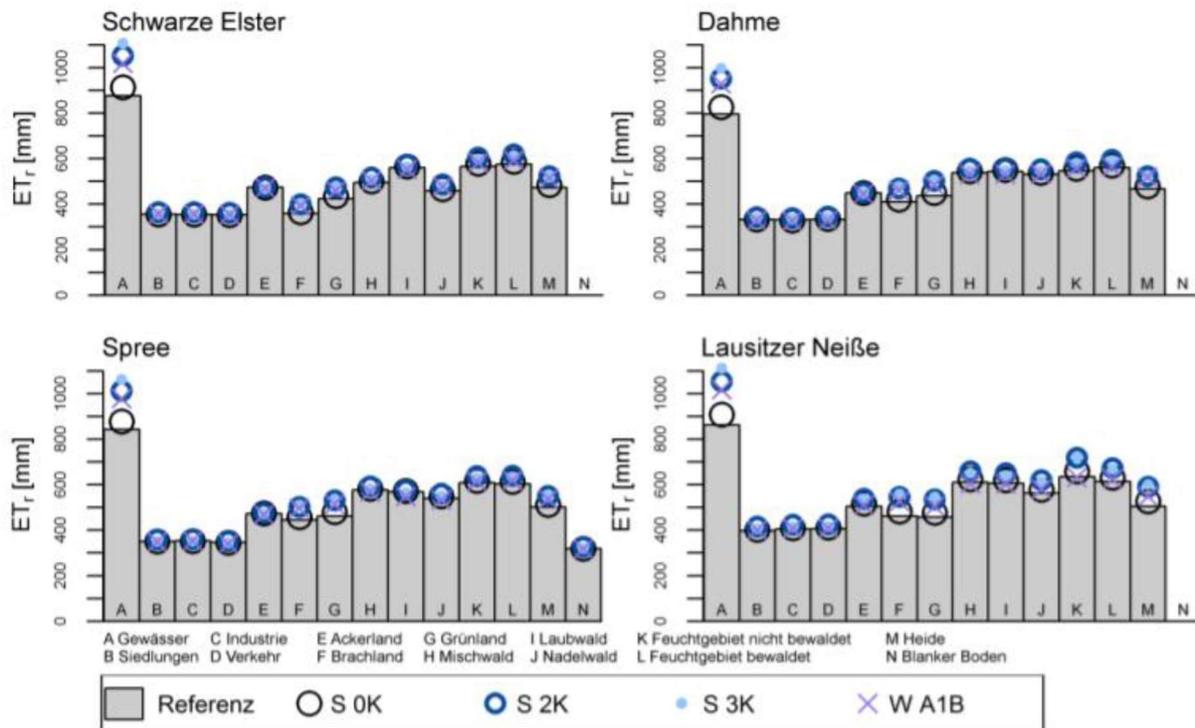


Abbildung 15: Verdunstung in mm/a in Abhängigkeit von der Flächennutzung (Pohle, 2014)

Die höchste Verdunstung wird über den meisten Landflächen im Mai oder Juni gemessen, da in diesen Monaten meist hohe Temperaturen und viel Niederschlag vorhanden sind. Über Wasserflächen sind Verdunstungswerte generell im Sommer am höchsten, weil diese neben Wind und Strahlung vor allem von der Temperatur beeinflusst werden. Das Mittel der höchsten Gesamtverdunstungswerte (Evapotranspiration ETP) ist abhängig von der Vegetation. Beispielsweise ist je nach Wachstumsphase, Blattflächenindex und Erntezeit über die unterschiedlichen Pflanzenarten eine andere Evapotranspiration zu verzeichnen.

Der Spreewald ist ein Beispiel dafür, dass die Verdunstung über einer wassergesättigten Vegetationsdecke sehr hoch sein kann. Die Gesamtverdunstung über Vegetationsdecken mit sehr oberflächennahem Grundwasser kann aufgrund des Anteils der Verdunstung über die Pflanzen (Transpiration) saisonal höher sein als die über Wasserflächen (Evaporation).



Die Verdunstung über den vor mehr 200 Jahren vom Menschen noch wenig beeinflussten Vegetationsflächen mit zahlreichen Mooren und hohem Grundwasserstand wird in ähnlicher Größenordnung gelegen haben wie die des heutigen Spreewaldes. Es liegt die Vermutung nahe, dass sich nach dem Ende des Tagebaus, der Flutung der Bergbaufolgeseen und der Rekultivierungsmaßnahmen ein ähnliches Verdunstungsverhältnis wie vor über 200 Jahren einstellt. Die Bergbaufolgeseen verursachen vorerst eine höhere Verdunstung, nehmen aber nur einen geringen Flächenanteil in der Region ein. Der Grundwasserspiegel steigt wieder an und die sich entwickelnde Vegetation auf den Kippenböden begünstigt die Verdunstung. Die Verdunstungswerte aus der vorbergbaulichen Zeit werden jedoch nicht wieder erreicht werden, da die Verdunstung von der Nachlieferung des Wassers und der Speicherfähigkeit der Böden abhängt. Die bereits beobachtete Abnahme der Niederschläge in der Vegetationsperiode wirkt einer Zunahme der Verdunstung infolge des Anstiegs der mittleren Temperatur somit entgegen. Andererseits kann es bei Zunahme der mittleren Temperatur zu längeren Vegetationsperioden kommen. Eine aktuelle regionale Untersuchung der zu erwartenden Veränderungen der Verdunstungsanteile und teilweise gegenläufigen Auswirkungen des Klimawandels ist den Autoren nicht bekannt. Eine solche Untersuchung wäre jedoch eine hilfreiche Grundlage für die Bilanzbetrachtung.

Die Verdunstung über Seeflächen ist auch abhängig von der Wassertiefe. Bei flachen Seen führt die geringe Wassertiefe zu einer stärkeren Erwärmung des Wassers und erhöhter Verdunstung. Bei tieferen Seen beeinflusst die Schichtung innerhalb des Sees die Verdunstung. Während die meisten Bergbaufolgeseen mit mittleren Wassertiefen von 20 – 50 m eher eine geringe Verdunstung bedingen, ist bei dem Cottbuser Ostsee mit einer Wassertiefe von nur etwa 3 m über etwa 2/3 der Seefläche (LEAG, 2020) eine höhere Verdunstung zu erwarten.

Es ergibt sich außerdem die Frage, ob die Verdunstung über den durch Flutung der Bergbaufolgeseen neu hinzukommenden Seenoberflächen im Vergleich zu den Landflächen bzw. Feuchtgebieten nach Wiederanstieg des Grundwassers deutlich höher sein wird. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass bei der Sanierung von Kippenflächen in der Regel ein prognostischer Grundwasserflurabstand von $>2 - 3$ m angestrebt wird. Somit werden die Kippenböden zum Teil höher geschüttet als die ursprüngliche Landoberfläche. Dies hat Auswirkungen auf die Vegetation. Die Kippenflächen sind dann bezüglich der Verdunstung zum Teil nicht als grundwasserbeeinflusste Standorte mit hoher Wassersättigung zu betrachten. Im Vergleich zur vorbergbaulichen Situation ohne Grundwasserabsenkung wird die hohe Verdunstung über den neu entstandenen Wasserflächen somit teilweise kompensiert durch eine geringere Verdunstung über den Kippenböden mit einem größeren Grundwasserflurabstand als vorher. Eine Quantifizierung ist jedoch anhand der verfügbaren Dokumente (noch) nicht möglich. Grundsätzlich ist bei allen Betrachtungen der Bezugszeitraum entscheidend, auf den die berechneten Veränderungen bezogen werden. Für den Bezugszeitraum 1961-1990 wird nachfolgend beispielhaft eine Abschätzung der zu erwartenden Veränderungen vorgenommen.

Die Gesamtwasserfläche der im Verantwortungsbereich der LMBV durch Flutung entstehenden Seen wird 7802 ha in der Brandenburgischen Lausitz und 7067 ha in der Sächsischen Lausitz betragen, in Summe 14.869 ha. Die aktuelle Wasserfläche der Seen beträgt 13.160 ha (LMBV, 2020a). Hinzu kommen zukünftig die Flächen vom Hermannsdorfer See (geplant mit 206 ha, LEAG (2020a)) und dem noch aktiven Tagebau Nochten (2015 ha). Insgesamt sind damit noch etwa 4.000 ha Seefläche zu fluten.





Im Verhältnis zum Bezugszeitraum 1961-1990 und einem Mittelwert der Verdunstung von 560 mm/a im Spreeinzugsgebiet für die Klimanormalperiode 1961-1990 entsteht in den noch zu flutenden Gebieten durch die zusätzlichen Seeflächen eine Mehrverdunstung. Diese beträgt bei Ansatz der Gewässerverdunstung nach DYCK (1951-1970) 750 mm/a von freien Wasseroberflächen abzüglich der 560 mm/a der mittleren Gebietsverdunstung eines durch Bergbau nicht beeinflussten Gebietes im Mittel 190 mm/a. Bei Ansatz der gesamten 14.869 ha Wasserfläche ergibt sich daraus eine zusätzliche Inanspruchnahme des Wasserhaushaltes in Höhe von 0,87 m³/s. Bei Ansatz der Gewässerverdunstung von rund 820 mm/a (Pohle, 2014, Abb. 16) ergeben sich 1,2 m³/s.

Für das Flutungsende (hier mit 2070 angenommen) ist durch Temperaturerhöhung mit einem zusätzlichen Anstieg der Verdunstung von Wasserflächen um ca. 50 mm/a zu rechnen. Damit werden über allen sächsischen Bergbaufolgeseen ca. 1,5% allein durch Klimaeffekte zusätzlich verdunsten (Berechnungen LfULG, unveröffentlicht).

Für die Analyse des Wasserhaushalts in Sachsen inklusive der Verdunstung wurden mit dem Programm ArcEGMO Wasserhaushaltsmodelle (Pfad Boden-Pflanze-Atmosphäre) aufgebaut, die die Abbildung der aktuellen und anhand von Klimamodellen projizierten Wasserhaushaltsentwicklung ermöglichen (LfULG, 2014). Wegen der Komplexität in Bergbaugebieten wurden die Gebiete der Lausitz allerdings ohne Bergbaueinfluss gerechnet.

Weiterhin wurden das Modell SWIM als Oberflächenwasserabflussmodell für die Einzugsgebiete der Spree, Schwarzen Elster und Lausitzer Neiße inklusive der bergbaubeeinflussten Gebiete aufgebaut sowie das Modell EGMOD für die Spree und die Schwarze Elster. Die bergbaubeeinflussten Gebiete wurden durch einen sehr vereinfachten Ansatz berücksichtigt: Gebiete im Grundwasserabsenkungstrichter wurden als nicht abflusswirksam deklariert (s. Pohle, 2014).

Aus den Untersuchungen wird deutlich, dass eine gekoppelte Simulation zur Betrachtung der komplexen und dynamischen Situation vorzuziehen ist. Die Abbildung des Bergbaueinflusses ist besser möglich, wenn das Konzept zur Kopplung von Grundwasser- und Bodenwasserhaushaltsmodell in der Lausitz umgesetzt wird. Zurzeit wird im Auftrag des LfULG an einer Verbesserung der Wasserhaushaltsmodelle hinsichtlich der Berücksichtigung der Grundwasserneubildung in Gebieten mit einem Grundwasserflurabstand < 2 m gearbeitet. Außerdem werden die aktuellen Klimaszenarien einbezogen. Die Ergebnisse werden 2021 vorliegen. Trotz bestehender Defizite können durch Auswertung der im WHH-Portal verfügbaren Daten Tendenzen des Wasserdargebots dargestellt werden (WHHP, 2019). Der für die Jahre 2010-2020 gezeigte Trend zur Zunahme von Extremsituationen wird sich fortsetzen (LfULG, 2020a). Aufgrund des zu erwartenden Temperaturanstiegs um ca. 2 Kelvin wird sich die Situation in den nächsten Jahrzehnten verschärfen. Die potenzielle Verdunstung wird nicht nur wegen des Grundwasserwiederanstiegs, sondern auch aufgrund der Temperaturerhöhung zusätzlich zunehmen, und die Grundwasserneubildung wird abnehmen (LfULG, 2020b). Für einige Flächennutzungen und Klimaszenarien wird die reale Verdunstung im Jahresmittel aufgrund der Wasserlimitierung nicht zunehmen (können).

Bei der Wasserbewirtschaftung in der Lausitz spielen Talsperren und Speicher eine wesentliche Rolle, da hier in Zeiten mit ausgiebigen Niederschlägen Wasser gespeichert werden kann, das dann in Trockenzeiten der Niedrigwasseraufhöhung dienen kann. Die Abb. 16 und 17 zeigen das komplexe Netz von Speichern, Bergbaufolgeseen, natürlichen und künstlich angelegten Vorflutern und Überleitern. Von besonderer Bedeutung für das Spreeinzugsgebiet sind die Talsperren Bautzen und Quitzdorf im Süden (unterer Abschnitt in Abb. 17).



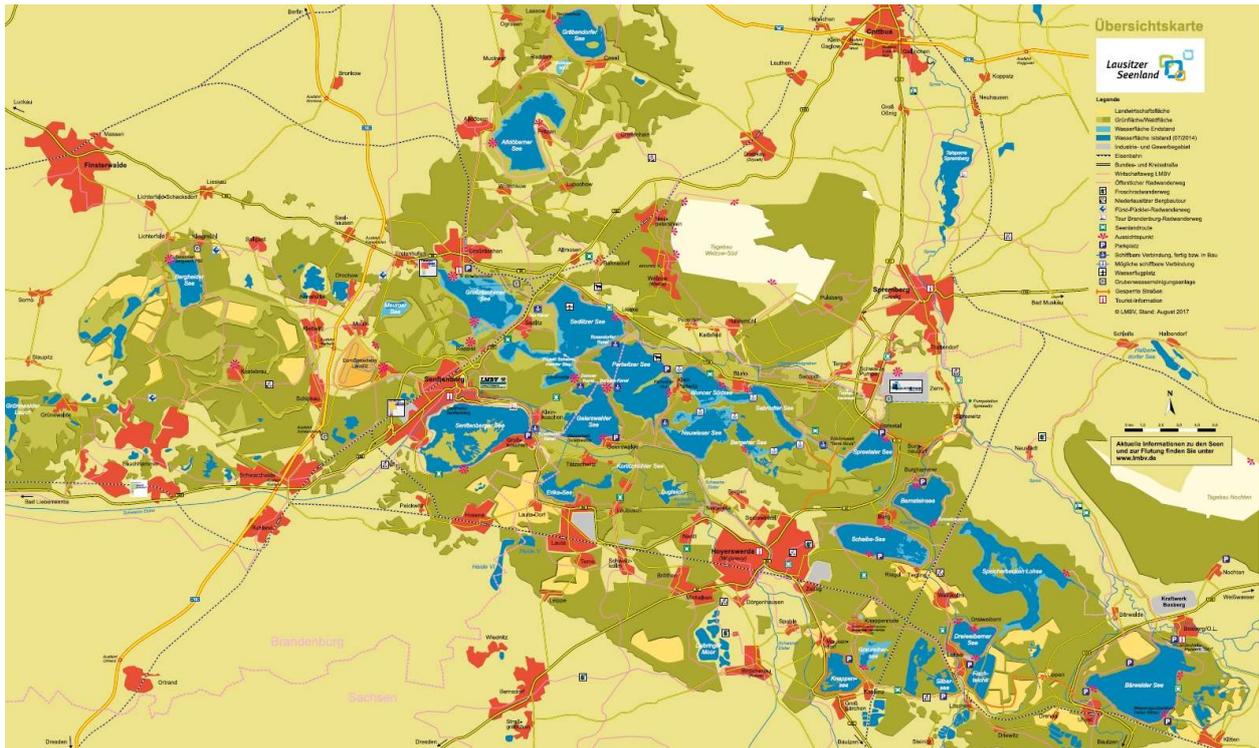


Abbildung 16: Lausitzer Seenland (LMBV, 2020b)

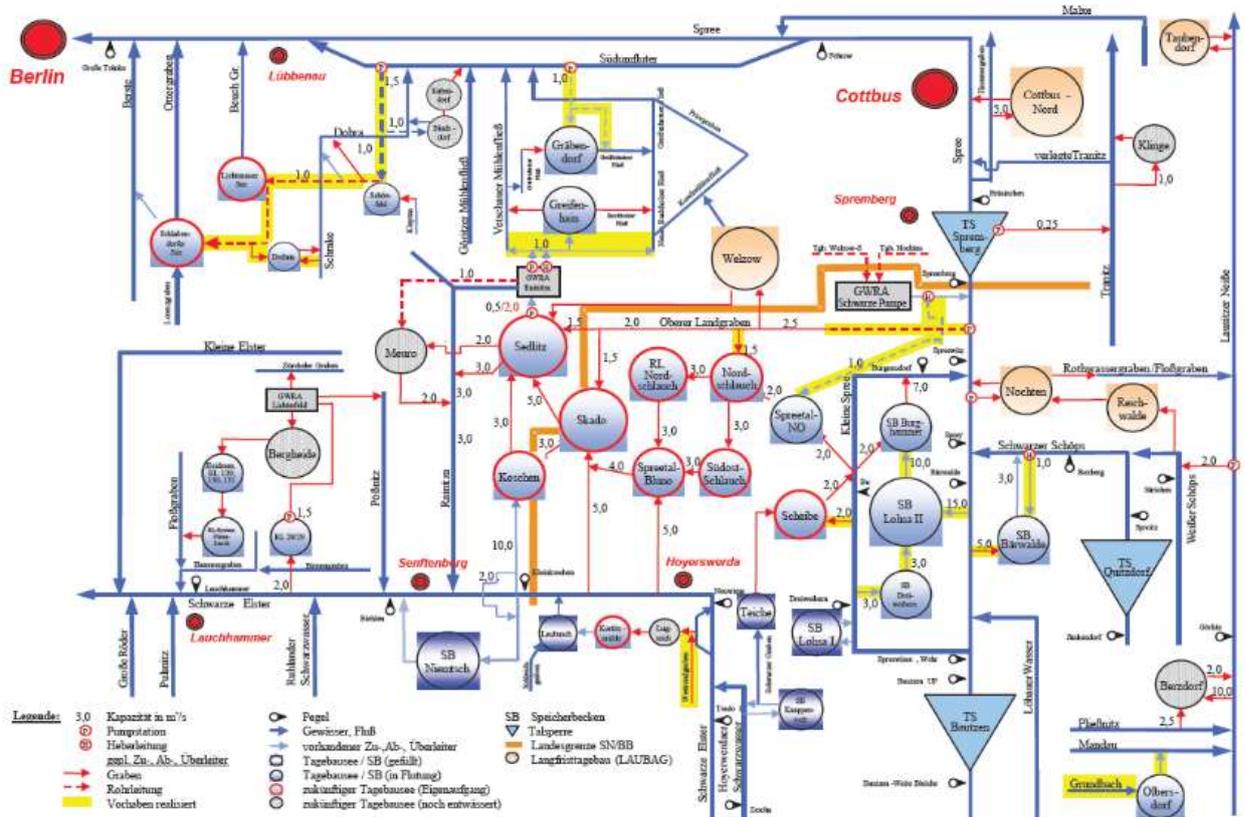


Abbildung 17: Schema der Speicher, Bergbaufolgeseen und Vorfluter (LMBV 2014 in RPVO, 2014)

Aufgrund der Multifunktionalität der Talsperren können die Speicher nicht bis zum Vollstau gefüllt werden. Der Hochwasserrückhaltezeitraum muss frei bleiben und steht zur Gefahrenabwehr bei Hochwasser zur Verfügung. In Tab. 4 ist beispielhaft die Stauraumaufteilung für die

Talsperre Quitzdorf dokumentiert. Auch wenn die Talsperre einen Stauraum IS von 20,927 Mio. m³ hat, steht für die Wasserbewirtschaftung außerhalb von Hochwasserereignissen und dem Reserveraum aus Gründen der Wasserbeschaffenheit nur der Betriebsraum mit einem Volumen von 9,3 Mio. m³ zur Verfügung. Die zur Bewirtschaftung zur Verfügung stehenden Staulamellen der Bergbaufolgeseen und Speicherbecken sind in der Regel geringer als die der Talsperren. Abb. 18 zeigt schematisch die Stauraumaufteilung der Talsperre Quitzdorf (niedrigster Füllstand im Sommer 2020: 5,165 Mio. m³ am 17.08.2020). Bis zu diesem Zeitpunkt war die Abgabe größer als der Zufluss, um im Unterlauf noch annähernd Nutzungen zu bedienen und die Gewässerökologie aufrecht zu erhalten. Seit Mitte August 2020 konnte die TS Quitzdorf aufgrund höherer Zuflüsse langsam wieder aufgestaut werden.

Tabelle 4: Stauraumaufteilung der TS Quitzdorf gemäß Wasserwirtschaftsplan (LTV, 2020)

Teilstauraum [Mio. m ³]	Staulamelle einzeln [Mio. m ³]	Teilstauraum [Mio. m ³]
Totraum	0,000	0,000
Reserveraum	7,200	7,200
Betriebsraum	9,280	16,480
gewöhnlicher Hochwasserrückhalteraum	4,447	20,927

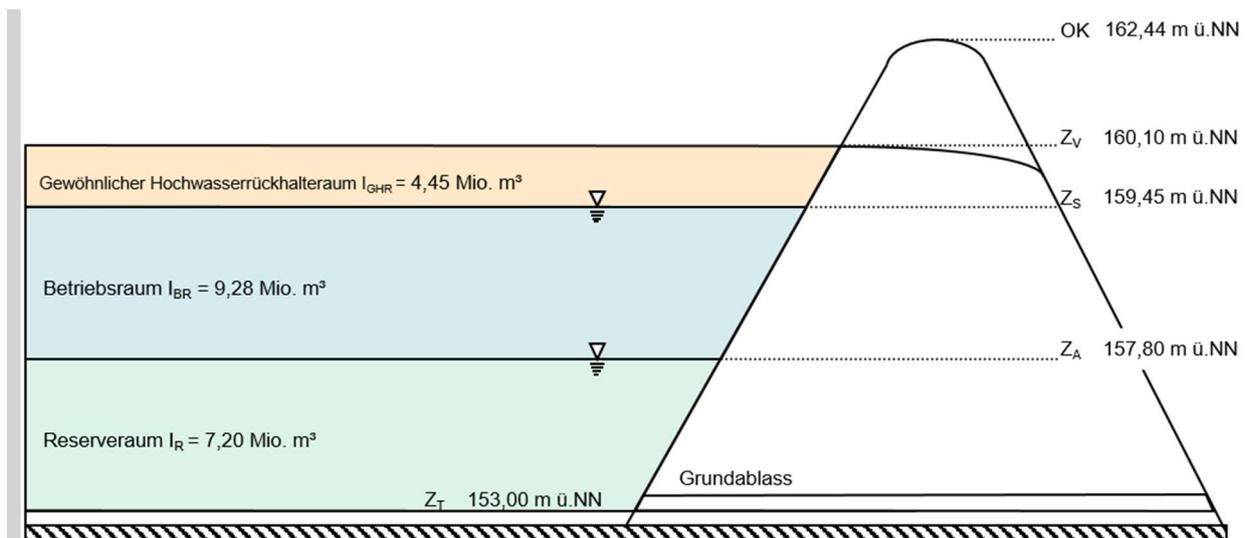


Abbildung 18: Stauhöhen und Stauvolumina der Talsperre Quitzdorf (LTV, 2020)

Der Stand der Flutung der Bergbaufolgeseen im Verantwortungsbereich der LMBV wird in den Wasserwirtschaftlichen Jahresberichten ausführlich dokumentiert. Den Stand 2019 zeigt die Tab. 5. Die prozentuale Angabe des Volumens bezieht sich jeweils auf den unteren Endwasserstand des Bergbaufolgesees. Nur bei den planfestgestellten Speichern (Bärwalder See, SB Burghammer, SB Lohsa II, SB Dreiweibern, Geierswalder See, Partwitzer See, Sedlitzer See) wurde eine Speicherlamelle ausgewiesen. Die ausgewiesene Summe von 188,3 Mio. m³ ist deshalb nur teilweise bewirtschaftbar. Die Lamelle der nicht als Speicher ausgebauten Bergbaufolgeseen ist vor allem für die natürlichen Wasserstandsschwankungen im Jahresverlauf vorgesehen.



Tabelle 5: Stand der Flutung der Bergbaufolgeseen 2019 im Lausitzer Revier (LMBV, 2020a)

Bergbaufolgeseesee	Endstand				Flutung		Iststand 2019			
	See- fläche	Seevolumen von	Speicher- lamelle bis	Wasserstand von	Wasserstand bis	Beginn	Ende	Volumen		
	[ha]	[Mio m ³]	[Mio m ³]	[Mio m ³]	[m NHN]	[m NHN]		[Mio m ³]	[%]	
Altdöberner See	898	284,8	293,6	8,8	81,4	82,4	1998	2026	236,6	83
Bärwalder See	1299	147,6	173,1	25,5	123,0	125,0	1997	2009	151,9	100
Bergheider See	327	38,6	41,8	3,2	107,0	108,0	2001	2014	39,9	100
Bernsteinsee	482	28,0	35,0	7,0	107,5	109,0	1997	2009	33,9	100
Berzdorfer See	969	328,4	333,2	4,8	186,0	186,5	2002	2013	347,3	100
Bischdorfer See	255	16,8	18,5	1,7	56,3	57,3	2000	2013	17,8	100
Blunoer Südsee	381	59,4	63,2	3,8	103,0	104,0	2005	2023	47,9	81
Drehnaer See	222	11,8	12,9	1,1	70,5	71,0	1999	2012	12,0	100
Dreiweibener See	294	29,4	35,1	5,7	116,0	118,0	1996	2002	29,9	100
Geierswalder See	653	91,8	98,2	6,4	100,0	101,0	2004	2013	91,2	99
Gräbendorfer See	457	89,9	92,2	2,3	67,0	67,5	1996	2007	91,0	100
Großräschener See	820	127,0	135,1	8,1	100,0	101,0	2007	2019	122,5	96
Klinger See	320	98,1	99,7	1,6	71,0	71,5	2000	k.A.	51,0	52
Lichtenauer See	326	21,0	22,6	1,6	54,0	54,5	k.A.	2011	21,2	100
Lugteich	96	2,3	3,2	0,9	109,0	110,0	2010	k.A.	0,7	31
Neuwieser See	641	48,4	54,7	6,3	103,0	104,0	2002	2023	39,2	81
Partwitzer See	1102	122,8	133,7	10,9	100,0	101,0	2004	2015	121,9	99
Sabrodter See	208	26,1	28,0	1,9	103,0	104,0	2006	2023	21,1	81
SB Lohsa II	1081	36,8	97,4	60,6	109,5	116,4	1997	2016	64,1	100
Scheibe-See	685	105,2	108,6	3,4	111,0	111,5	2002	2011	106,2	100
Schlabendorfer See	561	42,0	46,4	4,4	59,5	60,3	2002	2012	43,4	100
Schönfelder See	140	7,5	8,2	0,7	52,5	53,0	1997	2008	8,1	100
Sedlitzer See	1418	197,7	211,7	14,0	100,0	101,0	2005	>2021	122,2	62
Spreetaler See	361	86,7	90,3	3,6	107,0	108,0	1998	2023	83,5	96
Summe				188,3						

Gemäß dem Wasserwirtschaftlichen Jahresbericht 2019 der LMBV wurde das Wasserdefizit (Flutungswasserbedarf Oberflächen- und Grundwasser) innerhalb von 20 Jahren von 7 auf 0,9 Mrd. m³ verringert (Abb. 19). Das entspricht einer durchschnittlichen Verringerung des Defizits um 305 Mio. m³/a. Die Verringerung hat sich verlangsamt und lag von 2015 bis 2019 bei etwa 100 Mio. m³. In den Trockenjahren 2018 und 2019 blieb das Defizit nahezu konstant (LMBV, 2020a).

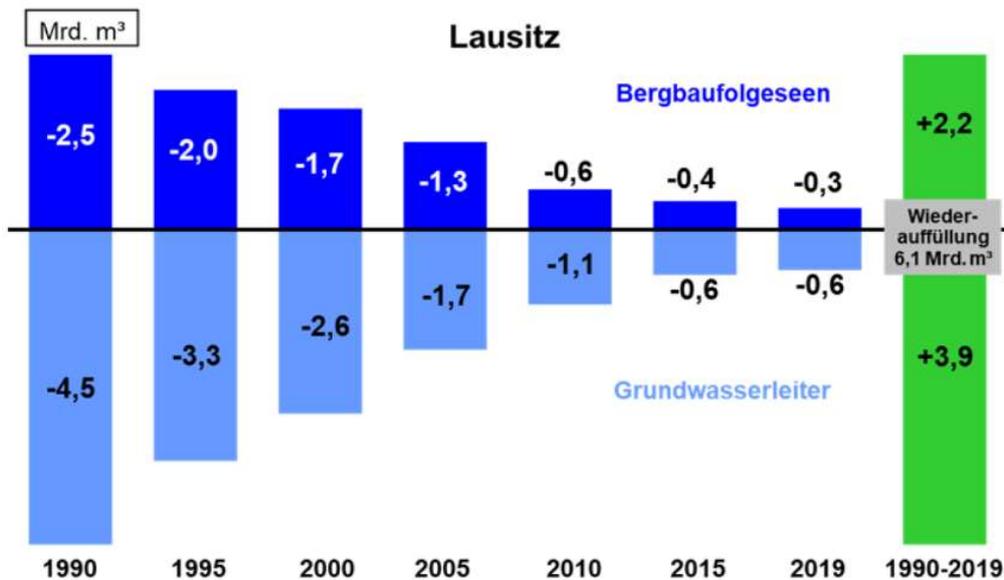
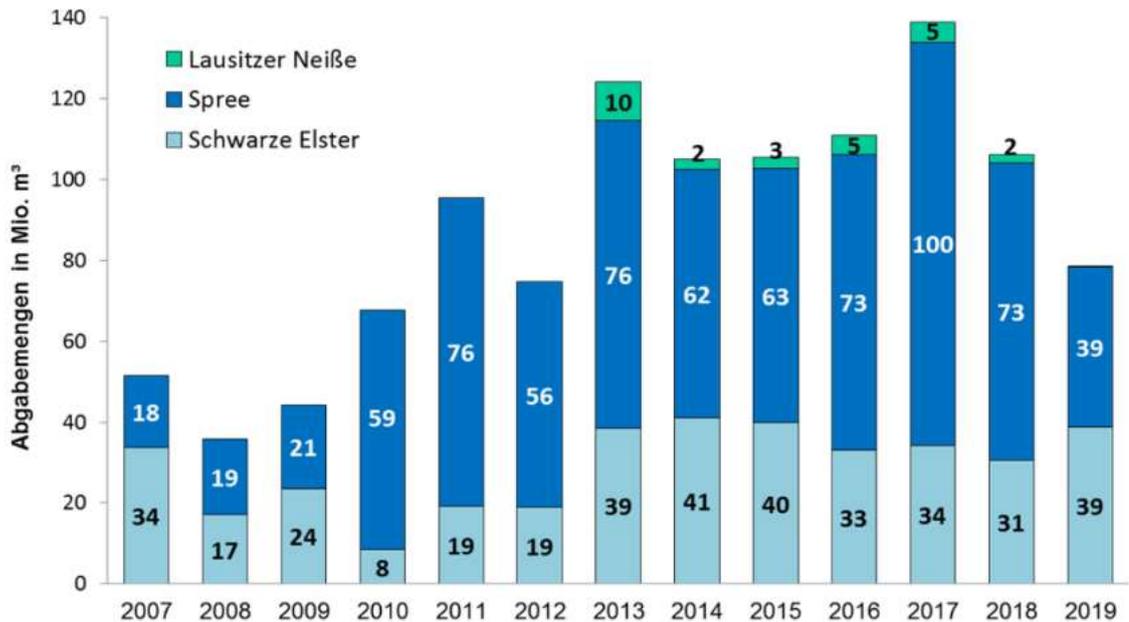


Abbildung 19: Entwicklung des Wasserdefizits in der Lausitz ohne Berücksichtigung des aktiven Bergbaus (LMBV, 2020a)

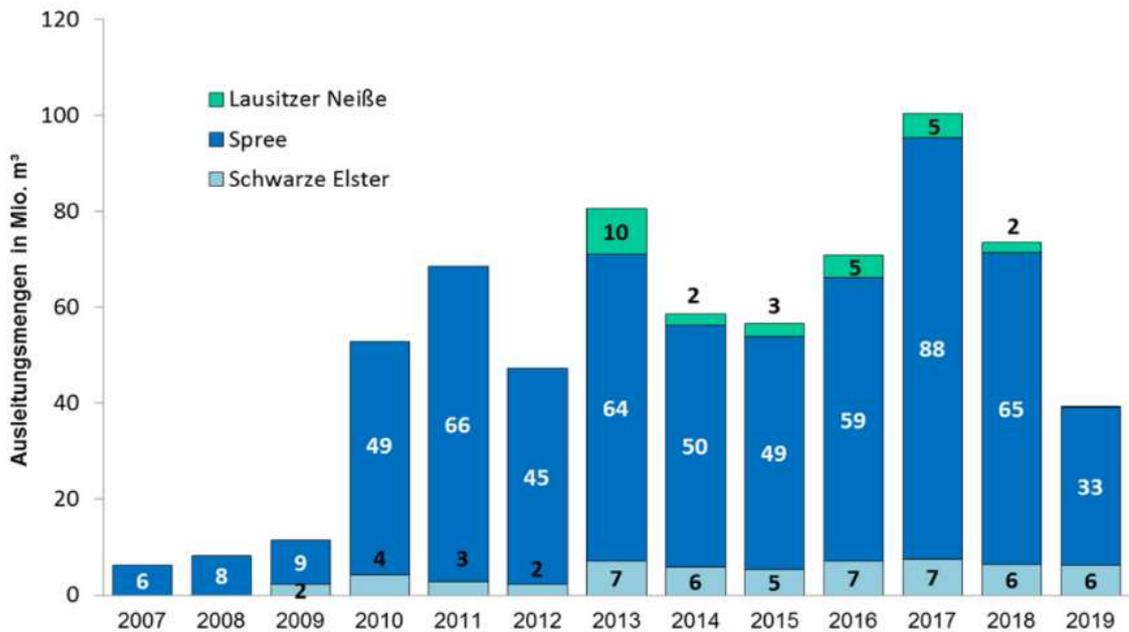


Die Wasserabgaben aus dem von der LMBV bewirtschafteten Gebiet (Abb. 20) bestehen aus dem Abschlag sanierungsbedingter Wasserhaltungen an die Vorflut, aus Abgaben zwecks Erfüllung von wasserrechtlichen Auflagen zur Mindestwasserstützung sowie aus den im Rahmen der Nachsorge aus den Bergbaufolgeseen wieder ausgeleiteten Wassermengen (Abb. 21). Die Ausleitmengen (Abb. 21) sind bereits in den Wasserabgaben (Abb. 20) enthalten. Der Rückgang der Abgaben im Jahr 2019 ist auf eine geringere Ausleitung aus den Bergbaufolgeseen zurückzuführen (LMBV, 2020a).



Jahressumme	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
	51	36	44	68	95	75	124	105	105	111	139	106	78

Abbildung 20: Wasserabgaben in der Lausitz aus Wasserhaltungen und Ausleitungen aus den Bergbaufolgeseen (LMBV, 2020a)



Jahressumme	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
	6	8	11	53	69	47	81	59	57	71	100	74	39

Abbildung 21: Ausleitmengen der Bergbaufolgeseen in die Flussgebiete der Lausitz 2007-2019 (LMBV, 2020a)



Die größten Entnahmen für die Flutung und Nachsorge erfolgen aus der Spree (Abb. 22). 2019 wurde Spreewasser vor allem für den Wiedereinstau des Bärwalder Sees genutzt. Dies entspricht der Vorrangstellung durch die Einordnung als Speicher innerhalb der länderübergreifenden Bewirtschaftung seit April 2019. Wasserabgaben aus dem Bärwalder See dienen auch der Sulfatverdünnung der Spree (LMBV, 2020a).

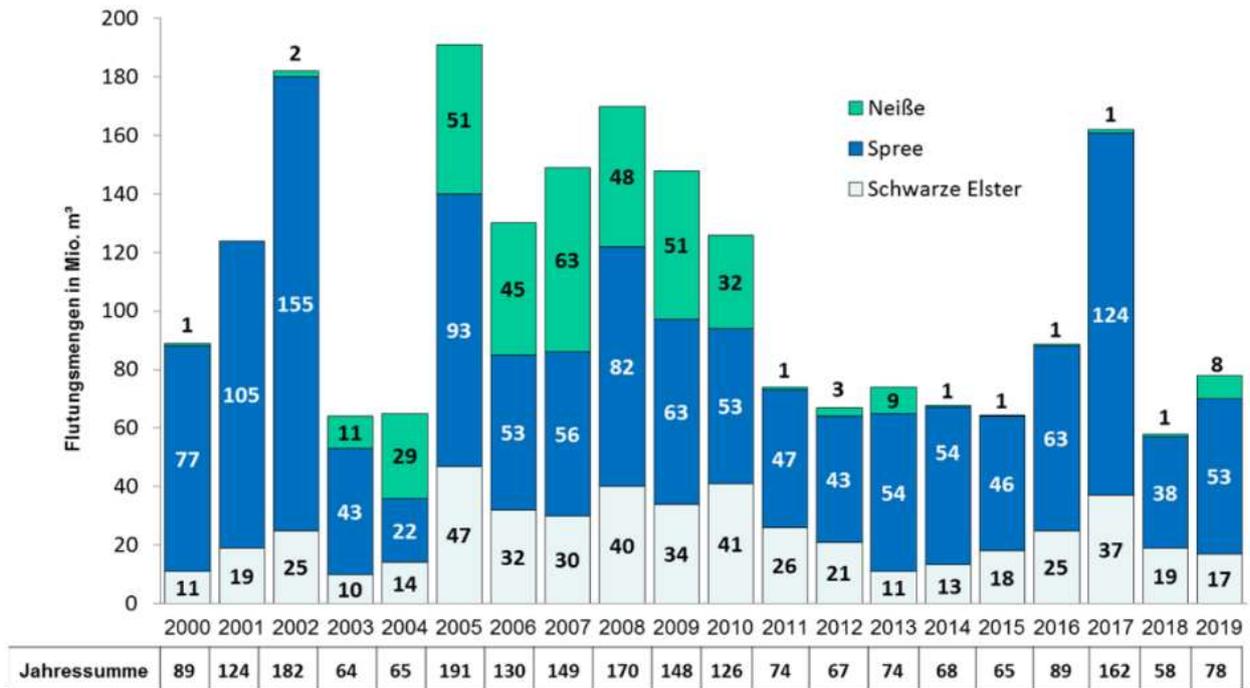


Abbildung 22: Herkunft der Flutungs- und Nachsorgemengen der Lausitz 2000-2019 (LMBV, 2020a)

Erschwerend für die Gesamtbetrachtung der Flutungswassermengen, Überleitungen und Verdunstungsverluste ist, dass es neben den ausführlichen Jahresberichten der LMBV kein vergleichbares Dokument zu den bereits vorhandenen und geplanten Bergbaufolgeseen im Verantwortungsbereich der LEAG gibt. Bei den in Tab. 5 angegebenen Seen aus der LMBV-Berichterstattung fehlen aufgrund anderer Verantwortlichkeiten die Bergbaufolgeseen der LEAG, z. B. der Cottbuser Ostsee und der Hermannsdorfer See. Im September 2020 lag der Füllstand des Cottbuser Ostsees bei 42 m NHN bei einem Zielwasserstand von 62,5 m NHN (LEAG, 2020). Tab. 6 fasst die Angaben der LEAG zusammen.

Tabelle 6: Planung der Flutung der Bergbaufolgeseen in Verantwortung der LEAG (LEAG, 2020), Arbeitsstände, Revierkonzept in Überarbeitung

Bergbaufolgese	See- Fläche [ha]	Seevolumen von [Mio. m ³]	bis [Mio. m ³]	Speicher- lamelle [Mio. m ³]	Wasserstand [m NHN]	Wasserstand [m NHN]	vorauss. Flutungs- ende
Cottbuser Ostsee	1900		126		61,8	63,5	2025
Hermannsdorfer See	206						2024
Reichwalder See	2000						k.A.
BFS Welzow-Süd	2000						k.A.
BFS Jänschwalde	500						k.A.
BFS Nochten	2015						k.A.

Die Betrachtung der Wasserbilanzen erfolgt üblicherweise bezogen auf Flusseinzugsgebiete sowie dann im kleineren Maßstab bezogen auf Teileinzugsgebiete innerhalb der Flussgebiete. Nachfolgend wird auf die in den einzelnen Flussgebieten relevanten Speicher eingegangen.



Die geschaffenen Überleitungen von Wasser aus den Flussgebieten der Lausitzer Neiße und der Spree in das Flussgebiet der Schwarzen Elster werden für die Flutung und Nachsorge der ERLK verwendet. Über die Pumpstation Spreewitz kann der Spree Wasser entnommen werden, welches über den Oberen Landgraben der ERLK zugeführt wird.

Flussgebiet der Schwarzen Elster

Im Flussgebiet der Schwarzen Elster stehen inzwischen Speicher mit folgenden grundsätzlich nutzbaren Betriebsräumen (BR) zur Verfügung:

- Speicher Knappenrode mit BR = 2,73 bis 3,5 Mio. m³ in Sachsen (Sanierungsbedingt steht der Speicher bis auf weiteres nicht zur Verfügung)
- Speicher Niemtsch mit BR = 12,3 Mio. m³ in Brandenburg, seit 9/2018 eingeschränkter BR ca. 7,4 Mio. m³ (LfU)

sowie der zukünftigen Speicher

- Restlochkette (RLK) bestehend aus den Speicherbecken (SB) Koschen, Skado (zum größten Teil in Sachsen), Sedlitz und Meuro (in Brandenburg) mit BR = 29 Mio. m³

Die Restlochkette wird als Speicher nach Beendigung der Sanierungsarbeiten sowie der Fertigstellung des Ableiters zur Verfügung stehen. Im Flussgebiet der Schwarzen Elster erfolgen die Wasserabgaben aus dem Speicher Knappenrode (bedient über das Hoyerswerdaer Schwarzwasser im Nebenschluss die Schwarze Elster) zur Sicherung von Wasserbedarfsanforderungen in Sachsen.

Flussgebiet der Spree

Gemäß den „Grundsätzen für die länderübergreifende Bewirtschaftung der Flussgebiete Spree, Schwarze Elster und Lausitzer Neiße“ (AG Flussgebietsbewirtschaftung Spree-Schwarze Elster, Stand November 2020) stehen im Flussgebiet der Spree Speicher mit folgenden grundsätzlich nutzbaren Betriebsräumen (BR) zur Verfügung:

- Talsperre Bautzen mit BR = 24,24 Mio. m³
- Talsperre Quitzdorf mit BR = 9,28 Mio. m³
- Speicher Lohsa I (Mortka und Friedersdorf) mit BR = 2,8 Mio. m³
- Speicher Bärwalde mit BR = 25,10 Mio. m³ (aktuell 12,6 Mio. m³)
- Speicher Lohsa II mit BR = 60,53 Mio. m³ (aktuell 27,4 Mio. m³ + 18,39 Mio. m³ als nBR)
- Speicher Dreiweibern mit BR = 5,6 Mio. m³
- Speicher Burghammer mit BR = 7,0 Mio. m³ (aktuell 2,8 Mio. m³ + ü 3,2 Mio. m³ als nBR)
- Talsperre Spremberg mit BR = 15,46 Mio. m³ (LfU: aktuell 11,48 Mio. m³ da 3,98 Mio. m³ aus gütewirtschaftlicher Sicht nur nachrangig nutzbar)

Alle genannten Speicher und Talsperren, mit Ausnahme der Talsperre Spremberg, liegen auf sächsischem Gebiet. Die Talsperren Bautzen und Quitzdorf dienen neben dem Hochwasserschutz und der Wasserbedarfsdeckung in Sachsen auch der Niedrigwasser-Stützung in Brandenburg/Berlin. Dafür werden, geregelt durch eine vertragliche Vereinbarung zwischen der LMBV und dem Freistaat Sachsen, in Summe 20 Mio. m³ bis zur Herstellung der Betriebsbereitschaft von Lohsa II bei Bedarf bereitgestellt. Ersatzweise kann ebenfalls Wasser zur Stützung im Sinne der Niedrigwasseraufhöhung aus dem Speicher Lohsa I mit bis zu 2 Mio. m³/a bereitgestellt werden.

Im Wasserspeichersystem (WSS) Lohsa II, zu dem die Speicher Lohsa II, Dreiweibern und Burghammer gehören, und dem Speicher Bärwalde steht ein geplanter Betriebsraum von insgesamt 98,23 Mio. m³ zur Niedrigwasseraufhöhung in Brandenburg und Berlin zur Verfügung. Für den Speicher Bärwalde gilt zurzeit ein eingeschränkter Betriebsraum aus Gründen der Anlagensicherheit mit einem Volumen von 12,6 Mio. m³. Diese Speicher sind für





den Hochwasserrückhalt aufgrund der nicht zum Zweck der Hochwasserschutzfunktion konzipierten Kapazitäten der Zu- und Ableiter und der Standsicherheit nur bedingt nutzbar.

Bisher ist man davon ausgegangen, dass Niedrigwasserphasen mit einer Erhöhung der Sulfatlast in der Spree einhergehen. In diesem Fall wäre eine Niedrigwasseraufhöhung gleichzeitig auch eine Maßnahme zur Sulfatlaststeuerung in der Spree (siehe 2.6). In der letzten Niedrigwasserperiode 2018-2020 hat sich aber gezeigt, dass sich die Sulfatkonzentrationen in Sachsen sowie von der Landesgrenze Sachsen/Brandenburg bis etwa nach dem Spreewald (Pegel Leibsch) vergleichmäßigen. Bis zum Pegel Leibsch tritt bereits ein erheblicher Verdünnungseffekt ein. Danach wirkt im Zwischeneinzugsgebiet zwar ebenfalls ein deutlicher Verdünnungseffekt, allerdings nehmen die Schwankungen der Sulfatkonzentration wieder zu.

Ähnlich wie im Hochwasserschutz ist eine 100%ige Absicherung nicht möglich, so dass bei aufeinander folgenden Extremjahren wie 2018 bis 2020 die aktuell zur Verfügung stehenden Speicherreserven nicht ausreichen, um den Wasserbedarf der Nutzungen uneingeschränkt absichern zu können. Inwieweit die neuen Speicher zukünftig ausreichen werden, um einer Verschärfung der Einschränkungen auf die Wassernutzungen vor allem in Trockenperioden aufgrund der Einstellung der Grubenwasserhebung und den Effekten aus der Klimaänderung entgegenzuwirken, bedarf der weiteren Untersuchung.

Ab Betriebsbereitschaft ist geplant, diese Speicher im Verbund mit den hoheitlichen Talsperren und Speichern zu bewirtschaften. Dabei bedeuten

- PSP I, dass der bautechnische Probestau (in der Regel bis Vollfüllung) erfolgreich war,
- PSP II, dass nach Durchführung der wassergütwirtschaftlichen Maßnahmen, nach deren Abschluss die Wasserbeschaffenheit den Wassergütezielen des Sanierungsrahmenplanes entspricht, der Speicher den wasserwirtschaftlichen Normalbetrieb aufnehmen kann.

In der Probestauphase I sind in der Regel keine Abgaben zulässig. In der aktuellen Probestauphase II sind unter Beachtung der Immissionsrichtwerte der Vorfluter eingeschränkte Abgaben aus den Speichern zur Niedrigwasseraufhöhung zulässig - so geschehen 2018 mit insgesamt 22,8 Mio. m³ (WSS Lohsa II: 21,3 Mio. m³, SB Bärwalde 1,5 Mio. m³ (LMBV, 2019)). Für die Bewirtschaftung des WSS Lohsa II erfolgt zurzeit der Ausbau der Kleinen Spree unterhalb des Ableiters Burghammer auf 7 m³/s. Für den Speicher Bärwalde wird die PSP II voraussichtlich nach Fertigstellung des Hochwasserentlastungsbauwerkes abgeschlossen sein. Bis zur Fertigstellung der Anlagensicherheit bei Hochwasser des Speichers Bärwalde kann dieser nur bis maximal 124,0 m NHN und damit mit einem reduzierten Betriebsraum bewirtschaftet werden.

Der Speicher Bärwalde wird zukünftig im Verbund mit dem Wasserspeichersystem Lohsa II (WSS LII) und der TS Spremberg bewirtschaftet. Auf Grund der geringeren Sulfatkonzentration im Speicher Bärwalde trägt dieser dabei hauptsächlich zur effektiven Sulfatsteuerung bei. Für die Bewirtschaftung des WSS Lohsa II besteht eine Ausleitrestriktion hinsichtlich der Sulfatkonzentration, da Abgaben nicht dazu führen sollen, dass der Immissionsrichtwert in Spremberg-Wilhelmsthal überschritten wird. Mit den zur Sulfatverdünnung führenden Abgaben aus dem Speicher Bärwalde kann hier operativ optimal bewirtschaftet werden. Im Ländermodell WBaIMo Spree-Schwarze Elster ist zur Berücksichtigung und Kopplung der Abhängigkeiten von Mengen- und Gütebewirtschaftung das Sulfatprognosemodul integriert worden. Damit ist es möglich, auch im Ländermodell den Einfluss der Wasserbeschaffenheit auf die Mengenbewirtschaftung abzubilden. Seit 2017 laufen darüber hinaus hydrogeologische Modellierungen im Auftrag der LMBV (Hydrogeologisches Großraummodell Ostsachsen Ost (HGM OSO), IWB Dr. Uhlmann), um die Grundwasserzu- und abströme in das SB Bärwalde und das WSS Lohsa II auch hinsichtlich der Sulfatfrachten zu quantifizieren.





Bei der Bewirtschaftung der Bergbaufolgeseen und Festlegung der Überleitungsmengen ist die Wechselwirkung von Oberflächenwasser und Grundwasser zu berücksichtigen. Zur weiteren Qualifizierung des Oberflächenwassermodells WBalMo können künftig auch Ergebnisse aus dem Komplexmodell (GRM Lausitz) beitragen.

In einem Argumentationspapier „Grundwasserbeeinflussung durch den Braunkohlebergbau“ (LfULG, 2015) wurde der Bergbaueinfluss auf den sich nach Flutung der Bergbaufolgeseen und Füllung des Grundwasserspeichers einstellenden Grundwasserstand beschrieben. Es sollte geklärt werden, ob sich nach Bergbauende grundsätzlich der vorbergbauliche Grundwasserstand wiederherstellt. Vier Thesen wurden hierzu aufgestellt:

1. Der nur im Lausitzer Revier angewandte Ansatz, dass die 2 m-Absenkungslinie dem Schwankungsbereich des GW-Standes entspricht, ist fachlich nicht korrekt. Das heißt, die Bereiche der bergbaulichen Verantwortung sind zu gering ausgewiesen.
2. Der Grundwasserstand steigt jeweils bergbaubedingt nicht (nur) auf das vorbergbauliche Niveau wieder an. Gründe für bergbaubedingt mancherorts höhere GW-Stände sind insbesondere Kippen als Strömungshemmnisse (Aufstau- und Einschnürungseffekte), Geländeaufhöhungen durch die Verkippung mit Auswirkung auf das benachbarte Gewächse, fehlende oder weniger wirksame Entwässerungssysteme (Gräben und Drainagen) und/oder die Verlegung und teilweise Dichtung von Fließgewässern („Näher-Heranholen“ des Fließgewässers an Siedlungen, Rückstaubereiche vor Wehren, fehlende Vorflutwirksamkeit wegen technischer Dichtungen).
3. Durch den Bergbau und die Herstellung von Bergbaufolgeseen stellt sich ein veränderter Wasserhaushalt ein. Dieser reagiert anders auf hydrologische Stresssituationen als unter den vorbergbaulichen Verhältnissen. Gründe sind geänderte hydraulische Wirkungen von zer- oder gestörten bzw. neu entstandenen Grundwasserleitersystemen und von teils nicht mehr vorhandenen oder gedichteten Vorflutern.
4. In Gebieten mit annähernd abgeschlossenem Grundwasserwiederanstieg und entsprechend notwendigen Entwässerungsmaßnahmen stellen sich nur in Ausnahmefällen vorbergbauliche Grundwasserströmungsverhältnisse wieder ein. Gründe sind zusätzlich zu 2. und 3. die Wechselwirkungen mit den Seen mit gesteuerten Wasserständen und z. B. die Herstellung von verdichteten Böschungsbereichen oder Dichtwänden.

Durch den Abbau der Massen werden die hydraulischen Parameter auf Grund der Gewinnung mit den Tagebaugroßgeräten sowie dem Winkelversatz bei der Abraumförderbrückentechnologie teilweise deutlich im Verhältnis zum gewachsenen Grundwasserleiter verändert. Die Lagerungsdichte und das Porenvolumen entsprechen dann nicht den natürlich abgelagerten Sedimenten. Quartäre und tertiäre Materialien werden durchmischt, die Durchlässigkeiten erheblich verändert. Aufgrund der Zerstörung des Systems von Grundwasserleitern und Stauern kann es lokal im Zustrom zur Kippe auch zu höheren Grundwasserständen kommen als im vorbergbaulichen Zustand und damit zu Vernässungsflächen während Feuchteperioden.

Im Vergleich zur vorbergbaulichen Situation entstehen Seengebiete in größerem Ausmaß und somit neue hydraulische Strömungsverhältnisse. Bei umverlegten und gedichteten Fließgewässerabschnitten werden auch nach Abschluss des Prozesses des Grundwasserwiederanstiegs größere Abschnitte verbleiben (z. B. Kleine Spree), in denen die Dichtung erhalten werden muss, weil sich aufgrund der Verlegung aus der ursprünglichen Aue heraus keine Kommunikation zwischen Grund- und Fließgewässer einstellen wird. Eine räumliche Rückverlegung zum ehemaligen Verlauf ist nahezu unmöglich, weil entweder die ehemalige Aue von Seewasserflächen eingenommen wird oder von Kippenflächen, die teilweise andere Höhenverhältnisse aufweisen können.



2.4 ROLLE DES AKTIVEN BERGBAUS UND DER SÜMPFUNGSWASSER-EINLEITUNGEN

In den bisherigen Betrachtungen ist noch nicht die Rolle der aktiven Tagebaue Jänschwalde, Reichwalde, Nochten bzw. Welzow Süd (Abb. 23) bewertet, deren Betrieb bis etwa 2042 bzw. 2045 geplant war und deren Laufzeit aufgrund des vorzeitigen Ausstiegs aus der Kohleverstromung verkürzt werden soll (Tab. 2). Betreiber der noch aktiven Tagebaue ist die Lausitz Energie Bergbau AG (LEAG). Die LEAG entstand 2016 durch den Verkauf der Lausitzer Braunkohletagebaue und der -kraftwerke des schwedischen Energiekonzerns Vattenfall AB an die tschechische EPH-Gruppe und deren Finanzpartner PPF Investments.

Das durch die LEAG im Zusammenhang mit der Sümpfung (Trockenhalten) der Tagebaue gehobene Wasser wird nach Vorreinigung in den Grubenwasserreinigungsanlagen weitgehend von Eisen befreit. Für die Entfernung von Sulfat gibt es noch kein geeignetes Reinigungsverfahren. Daher wird das Wasser mit Sulfat belastet in die Vorflut abgeleitet und macht einen hohen Prozentsatz der Sulfatfracht in den Fließgewässern aus.

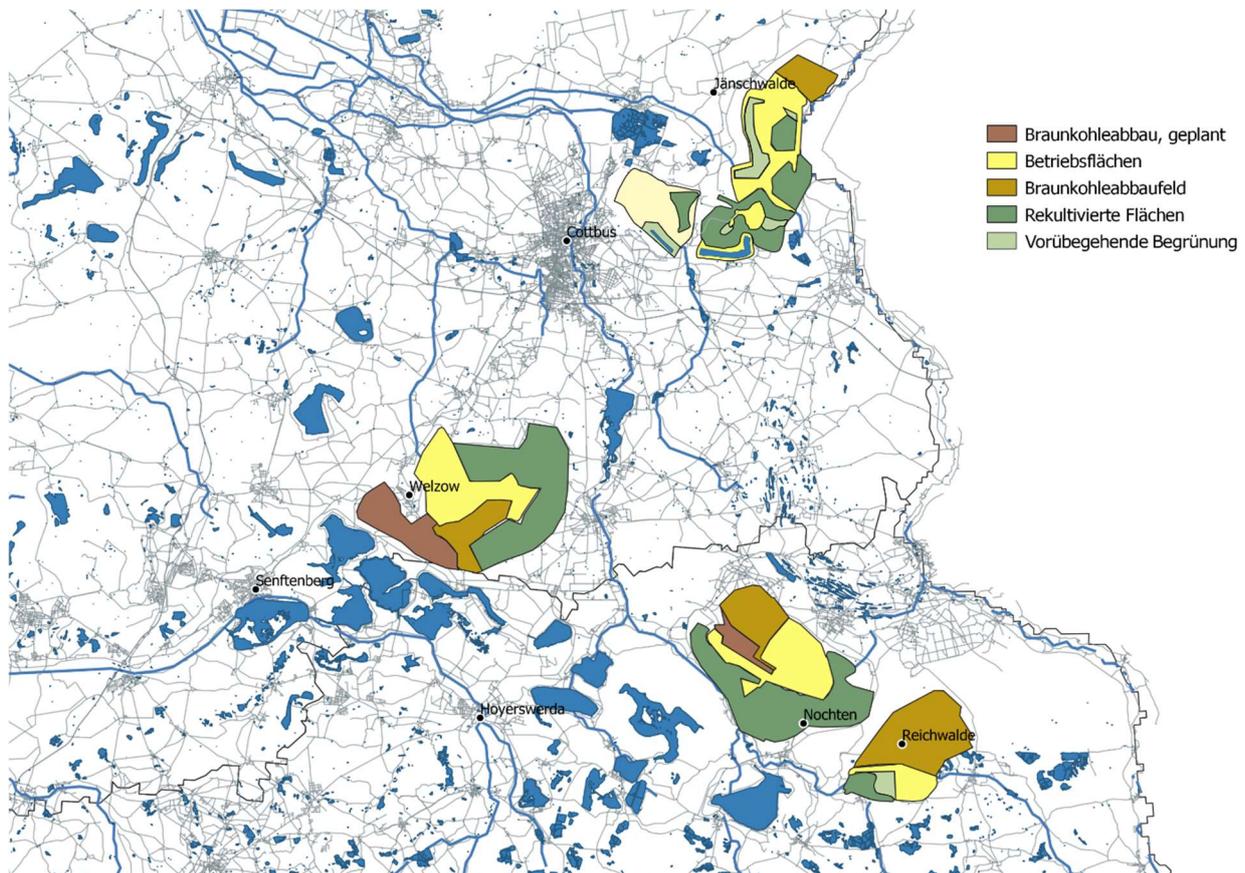


Abbildung 23: Aktive Tagebaue im Jahr 2020

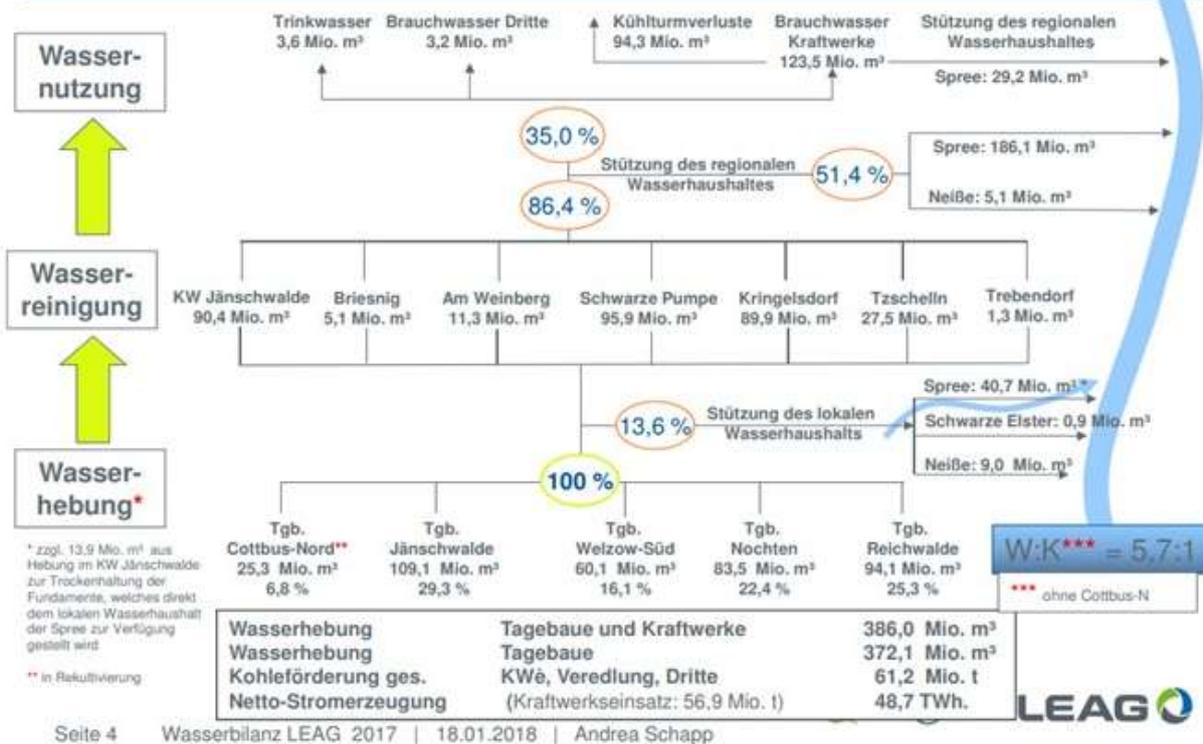
Einen Überblick zur Wasserverteilung 2017 zeigt die Abb. 24 der LEAG. Tab. 7 fasst die wichtigsten Zahlen daraus zusammen.

Tabelle 7: Wasserhebung in Tagebauen und Einleitungen von Sümpfungswässern (Grundwasser) in die Oberflächengewässer im Jahr 2017 (Schapp, 2018)

Wasserhebung [Mio. m ³]	Spree [Mio. m ³]	Lausitzer Neiße [Mio. m ³]	EZG Schwarze Elster [Mio. m ³]
372,1	256	14,1	0,9



Wasserhaushaltsbilanz Lausitz - 2017 LE-B & LE-K



Seite 4 Wasserbilanz LEAG 2017 | 18.01.2018 | Andrea Schapp

Abbildung 24: Verteilung der Sumpfungswässer der LEAG 2017 (Schapp, 2018)

Von einer gesamten Wasserhebung der Tagebaue in Höhe von 372 Mio. m³ wurden 2017 in die Spree 256 Mio. m³, in die Lausitzer Neiße 14,1 Mio. m³ und in die Schwarze Elster 0,9 Mio. m³ eingeleitet. **Die Sumpfungswässer stützen somit entscheidend den Wasserhaushalt in den Flussgebieten Spree, Lausitzer Neiße und Schwarze Elster. Im Trockenjahr 2018 betrug der Anteil der Sumpfungswässer der LEAG am Abfluss der Spree am Pegel Spremberg im Mittel 47% und im Maximum von 65%** (Abb. 25). Die Sumpfungswässereinleitungen führen zur Anhebung des Abflusses und sind damit ein wesentlicher Bestandteil zur Gewährleistung von Mindestwasserabflüssen und zur Stützung des Füllungsstandes der noch zu flutenden und der bereits gefluteten Bergbaufolgeseen zur Sulfatverdünnung. Mit diesem Wasser wird neben der Unterstützung von ökologischen Funktionen auch die Standsicherheit der Kippenbereiche in den Bergbaufolgeseen gewährleistet. Weiterhin führt dieses Dargebot auch zur schnelleren Auffüllung der Grundwasserabsenkungsbereiche.

Nach Bergbauende werden nur noch wesentlich geringere Wasserhebungen für die Wiedernutzbarmachung der Restlöcher benötigt. Für das Unternehmen LEAG besteht nach Beendigung des Tagebaubetriebs keine wirtschaftliche Notwendigkeit einer Wasserhebung oder eines Weiterbetriebs von Brunnen zwecks Verringerung der Sickerwasserneubildung. Daher wäre auch eine - angesichts der Forderung, nach Ende der Kohleförderung einen Ausgleich zwischen Grundwasserentnahmen und Grundwasserneubildung wiederherzustellen - bestenfalls temporäre Fortführung der Sumpfungswässereinleitungen zu prüfen. Langfristig können Grundwasserentnahmen zur Stützung von Oberflächengewässern nur im Rahmen einer Gesamtbilanzierung der Grundwasserressourcen erfolgen.

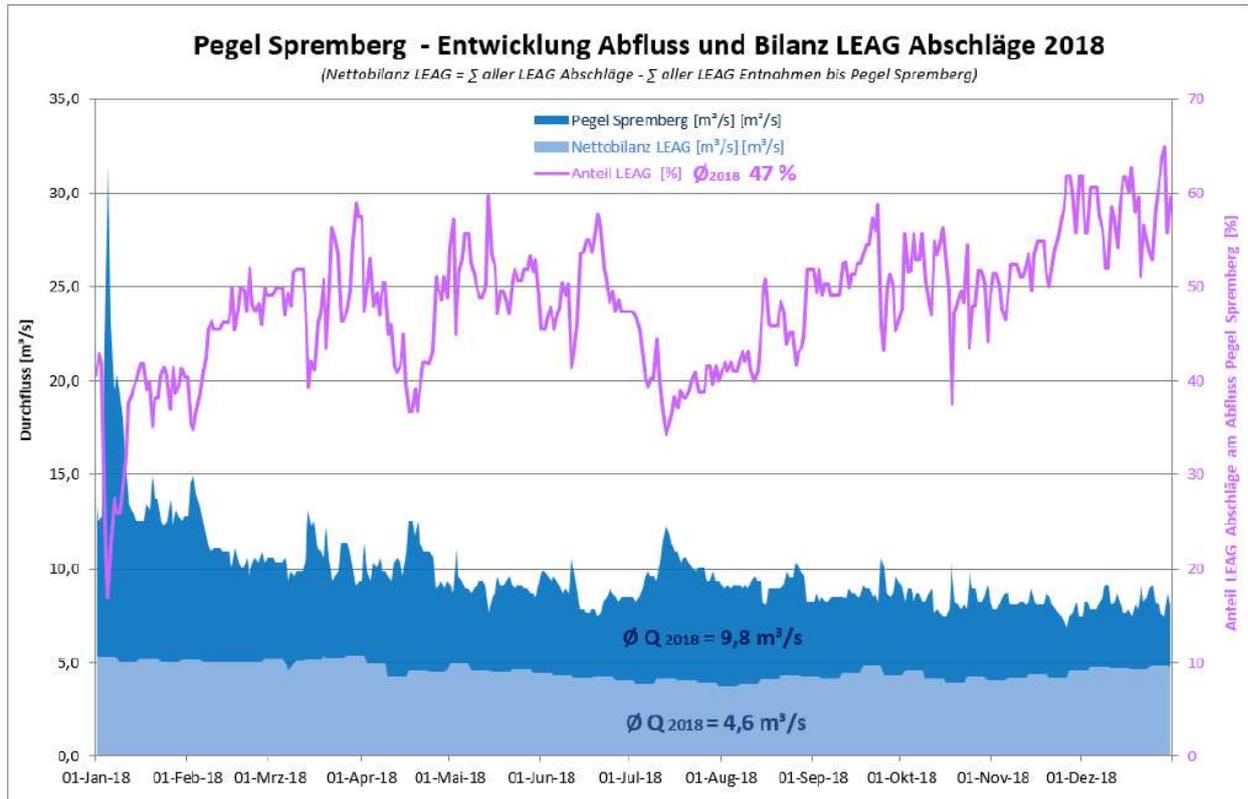


Abbildung 25: Anteil der Sumpfungswassermengen der LEAG am Abfluss der Spree am Pegel Spremberg 2018 (Arnold & Fritze (2019) / FZL LMBV/LEAG)

Eine drastische Verringerung der Einleitung von Sumpfungswässern wird zwar zu einer Verringerung der damit eingebrachten Sulfatfrachten führen, u. a. in der Spree. Es wird sich jedoch das Dargebot in der Mittleren und Unteren Spree verringern. So könnten in Trockenzeiten durch das geringere Dargebot in den Oberflächengewässern auch andere Schutzgüter beeinträchtigt werden. Für die Brandenburger und Berliner Wasserversorgung würde sich das Dargebot deutlich verringern, was auch mit Auswirkungen auf die Abwasserentsorgung verbunden sein kann. Ökologische Funktionen (auch die aus der Wasserrahmenrichtlinie) könnten in Trockenzeiten nicht mehr gewährleistet werden, da die Fließgewässer häufiger trockenfallen und FFH Gebiete, z. B. im Einzugsgebiet Struga, nicht mehr mit Wasser in der erforderlichen Wasserqualität versorgt werden. Die touristische Bewirtschaftung (u. a. Spreewald, Boot fahren auf der Spree, ...) und die energetische Bewirtschaftung werden begrenzt. Eine Quantifizierung der komplexen ökologischen und wirtschaftlichen Folgen einschließlich der Auswirkungen auf die Trinkwasserversorgung in Brandenburg und Berlin ist aufgrund vielfältiger Unsicherheiten aktuell noch nicht möglich.

Dies ist in der Bergbau-Wasserwirtschaft seit Jahrzehnten bekannt. Daher wurde insbesondere vor 1990 ein System von betriebenen, zu sanierenden und sanierten Tagebauen geplant, welches auch eine systematische und über einen längeren Zeitraum andauernde Stabilisierung des Wasserhaushaltes zum Ziel hatte. Mit den Planungen zum systematischen Kohleausstieg nach 1990 wurden viele Planungen für neue Tagebaue storniert. Betriebene Tagebaue wurden nicht ausgekohlt, die zusätzlich erforderlichen Wassermanagementsysteme wurden teilweise neu geplant und errichtet (z. B. Auslaufbauwerk am Speicher Bärwalde). Mit dem Bau von Dichtungswänden, wie im Bereich des Tagebaues Jänschwalde bereits vor der Wende praktiziert, wird durch die Optimierung und Reduzierung der Wasserhebung im aktiven Tagebau auch eine Verringerung des Absenktrichters im Grundwasser erreicht. Dies wirkt sich zukünftig positiv aus, indem weniger Porenräume wieder aufgefüllt werden müssen.



Außerdem werden weniger Grundwasserleiter belüftet, die Pyritoxidation wird minimiert, was eine geringere Freisetzung von Eisen und Sulfat im Grundwasser und letztlich im Oberflächenwasser bewirkt. Am südöstlichen Tagebaurand von Tagebau Reichwalde wird zurzeit eine unterirdische Dichtwand gebaut. Es ist das fünfte Dichtwandprojekt im Lausitzer Revier, neben den Dichtwänden in Cottbus-Nord, Jänschwalde und am früheren Tagebau Berzdorf sowie der aktuellen Dichtwandbaustelle am Tagebau Welzow-Süd. Die Reichwalder Dichtwand wurde 2010 begonnen. Sie soll rund 12 km lang werden und im Jahr 2030 fertig sein.

Auch die LMBV führt Wasserhebungen im Rahmen der Wasserbewirtschaftung in ihrem Verantwortungsbereich durch (Abb. 26). Das Volumen lag 2018 in der Lausitz bei 111,6 Mio. m³ (LMBV, 2019b). Im Jahr 2019 wurden 56 Mio. m³ Wasser gehoben (LMBV, 2020a).

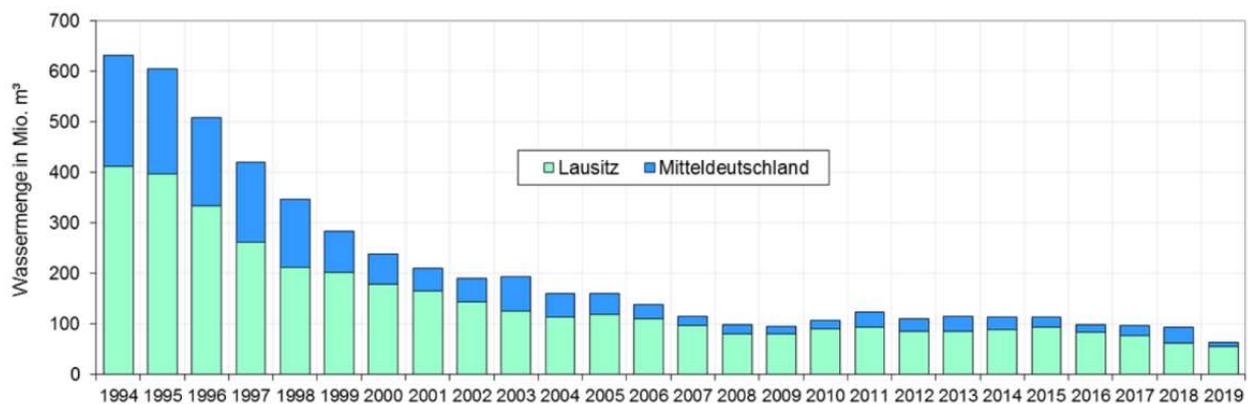


Abbildung 26: Wasserhebung der LMBV (LMBV, 2020a)

In der Zeit um 2038, dem geforderten Zeitpunkt des Ausstiegs aus der Kohleverstromung, wird die Flutung der bestehenden Tagebauhohlformen inklusive der Auffüllung des Grundwasserabsenkungstrichters noch nicht abgeschlossen sein. Mit dem vorzeitigen Ausstieg wird sich daher die Situation deutlich verschärfen. Aus Erfahrungen muss davon ausgegangen werden, dass durch den vorzeitigen Ausstieg ein erhöhter technischer Aufwand für die Sanierung entsteht und damit erhöhte Kosten anfallen. Der Ausstieg aus dem Braunkohlenbergbau bedeutet, dass in bisher ungeplant schneller Abfolge die Sanierung und Flutung der verbliebenen Restlöcher erfolgen muss. Dabei sind folgende technische und ökologische Bedingungen zu berücksichtigen:

1. Während der Sanierung der Restlöcher und Vorbereitung zur Flutung muss der Grundwasserstand weiter niedrig gehalten werden. Somit wird die Hebung von bergbaubelastetem Grundwasser und Einspeisung in die Vorflut über einen längeren Zeitraum fortgesetzt werden, jedoch mit deutlich geringerem Umfang als bei Tagebaubetrieb.
2. Nach der Sanierung der Restlöcher muss zusätzlich zum natürlichen Grundwasseraufgang Oberflächenwasser zur Flutung der Bergbaufolgeseen und der Bereiche der Grundwasserabsenkung bereitgestellt werden. Wegen des angespannten Wasserhaushaltes steht dieses zur Flutung der Bergbaufolgeseen und später zur Aufrechterhaltung der Wasserbeschaffenheit nur eingeschränkt zur Verfügung. Das bedeutet, dass die Sanierung große Zeiträume in Anspruch nimmt. Da eine schnelle Flutung der Bergbaufolgeseen mit möglichst unbelastetem Oberflächenwasser aus Aspekten der Standsicherheit der Böschungen und der Beschaffenheit erforderlich ist, ist nach Auffassung der Autoren die zeitgleiche Flutung mehrerer Bergbaufolgeseen nicht möglich. Der Aufwand zur Erhaltung der Standsicherheit der Böschungssysteme, die über einen viel längeren Zeitraum der natürlichen Erosion durch Niederschläge ausgesetzt sein werden, wird sich deutlich erhöhen.



3. In Trockenzeiten, insbesondere in der Aufeinanderfolge von mehreren Trockenjahren wie 2018-2020 mit geringen Niederschlägen und hohen Temperaturen, die zu einer höheren Verdunstung führen und ausbleibendem Frühjahrszufluss zur Füllung der Speicher, steht jetzt schon nicht mehr genügend Wasser zur Deckung des Bedarfs des Wasserhaushaltes zur Verfügung. Im Spreeinzugsgebiet war das vertraglich geregelte, aus sächsischen Talsperren für die Flutung/Nachsorge von Bergbaufolgeseen, für den Spreewald und zum Teil die Sulfatsteuerung zur Verfügung gestellte Volumen (20 Mio. m³) bereits nach wenigen Monaten Trockenheit aufgebraucht. In Abhängigkeit ihrer Betriebsbereitschaft und der verfügbaren Betriebsräume können das WSS Lohsa II und das SB Bärwalde die fehlenden Grubenwassermengen zum Teil ausgleichen. Bei niedrigen Wasserständen, insbesondere in den SB Lohsa II und Burghammer, kann verstärkt belastetes Grundwasser zufließen und erhebliche Beschaffenheitsveränderungen hervorrufen. Die Sulfat- und Eisenproblematik in der Region würde sich verschärfen.
4. Die Absenkung von Bergbaufolgeseen in Trockenzeiten unter die geotechnischen Grenzwasserstände kann zu Standsicherheitsproblemen an unsanierten Kippenböschungen führen. Ein Beispiel dafür ist das Setzungsfließen an der Insel im Senftenberger See.
5. Alle Klimaprojektionen stimmen darin überein, dass Zeiten mit Trockenheit zunehmen werden (Dauer und Häufigkeit).

Mit dem beschlossenen Ausstieg aus der Kohleverstromung werden sich die ohnehin als Spätfolgen des Kohleabbaus bestehenden wasserwirtschaftlichen Probleme erheblich verstärken, irreversible Schädigungen können nicht ausgeschlossen werden. Für die Bewertung von Gegenmaßnahmen sind vorhandene Prognoseinstrumente zu prüfen, bei Bedarf zu qualifizieren bzw. neu zu entwickeln.

2.5 BEEINTRÄCHTIGUNG DER GEWÄSSER DURCH EISEN UND SULFAT UND ANWENDUNG DER WASSERRAHMENRICHTLINIE

Braunkohlenbergbaulich bedingte Stoffeinträge prägen die Wasserbeschaffenheit von Spree und Schwarzer Elster sowie deren Nebenflüsse in der Lausitz. Zum Verständnis der erforderlichen Bewirtschaftungsmaßnahmen werden nachfolgend die Ursachen und Prozesse der Eisen- und Sulfatfreisetzung kurz beschrieben.

Durch die weiträumige Grundwasserabsenkung zur Braunkohlegewinnung in der Lausitz von ca. 2.100 km² gelangte Sauerstoff in zuvor sauerstofffreie Bereiche des Untergrunds und verwitterte die dort lagernden Eisendisulfidminerale (Pyrit, Markasit). Dabei entstanden Eisen, Sulfat und Säure, welche nach Beendigung des Tagebaubetriebs und mit dem einsetzenden Grundwasserwiederanstieg an die Oberfläche und in die Gewässer gelangen. Da der Grundwasserwiederanstieg in der Lausitz noch nicht abgeschlossen ist, wird dies noch viele Jahre zu erhöhten Eisen- und Sulfatfrachten in der Spree und ihren Zuflüssen sowie in einigen Zuflüssen der Schwarzen Elster führen (MLUK, 2020).

Neben diesem diffusen Eintrag von Sulfat und Eisen in die oberirdischen Fließgewässer gibt es punktuelle Eintragspfade. Während des Tagebaubetriebs ist es notwendig, das Grundwasser abzusenken, um an die Kohle zu gelangen. Dabei werden Stück für Stück die Decksedimente über den Kohleflözen abgetragen und auf Kippen abgelagert. Hier sind die Sedimente dem Luftsauerstoff ausgesetzt und es kommt zur Pyritoxidation (Abb. 27). Pyrit und Markasit sind insbesondere in den tertiären sandigen und kiesigen Schichten zu finden, die oberhalb der Braunkohleflöze im Lausitzer Braunkohlenrevier liegen. Bei Regen werden die Verwitterungsprodukte vom Sickerwasser verfrachtet und gelangen über die Tagebauentwässerung in die Vorflut. Durch Grubenwasserreinigungsanlagen kann zumindest das



Eisen fast vollständig vor der Einleitung in die Fließgewässer aus dem Wasser entfernt werden (MLUK, 2020).

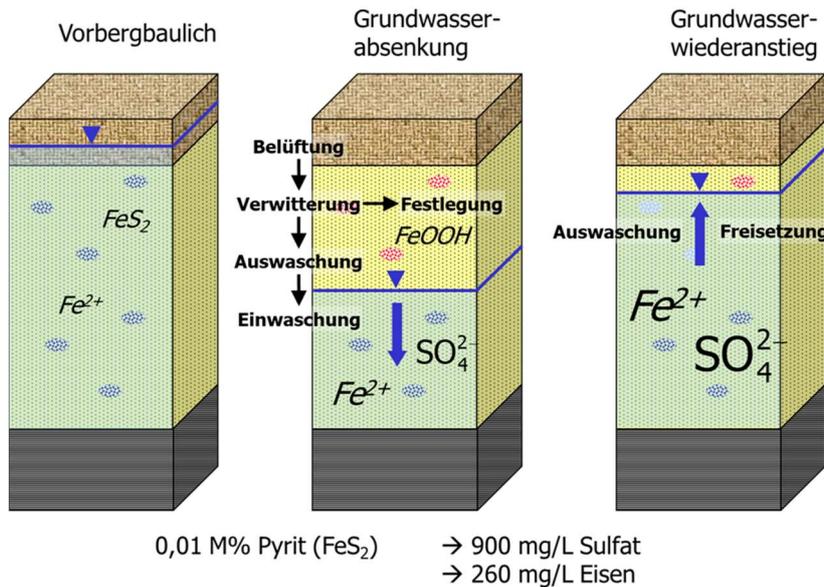


Abbildung 27: Prinzip der Pyritverwitterung (Uhlmann & Theiss, 2013)

Aufgrund des zuströmenden sulfat- und eisenreichen Kippenwassers weisen Bergbaufolgeseen des Sanierungsbergbaus ebenfalls erhöhte Sulfat- und Eisenkonzentrationen auf. Kann die Mindestgeschwindigkeit des Seewasserspiegelanstiegs durch Flutung mit Oberflächenwasser nicht gewährleistet werden, führt ein erhöhter Grundwasserzufluss zur Versauerung der Bergbaufolgeseen. Auch nach Erreichen der Endwasserstände führen die Speicherbewirtschaftung (z. B. Lohsa II) und stark schwankende See- oder Grundwasserstände zur Zunahme der Versauerung. Durch Ausleitungen aus den Bergbaufolgeseen kommt es insbesondere zu einem Anstieg der Sulfatkonzentration in der Spree, da in diesen im Regelfall hohe Sulfatkonzentrationen vorhanden sind. Die Eisenkonzentration bei Ausleitungen aus den Bergbaufolgeseen werden in der Regel durch Bekalkungsmaßnahmen gesenkt. Sowohl der diffuse Eintrag von Eisen und Sulfat als auch der Sulfateintrag aus Bergbaufolgeseen ist dem Sanierungsbergbau, der Sulfateintrag aus Tagebauen ist dem aktiven Bergbau zuzuordnen (MLUK, 2020; IWB, 2015). In Tab. 8 sind die Ursachenanteile für die Sulfat- und Eisenkonzentrationen in der Spree aufgeführt. Abb. 28 zeigt beispielhaft die maßgeblichen Quellen für den Eiseneintrag in Fließgewässer.

Tabelle 8: Herkunft der Eisen- und Sulfatkonzentrationen in der Spree (MLUK, 2020)

	Aktiver Bergbau	Sanierungsbergbau	Natürlicher Anteil/ Eintrag aus dem Einzugsgebiet	Quelle
Eisen	6%	70%	23%	IWB (2016)
Sulfat	54%	30%	16%	IWB (2015)

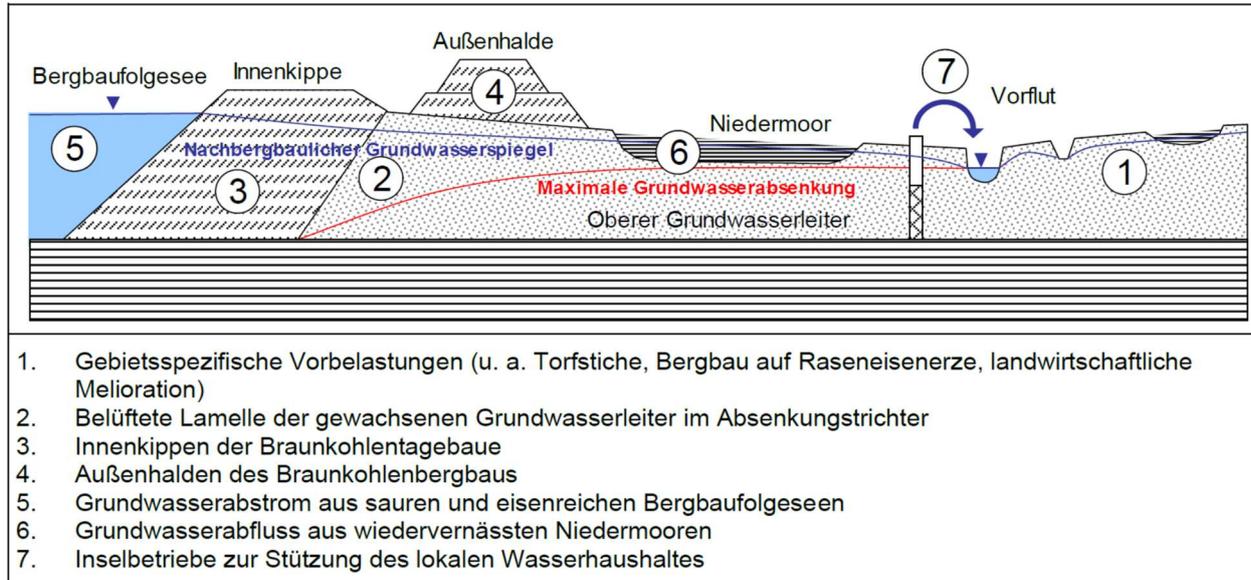


Abbildung 28: Quellen der Eisenbelastung von Fließgewässern in der Lausitz (IWB & iGR, 2020)

Im Ergebnis des Landtagsbeschlusses (LBB, 2013) „Verockerung der Spree - Gefahren für die Fließgewässer und den Spreewald eindämmen“ vom 23.01.2013 wurden zahlreiche zusätzliche Maßnahmen zur Reduzierung der bergbaulich bedingten Stoffeinträge entwickelt und umgesetzt. Wesentlich ist der Aufbau des Barrierekonzeptes zum Schutzgut Spreewald (benannt als Barriere im Nordraum) sowie an der Talsperre Spremberg und den Fließgewässern Kleine Spree und Spree zwischen Ruhlmühle und Sprewitz (benannt als Barriere im Südraum). Am 17.12.2015 fasste der Brandenburgische Landtag den Beschluss: „Strategischer Gesamtplan zur Senkung der bergbaubedingten Stoffeinträge in die Spree und deren Zuflüsse in der Lausitz“ (LBB, 2015). Dieser Beschluss erkennt die ersten positiven Effekte im Umgang mit den bergbaulich bedingten Stoffeinträgen an und stellt fest, dass die Reduzierung der Eisen- und Sulfatbelastung eine Aufgabe darstellt, die vermutlich über Jahrzehnte andauern wird. Um die Anstrengungen zur Reduzierung von bergbaulich bedingten Stoffeinträgen langfristig zu gestalten und weiterzuentwickeln, bedarf es eines strategischen Gesamtplanes. Dem Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe (LBGR) wurde die Aufgabe übertragen, ein strategisches Hintergrundpapier zu den bergbaubedingten Stoffeinträgen in den Flusseinzugsgebieten Spree und Schwarze Elster zu erarbeiten (LBGR, 2020).

Zur Sicherung der Trinkwasserversorgung gibt es den Bewirtschaftungserlass Sulfat in Brandenburg (MLUK, 2019). Darin ist ein Immissionsrichtwert von 280 mg/l Sulfat zur Sicherung der Trinkwasserversorgung am Standort des WW Briesen festgesetzt (Gewinnung von Uferfiltrat der Spree). Bei Nichteinhaltung des Richtwertes prüft das Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe (LBGR) federführend in Abstimmung mit den sonstigen Wasserbehörden, dem Wasserwirtschaftsamt und unter Einbeziehung des örtlich zuständigen Gesundheitsamtes, ob und welche Maßnahmen zur Vermeidung einer Beeinträchtigung der Trinkwasserversorgung geeignet, angemessen und erforderlich sind. Die im Bewirtschaftungserlass festgelegten Zielwerte sind verbindlich für das behördliche Handeln und bilden eine Grundlage für zukünftige wasserbehördliche Entscheidungen in der Lausitz.

Aufbauend auf den Bewirtschaftungserlassen erfolgte die Erarbeitung eines strategischen Hintergrundpapiers zu den bergbaubedingten Stoffeinträgen in den Flusseinzugsgebieten Spree und Schwarze Elster. Neben Eisen und Sulfat wurden unter anderem der pH-Wert, die



Säurekapazität, Ammonium, Schwer- und Spurenmetalle sowie sedimentchemische Befunde berücksichtigt (IWB & gIR, 2018). Unter Nutzung verschiedener Quellen bei Behörden der Länder Berlin und Brandenburg sowie dem Freistaat Sachsen, der LEAG, der LMBV sowie relevanten Gewässernutzern wurde erstmalig eine gemeinsame Datenbank erstellt. Die Leistungspakete 2 – Zustandsanalyse und Handlungsschwerpunkte – (IWB & gIR, 2020) und 3 – Maßnahmenkonzept – (IWB, 2020) wurden im Juni 2020 abgeschlossen (siehe auch 2.6).

Im Zusammenhang mit der Umsetzung der europäischen Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) mussten Grund- und Oberflächenwasserkörper (GWK, OWK) ausgewiesen und nach festgelegten Regularien bewertet werden (WHG, Länderwassergesetze, Oberflächengewässerverordnung, Grundwasserverordnung). Für das Grundwasser gibt es für Sulfat einen festgelegten Grenzwert von 250 mg/l, der zu einem schlechten Zustand des GWK führt, wenn mehr als 20% der Fläche belastet ist. Für das Oberflächenwasser sind für Sulfat und Eisen Orientierungswerte festgelegt, die vom Gewässertyp abhängen. Die Bewirtschaftungspläne und entsprechende Hintergrunddokumente für den Umgang mit braunkohlenbergbaubelasteten Wasserkörpern der FGG Elbe (2021) erläutern die Herangehensweise.

Die meisten Bergbaufolgeseen wurden aufgrund verschiedener Ursachen noch nicht in die WRRL-Berichtskulisse aufgenommen. Die festgelegten Kriterien in Sachsen lauten:

- Die Bergaufsicht für die Seen muss beendet sein. Ein Kriterium dafür ist die Standsicherheit im Bereich des Tagebaufolgesees.
- Der Endwasserstand muss dauerhaft im vorgegebenen Schwankungsbereich liegen.
- Die ökologische Bewertung nach den Verfahren der LAWA Empfehlungen (LAWA, 2015, 2020) ist sicher möglich.

Alle Sanierungsarbeiten müssen darauf zielen, dass die Bergbaufolgeseen perspektivisch in die WRRL-Kulisse aufgenommen werden und dann auch der bestmögliche Zustand erreichbar sein muss.

Während der mengenmäßige Zustand des Grundwassers mit Einstellen der Sümpfung wieder als gut bewertet werden kann, gehen alle bisherigen Untersuchungen davon aus, dass auch nach Einstellung des Bergbaus der chemische Zustand des Grundwassers und der Zustand des Oberflächenwassers über einen Zeitraum von mehr als 100 Jahren nach WRRL als schlecht bewertet werden muss. Daher wurden für die braunkohlebeeinflussten GWK in Bezug auf den chemischen Zustand und den mengenmäßigen Zustand „weniger strenge Bewirtschaftungsziele“ nach § 47 Abs. 3 WHG begründet und in Anspruch genommen. Auch einige Seen der Niederlausitz bleiben nach Einstellen des Bergbaus über ähnlich lange Zeiträume sauer.

Die Vorgehensweise ist im "Hintergrunddokument zu weniger strengen Bewirtschaftungszielen für die im deutschen Teil der Flussgebietsgemeinschaft Elbe und Oder durch den Braunkohlebergbau und den Sanierungsbergbau beeinflussten Grundwasserkörper" beschrieben (FGG Elbe, 2015): „Neben dem klaren Bekenntnis der sächsischen Regierung zur Gewinnung der Braunkohle als Brückentechnologie im Zuge der Energiewende, zur Sicherung der Energieversorgung und von Arbeitsplätzen, besteht auch durch landesplanerische Grundsatzentscheidungen (Braunkohlenpläne) ein öffentliches Interesse an der Fortführung des Braunkohlenabbaus. Die Ausnahmetatbestände gem. § 47 Abs. 3 WHG gelten hinsichtlich des Sanierungsbergbau durch die LMBV unverändert fort. Auch mit dem beschlossenen früheren Ausstieg aus der Kohleverstromung werden die Folgen des Bergbaus noch über viele Jahrzehnte auf sächsische Gewässer wirken, so dass sich die Notwendigkeit der Inanspruchnahme von WRRL-Ausnahmen fortsetzen wird.“





Bisher wurden zum einen Ausnahmen für den mengenmäßigen Zustand für GWK, in denen aktiver Braunkohletagbau betrieben wird, ausgewiesen, da erhebliche Grundwasserentnahmen langfristig erforderlich sind sowie ein Grundwasserwiederanstieg nach Abschluss des Braunkohleabbaus sehr lange Zeit benötigen wird. Des Weiteren wurden weniger strenge Ziele für den chemischen Zustand für braunkohlebeeinflusste GWK in Anspruch genommen. Begründungen beruhen auf der Unumkehrbarkeit der großflächigen Veränderungen der Grundwasserleiter, der hervorgerufenen Belüftung und hydrochemischen Veränderungen, die in ihrem Ausmaß nicht sanierbar sind.“

Die Grundlagen für die Begründung werden durch die FGG Elbe unter Mitwirkung von Bergbausanierern und Bergbautreibenden regelmäßig fortgeschrieben.

Die ausgewiesenen braunkohlebergbaulich beeinflussten Fließgewässer-OWK wurden einer im Auftrag der LMBV erstellten Studie entnommen (GUB, 2006), in der alle beeinflussten Fließgewässer-OWK im Zuständigkeitsbereich der LMBV enthalten sind. Zu diesem Bestand kommen weitere OWK hinzu, die vom Bergbaubetrieb der LEAG beeinflusst werden oder sich in Gebieten befinden, wo der Braunkohlebergbau vor 1949 stattgefunden hat, wodurch die Zuständigkeit nach 1990 an die Bundesländer übergegangen ist. Hintergrund der Ausweisung dieser OWK sind in erster Linie morphologische Eingriffe (Verlegung, Dichtung oder ein anderweitiger Ausbau von Gewässerabschnitten), bei denen der Einfluss so stark war, dass sie signifikant negative Auswirkungen auf die biologischen Komponenten ausüben.

In den Bereichen, wo eine Kommunikation zwischen Grund- und Oberflächenwasser wiederhergestellt ist, ist in einigen Fließgewässerabschnitten mit der Verockerung des Wassers und der Gewässersohle eine weitere, sichtbare Belastung hinzugekommen. Eine nicht sichtbare, aber chemisch messbare Belastung stellen die erhöhten Sulfatkonzentrationen dar. Die Sulfatkonzentration setzt sich aus den Punkteinleitungen der Grubenwasserreinigungsanlagen, dem diffusen Zutritt entsprechend belasteten Grundwassers und untergeordnet aus der Einleitung aus Bergbaufolgeseen zusammen (Tab. 8). Vor diesem Hintergrund befinden sich auch diejenigen OWK im Bestand der braunkohlebergbaulich beeinflussten Fließgewässer-OWK, die nur geringe oder keine morphologischen Veränderungen durch den Braunkohlebergbau erfahren haben, sich aber im ehemaligen Absenkungstrichter befinden, so dass die Wahrscheinlichkeit gegeben ist, dass die vorhandene Sulfatbelastung auf den Braunkohlebergbau und die damit verbundene Pyritverwitterung zurückgeführt werden kann.

Im Entwurf der zweiten Aktualisierung des Bewirtschaftungsplans nach § 83 WHG bzw. Artikel 13 der Richtlinie 2000/60/EG für den deutschen Teil der Flussgebietseinheit Elbe für den Zeitraum von 2022 bis 2027 wird beschrieben, dass nunmehr durch eine verbesserte Datengrundlage (in Brandenburg) weniger strenge Ziele festgelegt wurden, für die eine Zielerreichung auch bei Durchführung von Maßnahmen bis 2027 nicht möglich ist. Diese OWK sind im Dokument genau wie die GWK in Steckbriefen ausführlich beschrieben. Im Hintergrunddokument zur wichtigen Wasserbewirtschaftungsfrage, Verminderung von Bergbaufolgen, wird dokumentiert, dass in sieben künstlichen Fließgewässer-Wasserkörpern im brandenburgischen Schwarze Elster-Gebiet wegen irreversibler Versauerung ihrer vom Bergbau völlig veränderten Einzugsgebiete weniger strenge Bewirtschaftungsziele festgelegt wurden. Begründet wird dies damit, dass durch den mit dem Versauerungsgeschehen gekoppelten Eintrag von gelöstem Eisen für einige biologische Qualitätskomponenten, z. B. die benthische wirbellose Fauna, kein gutes Potenzial erreicht werden kann.

Der Prozess des Zusammenwirkens von morphologischen und chemischen Belastungen auf den Zustand der Fließgewässer ist noch nicht abschließend untersucht. Für tiefergehende Untersuchungen wurde im Auftrag des LfULG eine Studie „Untersuchung ausgewählter





biologischer WRRL-Komponenten im bergbaubelasteten OWK Spree-4, sowie deren Korrelation zu steigenden, diffus zutretenden oder direkt eingeleiteten Eisen- und Sulfatmengen" (IDUS, 2017) durchgeführt.

2.6 ANFORDERUNGEN AN DIE SULFATSTEUERUNG IN DER SPREE

Aufgrund der zunehmenden Belastung der Spree mit Sulfat, Eisen und Azidität hat der brandenburgische Landtag beschlossen, dass ein „Strategischer Gesamtplan zur Senkung der bergbaubedingten Stoffeinträge in die Spree und deren Zuflüsse in der Lausitz" (17. Dezember 2015, Drucksache 6/3203-B) erarbeitet werden soll. Im Auftrag des LBGR wurde in 3 Leistungspaketen ein strategisches Hintergrundpapier erarbeitet (Abb. 29). In den Dokumenten wurde auch der Bewirtschaftungsplan der Flussgebietsgemeinschaft Elbe (FGG Elbe, 2015) mit betrachtet: „Neben den Grundwasserkörpern, welche die Ziele für den mengenmäßigen und/oder chemischen Zustand nicht erreichen, sind darüber hinaus in Brandenburg 73 Fließgewässer-Wasserkörper und 28 Standgewässer-Wasserkörper und in Sachsen ca. 50 Fließgewässer-Wasserkörper durch ihre Lage im Absenkungstrichter bzw. Eisen und Sulfat betroffen."



Abbildung 29: Inhalte des Strategischen Hintergrundpapiers (AG FGB)

Mit dem 1. Leistungspaket wurden 2018 erstmals alle verfügbaren Länder- und Unternehmensdaten, die einen bergbaulichen Bezug haben und bergbauliche Auswirkungen auf Gewässer der Lausitz beschreiben können, zusammengestellt und in einer gemeinsamen Datenbank zusammengeführt (IWB & gIR, 2018). Die Datenzusammenstellung erbrachte, dass wegen der Verfrachtung der Sulfatlasten im Fließgewässerregime nunmehr 1.349 Fließgewässer (nicht nach WRRL berichtsrelevant), sowie 584 Oberflächengewässerkörper (Stand 29.08.2018), also deutlich mehr als bisher angenommen, betrachtet werden müssen. Ergänzend zu den bereits benannten Teileinzugsgebieten von Spree und Schwarze Elster



muss in Belangen des Sulfats das Einzugsgebiet der Dahme einbezogen werden. Im Leistungspaket 2, das der Zusammenstellung der Belastung und der relevanten bereits durchgeführten Maßnahmen diene, wurden die Erkenntnisse der bergbaulichen Einflussnahme auf die Gewässer der Lausitz als Zuarbeit zum Bewirtschaftungsplan zusammengetragen (IWB & iGR, 2020). Im Leistungspaket 3 wurden die unter dem Grundsatz der Verhältnismäßigkeit erforderlichen Maßnahmen zur Stoffreduzierung benannt (IWB, 2020).

In den Bewirtschaftungsgrundsätzen ist festgelegt, dass für Sulfat auf den Immissionsrichtwert (IRW) in der Spree am Pegel Spremberg-Wilhelmsthal auf 450 mg/l gesteuert wird. Im Extremjahr 2018 erfolgte eine temporäre Anhebung des Immissionsrichtwertes für Sulfat in Spremberg-Wilhelmsthal von 450 mg/L auf 500 mg/L am 27.8.2018 und auf 550 mg/l am 17.12.2018. Gemäß dem Bericht zur Auswertung des Niedrigwassers 2018 konnten durch diese Maßnahme die von der Ad-hoc-AG festgesetzten Zielabflüsse in der Spree an den wichtigen Pegelquerschnitten Sprewitz und Leibsch UP ab Ende August 2018 durchweg gewährleistet werden. Auch der Zufluss nach Berlin war jederzeit ausreichend, um dort ernste Wassermengen- oder -gütewirtschaftliche Probleme zu vermeiden. Der Anstieg der Sulfatkonzentration in der Spree über die Immissionsrichtwerte in Neubrück und Rahnsdorf konnte zwar nicht verhindert werden, jedoch waren damit keine negativen Auswirkungen für die Trinkwassergewinnung in den Wasserwerken Briesen und Friedrichshagen verbunden. Als sehr effektive Maßnahme hat sich die temporäre Anhebung des Immissionsrichtwertes für Sulfat in Spremberg-Wilhelmsthal erwiesen, da erst dadurch ein sparsamer Einsatz der in den Speichern in Sachsen noch verfügbaren Wasserressourcen möglich wurde.

2.7 RESTRIKTIONEN DER FLUTUNGSSZENARIEN UND SPEICHERBEWIRTSCHAFTUNG

2.7.1 STANDSICHERHEIT VON BÖSCHUNGEN DER BERGBAUFOLGESEEN

Die Standsicherheit der Böschungen wird neben geometrischen Merkmalen wie deren Höhe und Neigung insbesondere durch ihre Genese bestimmt. Grundsätzlich unterschieden werden muss dabei, ob es sich um gewachsene, also durch den über Jahrtausende entstandenen Bodenbildungsprozess, oder um sehr junge von Tagebaugroßgeräten geschüttete Böden handelt. Bei der Bewertung der Standsicherheit von in gewachsenen Bodenschichten angeordneten Böschungen gelten die allgemein üblichen erdstatischen Berechnungsansätze. Zu beachten sind hier im Wesentlichen der Spannungszustand, die bodenmechanischen Eigenschaften der abgelagerten Böden, deren Schichtung und ein damit verbundenes gegebenenfalls tagebau- bzw. seeseitiges Einfallen von geologisch vorgegebenen Gleitflächen (z. B. Harnische), Zusatzkräfte aus Strömungsdrücken, aus Porenwasserdrücken in Liegendgrundwasserleitern und Lasten aus z. B. Bauwerken. Bei geschütteten Böschungen, die z. B. einmal zu Seeuferböschungen an einem Bergbaufolgesee werden, müssen jedoch bei bestimmten Voraussetzungen zusätzlich noch weitere bodenmechanische Prozesse beachtet werden. Je nach Herkunft des Materials und damit dessen mineralogischer Zusammensetzung und der Verkippungstechnologie zeigen die umgelagerten und wieder aufgeschütteten Lockergesteinsgemische unterschiedliche mechanische Eigenschaften (u.a. Lagerungsdichte, Festigkeiten und Wasserwegsamkeit / Durchlässigkeit). Besondere Voraussetzungen sind i. A. in Tagebaukippen des Lausitzer Braunkohlenreviers gegeben. Hier gilt es, das Problem einer möglichen Verflüssigung der meist locker gelagerten Sande zu bewerten und Maßnahmen abzuleiten, die eine sichere Folgenutzung gewährleisten.





Grundsätzlich muss zwischen der bodenmechanischen und der hydromechanischen Stabilität der Böschung unterschieden werden (Niemann-Delius et al., 2009). Die bodenmechanische Stabilität untersucht die Sicherheit der Böschungen gegen Rutschungen und Geländebrüche, insbesondere während der Seebefüllung, aber auch nach deren Abschluss aufgrund von sich verändernden hydraulischen Bedingungen (Vogt et al., 2014). Die hydromechanische Stabilität beschreibt die Stabilität des Ufers gegenüber der Wirkung von Wellen und Strömungen.

Die durch Verkipfung von Abraum hergestellten Kippenböschungen aus locker gelagertem und insbesondere nicht bindigem Material neigen bei Grundwasserwiederanstieg häufig zu einem fluidähnlichen Verhalten. Der verflüssigungsfähige Kippenboden liegt im Grundsatz in einem metastabilen Zustand vor. Die Verflüssigung tritt erst nach einer Störung ein. Die Kippenoberfläche ist in der Regel profiliert und weist eine Böschungsneigung kleiner dem Winkel der inneren Reibung (Bruchreibungswinkel) auf. Erst der bei der Verflüssigung maßgebende Restreibungswinkel ist viel kleiner und nahe 0° . Soweit die Kippen keiner weiteren (nachträglichen) Profilierung unterzogen wurden, haben sie einen Böschungswinkel, der dem inneren Reibungswinkel des Materials ähnlich ist und damit einem Sicherheitszustand im Grenzgleichgewicht entspricht. Eine über dem Grenzgleichgewicht liegende Böschungsneigung führt zu einem Böschungsbruch. Aufgrund der Verkipfungstechnologie ist das Material sehr locker gelagert und kann bereits durch geringe Spannungsänderungen seine Struktur verändern (Wichter et al., 1999). Wenn sich zusätzlich, z. B. durch den Grundwasserwiederanstieg, ein hoher Anteil an wassergesättigtem Kippenboden eingestellt hat, können bereits geringe Verschiebungen / Deformationen im Korngerüst zu Brüchen führen. Infolgedessen kann eine Bodenverflüssigung selbst dann eintreten, wenn die Böschungsneigung deutlich kleiner ist als der innere Reibungswinkel des verstärkten Materials.

Der Gleichgewichtszustand (Grenzgleichgewicht) kann durch Änderungen der geotechnischen und oder der hydraulischen Randbedingungen beeinflusst werden. So kann ein Anstieg des Wasserspiegels innerhalb der Kippe die wirksamen Spannungen in der Böschung wegen der Auftriebswirkung verringern. Bereits durch einen Initialeintrag kann es zu Verschiebungen / Deformationen und Umlagerungsprozessen im Sandgefüge kommen, die wiederum einen Porenwasserüberdruck in den wassergesättigten, locker gelagerten Kippenbereichen erzeugen. Erreicht dieser Wert die wirksamen Spannungen, wird der Korngerüstdruck völlig oder nahezu vollständig aufgehoben, wodurch sich das Kippenmaterial verflüssigt. Dies kann zu Setzungsfließen und Geländebrüchen infolge der Verflüssigung führen.

Die geologischen Verhältnisse in den Abraumschnitten der Lausitzer Tagebaue weisen überwiegend gleichförmige Sande auf, die das Phänomen der Bodenverflüssigung und damit zusammenhängende Böschungsversagen wie das Setzungsfließen begünstigen. In nicht wassergesättigten Zonen übertragen Korn-zu-Korn Kontakte (wirksame) Spannungen und halten das Gerüst stabil. Die totalen Spannungen entsprechen dann den wirksamen Spannungen. Im Falle einer zunehmenden Wassersättigung steigt der hydrostatische Druck (Porenwasserdruck als neutrale Spannung) und vermindert die über den Korn-zu-Korn Kontakt übertragenen Spannungen. Die totalen Spannungen werden nun anteilig von den wirksamen Spannungen und den neutralen Spannungen gebildet. Mit einem Anstieg der neutralen Spannungen werden folglich die wirksamen Spannungen anteilig vermindert. Wirkt in einem locker gelagerten, überwiegend sandigen und wassergesättigten Bodenelement ein Initial, kommt es zu Korn-zu-Korn-Verschiebungen und Bruchprozessen. Herrschen weitestgehend undrained Verhältnisse vor, steigt der Porenwasserdruck.

Übersteigt der Porenwasser(über)druck die wirksame Spannung, wird der Kontakt zwischen den Körnern vermindert oder sogar vollständig aufgehoben. Bei teilgesättigten oder





vollständig wassergesättigten Sanden kann dann das locker gelagerte Korngerüst kollabieren, da die wirksame Spannung des Korngerüsts (fast) vollständig aufgehoben wird (Vogt et al., 2014). Mit dieser Entfestigung entsteht eine Suspension, bei der die Sandkörner quasi im Wasser schwimmen. Das Wasser-Sand-Gemisch ist dann nahezu unbegrenzt deformationsfähig. Dieser als Bodenverflüssigung bezeichnete Vorgang wird meist durch rasche und starke mechanische Störungen, sogenannte Initiale, ausgelöst. Diese können natürlichen Ursprungs, z. B. Wellenschlag, Sackungsprozesse, oder anthropogenen Ursprungs sein, z. B. schnell aufgebrachte Zusatzlast, Erschütterung durch Fahrzeuge. Änderungen der hydrologischen Verhältnisse, wie zum Beispiel der schnelle Anstieg oder Abfall des Wasserspiegels im Bergbaufolgesee oder ein zu großes Gefälle zwischen Bergbaufolgesee und Grundwasserstand, stellen ebenfalls Beispiele von Initialen dar, die eine Bodenverflüssigung, z. B. als Setzungsfließen, auslösen können.

Das Setzungsfließen ist eine typische Lausitzer Rutschungsart, die ohne vorherige Anzeichen große Böschungsbereiche von locker gelagerten Tagebaukippen erfassen kann (LMBV, 2001). Es entwickelt sich ausgehend vom Ufer mit hoher Geschwindigkeit rückwärts und kann innerhalb weniger Minuten mehrere hundert Meter der angrenzenden Böschung erfassen. Setzungsfließbrutschungen können mehrere Millionen Kubikmeter Kippenmaterial umfassen und außerordentlich weit in das Böschungshinterland eingreifen. Dabei sind nicht ausschließlich Böschungen betroffen, auch Geländeeinbrüche und Setzungsfließen auf ebenen Kippenoberflächen können entstehen (Niemann-Delius et al., 2009).

Im Zuge des großflächigen Grundwasserwiederanstiegs sind im Lausitzer Braunkohlenrevier zahlreiche Bodenverflüssigungen und damit einhergehende Böschungs- und Geländeumbildungen dokumentiert. Während diese zunächst überwiegend an teilgefluteten Bergbaufolgeseen auftraten, sind in den letzten 10 Jahren, insbesondere im sogenannten Nordraum (Schlabendorf, Seese), zunehmend auch Kippenflächen im Hinterland der Seeböschungen betroffen. Aber nicht nur durch den Grundwasserwiederanstieg können Bodenverflüssigungen auftreten. Auch, wie bereits oben erwähnt, durch Wasserspiegelveränderungen kann es zu Spannungsumlagerungen kommen, infolge derer Bodenverflüssigungen eintreten.

Wesentlicher Einflussfaktor für die Standsicherheit von Bergbaufolgeseen während des Befüllungsvorgangs ist das Verhältnis des Wasserspiegels im See zum umgebenden Grundwasserspiegel (Eyll-Vetter, 2015). Auch die Drücke in sogenannten Liegendgrundwasserleitern müssen über einen gewissen Zeitraum der Befüllung an den Seewasserspiegel angepasst werden. Um einen (positiven) Druckgradienten aus dem Bergbaufolgesee in das umgebende Gebirge zu gewährleisten, muss das Wasser im See stets höher als das umgebende Grundwasser sein. Dies kann ggf. auch durch sogenannte Bergbaufolgeseebegleitbrunnen gewährleistet werden, um während der Befüllung den Grundwasserspiegel unterhalb des Seewasserspiegels zu halten (Abb. 30). Somit sind die Strömungskräfte in die Böschungen des Sees hinein gerichtet, wodurch die Standfestigkeit begünstigt wird. Die gehobenen Wassermengen können dem Bergbaufolgesee wieder zugeführt werden (Forkel et al., 2017).

Um Böschungsbereiche zu stabilisieren, werden Rütteldruckverfahren und Sprengverdichtungen eingesetzt (Gudehus et al., 2014). Im Rahmen von Böschungssanierungen der gewachsenen Böschungen wurden im Bereich der Zielwasserstände der künftigen Bergbaufolgeseen Flachböschungen und in den übrigen Bereichen Steilböschungen geschaffen. Insbesondere die Steilböschungen unterliegen der Erosionsgefahr. Erst wenn der Zielwasserstand im Bergbaufolgesee erreicht und der Grundwasserwiederanstieg erfolgt ist, können diese Böschungen als bruchsicher eingestuft werden. Erforderlich ist eine Mindestgeschwindigkeit des Seewasserspiegelanstiegs, die von der LMBV mit größer 4 m/a angegeben wird.



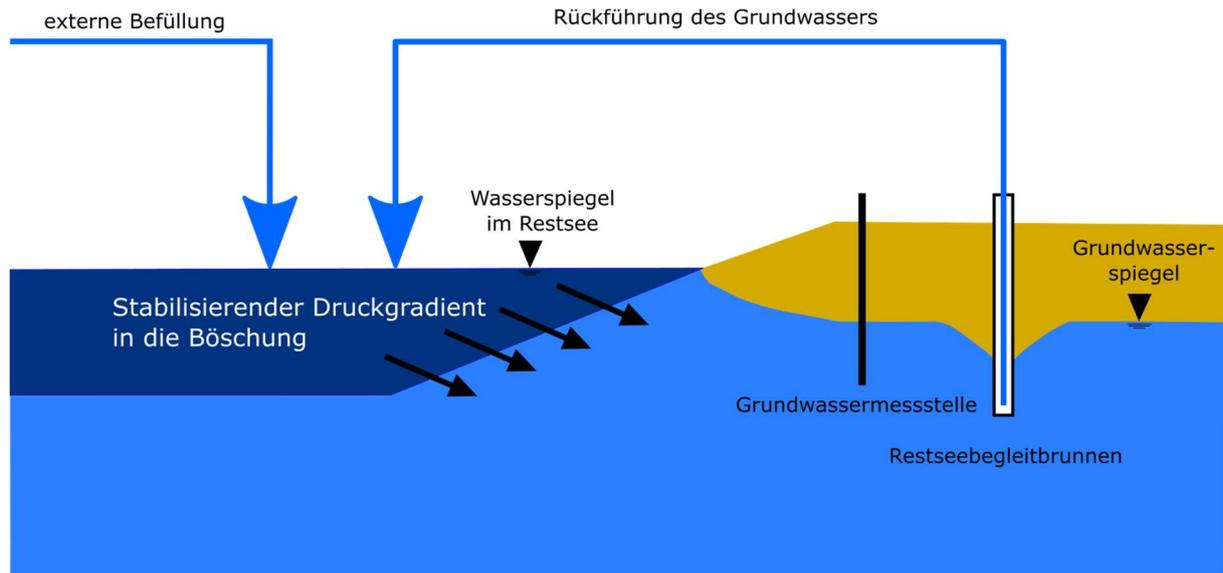


Abbildung 30: Wassermanagement bei der Bergbaufolgeseebefüllung (nach Eyll-Vetter, 2015)

Im Bereich der Kippen enden die Setzungsfließgefahren erst nach Erreichen der Endwasserstände im See und Grundwasserleiter und dem Abschluss der sachgerechten Sanierungsarbeiten. Das Konzept der versteckten Dämme (LMBV, 1998) geht davon aus, dass es weiterhin Verflüssigungen in der unverdichteten Kippe geben kann, diese aber durch die Verhinderung der Horizontalverschiebung an der Ausbreitung gehindert werden. In den letzten Jahren gab es eine Reihe von Fällen, in denen dieses Konzept funktioniert hat, unter anderem am Speicher Lohsa II im Jahr 2012 und 2019. Aufgrund der in der Lausitz üblichen gleichförmigen und damit locker gelagerten Fein- bis Mittelsande können allerdings auch geringfügige Über- oder Unterschreitungen des Endwasserstandes im Bergbaufolgesee oder hohe Schwankungen in den Grundwasserständen zu Instabilitäten führen. Setzungsfließrutschungen gab es zum Beispiel aufgrund der Trockenheit in den Jahren 2018 und 2019 im Bereich der noch unter Bergaufsicht stehenden Insel im Senftenberger See und im Speicherbecken Lohsa II (Abb. 31) infolge von Verdunstungsprozessen und unzureichendem Ausgleich durch Zufluss von Oberflächenwasser.

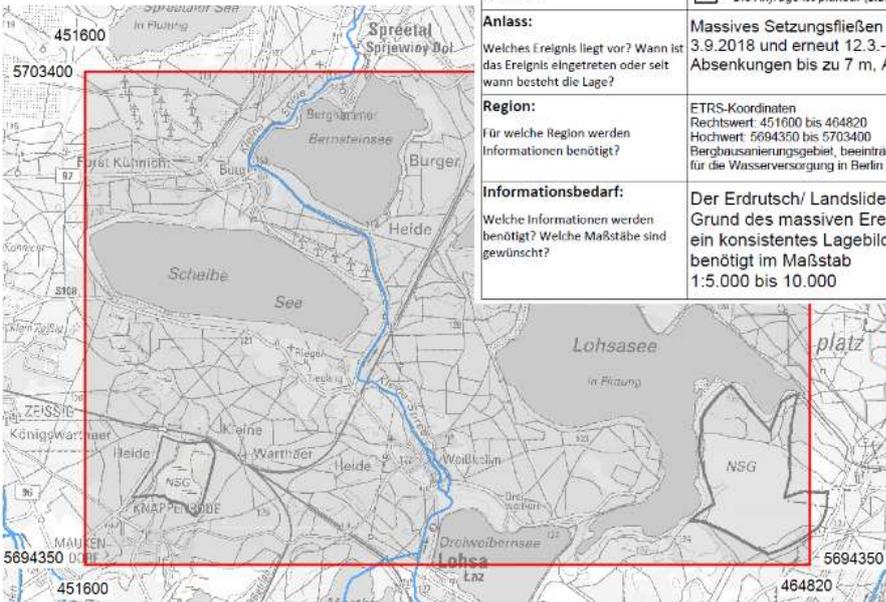
Nach einer Rutschung an der Insel im Senftenberger See am 13.09.2018 wurde der Senftenberger See zunächst teilweise und ab dem 21.09.2018 sowohl für die Schifffahrt als auch für den Gemeingebrauch (Baden, Tauchen etc.) voll gesperrt. Zur Gefahrenabwehr wurde eine Anhebung des Wasserstandes im See empfohlen. Dadurch wird sich der Betriebsraum im SB Niemtsch von 12,3 Mio. m³ auf 7,44 Mio. m³ ab 2019 für mindestens 10 Jahre verringern.

Speicherbecken Lohsa II: Das Ereignis vom 03.09.2018 umfasste eine Fläche von 4,5 ha. Die Abrisskante hatte eine Höhe von 2,5 m (Angaben LMBV). Das Nachfolgeereignis im Zeitraum 12.03.-09.04.2019 hatte ein Rutschungsvolumen von 660.000 m³, Absenkungen von bis zu 7 m und Aufhöhungen der Gewässersohle bis max. 11 m (Angaben LMBV). Die Auswertung von Satellitendaten 2019 zeigte eine betroffene Fläche von 3,2 ha. Durch ein Setzungsfließen im SB Lohsa II im Frühjahr 2019 kam es zu einer Ablagerung von Sedimenten mit einer Mächtigkeit von bis zu ca. 3 m vor dem Zulauf des Tunnels zwischen dem SB Lohsa II und dem SB Burghammer. Dadurch war die Überleitung von Wasser vom SB Lohsa II zum SB Burghammer zeitweise nicht möglich.

→ Aktivierung Copernicusdienst Rapid Mapping Service am 28. Mai 2019 durch SMUL → GMLZ/BBK → ERCC

Informationen zur Anforderung

Dringlichkeit: Welche Dringlichkeit liegt vor? Bitte ankreuzen.	<input checked="" type="checkbox"/> Zeitkritische Anfrage (akute Krisensituation), die Produkte müssen so schnell wie möglich angefordert werden. <input type="checkbox"/> Die Anfrage ist planbar (z.B. 2-3 Monate Bearbeitungszeit).
Anlass: Welches Ereignis liegt vor? Wann ist das Ereignis eingetreten oder seit wann besteht die Lage?	Massives Setzungsfließen im Lausitzer Sanierungsbergbauegebiet am 3.9.2018 und erneut 12.3.-09.4.2019, 600.000 m³ Rutschungsvolumen, Absenkungen bis zu 7 m, Aufhöhungen bis max.11 m
Region: Für welche Region werden Informationen benötigt?	ETRS-Koordinaten Rechtswert: 451600 bis 464820 Hochwert: 5694350 bis 5703400 Bergbausaniierungsgebiet, beeinträchtigte wasserwirtschaftliche Anlagen mit großer Bedeutung für die Wasserversorgung in Berlin und Brandenburg
Informationsbedarf: Welche Informationen werden benötigt? Welche Maßstäbe sind gewünscht?	Der Erdbeben/ Landslide befindet sich im Bergbauegebiet und ist auf Grund des massiven Ereignisses terrestrisch nicht zugänglich. Für ein konsistentes Lagebild werden hochauflösende Satellitenbilder benötigt im Maßstab 1:5.000 bis 10.000



Auszug Formular zur Anforderung von fernerkundungs-basierten Informationen an GMLZ im BBK

Geobasisdaten © 2018 GeoSN
Geofachdaten LfJULG

2 | 24. Juni 2019 | Fachgespräch zur Wasserbewirtschaftung 2019 | LfU Cottbus



VORHER (29. August 2018)
© worldview

NACHHER (8. April 2019)
© DLR/ZKI



Abbildung 31: Setzungsfließbrutschung im Speicherbecken Lohsa II 2018 (AG FGB)

2.7.2 RESTRIKTIONEN AUS DEM NATURSCHUTZ

Dass sich auch aus dem Naturschutz Restriktionen ergeben können, die einen erheblichen Einfluss auf die Wasserbewirtschaftung haben können, zeigt folgendes Beispiel.

Der Planfeststellungsbeschluss „Wasserspeichersystem Lohsa II, Teil 1“ enthält die Nebenbestimmung 3.4.18: „Es ist verboten, den am 15. April des jeweiligen Jahres vorhandenen Wasserstand in den SB Lohsa II und Burghammer im Zeitraum vom 15. April bis 31. Juli zu überstauen. Ausgenommen von diesem Verbot sind extreme Hochwasser, die in den SB



aufgenommen werden müssen.“ mit der Begründung: „Eine erhebliche Beeinträchtigung der Schutzziele des Vogelschutzgebietes Nr. 44 Bergbaufolgelandschaft bei Hoyerswerda durch das Vorhaben kann dann ausgeschlossen werden, wenn der Bruterfolg der in diesem Bereich brütenden Vogelarten (insbesondere der nachgewiesene Brutplatz des Baumfalke an der Zufahrt zum Truppenübungsplatz Neustädter Heide an der Leitungstrasse) nicht gefährdet wird. Dies ist dann sichergestellt, wenn die unter NB 3.4.18 genannten Minimierungsmaßnahmen festgesetzt werden.“ Diese Nebenbestimmung gilt für die Herstellung des Wasserspeichersystems Lohsa II. Über Festlegungen zur Bewirtschaftung wird in einem weiteren wasserrechtlichen Zulassungsverfahren entschieden werden.

Die aktuell zeitliche Begrenzung der verfügbaren Speicherräume kann erhebliche Auswirkungen haben. Besonders nach extremen Niedrigwasserperioden und vor allem nach milden Wintern mit fehlender Schneeschmelze können Situationen eintreten, in denen die Speicher zum Zeitpunkt des 15. April einen sehr niedrigen Wasserstand aufweisen.

2.7.3 HOCHWASSERRISIKOMANAGEMENT

In den Flussgebieten ist nicht nur die Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) zu beachten, sondern auch die Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie (HWRM-RL). Die HWRM-RL hat zum Ziel, dass das Hochwasserrisiko abgeschätzt wird und Hochwasserrisikomanagementpläne auf Ebene der Flussgebiete erstellt werden. Es werden Risikogebiete bestimmt, Gefahren- und Risikokarten sowie Hochwasserrisikomanagementpläne für die Flussgebiete erstellt. Die großmaßstäblichen Planungsinstrumente werden durch das Maßnahmenprogramm konkretisiert.

Sachsen hat nach dem Hochwasser 2002 für alle Gewässer I. Ordnung Hochwasserschutzkonzepte aufgestellt, welche wesentliche Anforderungen der HWRM-RL erfüllen. Es sind dort auch Vorsorgemaßnahmen abgebildet, die im Rahmen der sächsischen Hochwasserschutzstrategie entwickelt wurden oder auf Erfahrungen mit Hochwasserereignissen in der jüngeren Vergangenheit beruhen, so dass alle Handlungsfelder des Hochwasserrisikomanagements abgedeckt sind (FGG Elbe, 2020; SMUL, 2020a). Die Maßnahmen und Vorschläge beziehen sich ausschließlich auf Hochwasser aus oberirdischen Gewässern.

Für die vom Braunkohlenbergbau beeinträchtigten Gebiete wurde die Hochwasservorsorge bereits in die Einzelplanungen zum Ausbau der Gewässer (hier für RLK mit SB Sedlitz, Skado, Koschen) und zur Entwicklung von Bergbaufolgeseeen integriert.

Während des Hochwassers in der Lausitzer Neiße am 20./21. Juni 2020 konnten über die bestehende Neißewasserüberleitung insgesamt 0,8 Mio. m³ Wasser aus der Lausitzer Neiße in Steinbach entnommen werden. Der Abfluss der Lausitzer Neiße am Pegel Görlitz stieg innerhalb eines Tages von ca. 7 m³/s auf ca. 179 m³/s (LMBV, 2020b). Davon können max. 2 m³/s über das Entnahmebauwerk entnommen werden.

Die Hochwasservorsorge und die Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie müssen gemeinsam betrachtet werden. In den „Empfehlungen zur koordinierten Anwendung der EG-HWRM-RL und EG-WRRL - Potenzielle Synergien bei Maßnahmen, Datenmanagement und Öffentlichkeitsbeteiligung“ (LAWA, 2013) werden die Synergien beider Richtlinien beschrieben. Das Dokument weist aber auch darauf hin, dass bei technischen Maßnahmen des Hochwasserschutzes Konflikte mit den Zielen der WRRL nicht immer ausgeschlossen werden können. Das betrifft insbesondere den technischen Verbau von Flüssen, die die Durchgängigkeit oder den Geschiebetransport im Fluss beeinträchtigen. Dazu hat die LAWA einen Maßnahmenkatalog entwickelt, der einschätzt, welche Maßnahmen sich gegenseitig unterstützen und wo Konfliktpotenzial zu erwarten ist.



3 WIRTSCHAFTLICHE UND UMWELTGERECHTE LÖSUNGSMÖGLICHKEITEN ZUR NACHHALTIGEN ENTLASTUNG BZW. STABILISIERUNG DES WASSERHAUSHALTES

3.1 STEUERUNG UND FINANZIERUNG DER MAßNAHMEN

Zur Sanierung des Wasserhaushaltes werden zurzeit viele Maßnahmen zur Minderung der Bergbaufolgen mit erheblichem Mitteleinsatz geplant und umgesetzt. Im Sanierungsbergbau der LMBV wird dieser Prozess durch den Steuerungs- und Budgetausschuss geregelt (Abb. 32). „Im Steuerungs- und Budgetausschuss für die Braunkohlesanierung (StuBA) entscheiden und kontrollieren Bund und Länder die Sanierungsmaßnahmen“ (StuBA, 2020).



Abbildung 32: Beteiligte im Steuerungs- und Budgetausschuss für die Braunkohlesanierung (StuBA, 2020)

Aufbauend auf dem von der 11. Umweltministerkonferenz der neuen Länder am 17./18. März 1994 als Grundlage für die weitere Arbeit beschlossenen „Rahmenkonzept zur Wiederherstellung eines ausgeglichenen Wasserhaushalts in den vom Braunkohlenbergbau beeinträchtigten Flusseinzugsgebieten in der Lausitz und in Mitteldeutschland (Rahmenkonzept Wasserhaushalt)“, dessen Ziel es ist, in den betroffenen Flusseinzugsgebieten unter Berücksichtigung der ökologischen Bedingungen und notwendiger Wassernutzungen solche Verhältnisse herzustellen, die einen sich weitgehend selbstregulierenden Wasserhaushalt ermöglichen, hat sich der StuBA in seiner 54. Sitzung am 25.09.2001 „Grundsätze zur nachhaltigen Sicherung der wasserwirtschaftlichen Sanierungsmaßnahmen in den Gebieten des Braunkohlenbergbaus der Lausitz und Mitteldeutschlands – Grundsätze wasserwirtschaftliche Nachsorge“ als Grundlage für die weitere Sanierungsarbeit gegeben. Diese wurden durch das BMU veröffentlicht (BMU, 2001).

In den Verwaltungsabkommen (VA) werden Ziele und Kostenrahmen geregelt (Abb. 33). Das VA VI ist das aktuelle Verwaltungsabkommen und gilt bis 2022 (BMU/BMF, 2017). Bund und Länder haben zum Ende 2020 die Verhandlungen zu einem Folgeabkommen (VA VII) aufgenommen, um eine weitere Finanzierung der weiterhin erforderlichen Maßnahmen sicherzustellen.

Die Maßnahmenfinanzierung erfolgt auf der Grundlage der Verwaltungsabkommen und ist in den §2-4 geregelt. Dabei gilt:

- §2 Maßnahmen im Rahmen der Rechtsverpflichtungen der LMBV mit einem Planfonds, den sich Bund und Länder im Verhältnis 75% (Bund) und 25% (Länder) teilen, und einem Eigenanteil der LMBV, den sie im Rahmen ihrer Verpflichtungen projektkonkret aufbringt.
- §3 Bund und Länder stellen unter Zurückstellung unterschiedlicher Rechtsstandpunkte und ohne Anerkennung einer Rechtspflicht zum einen Mittel für weitere Maßnahmen zur Abwehr von Gefährdungen im Zusammenhang mit dem Wiederanstieg des Grundwassers und zum anderen für sonstige Maßnahmen im Zusammenhang mit der Braunkohlesanierung zur Verfügung, die sich Bund und Länder jeweils zu 50% teilen.
- §4 Für weitere Maßnahmen, u.a. zur Erhöhung des Folgenutzungsstandards und zur Gefahrenabwehr im Bereich des Braunkohlealtbergbaus über die Verpflichtungen der LMBV hinaus, stellen die Länder weitere Mittel bereit.

Budget für Gesamtzeitraum (1991-2022) = 11,87 Milliarden €

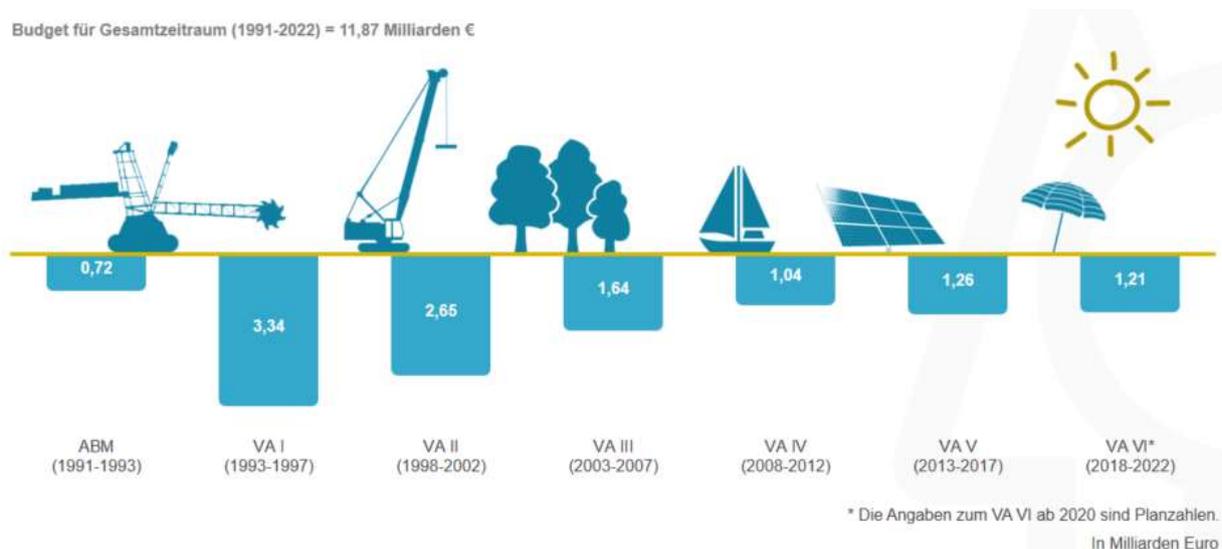


Abbildung 33: Budgets der Verwaltungsabkommen zur Braunkohlesanierung (StuBA, 2021)

Auch wenn vom Grundsatz her Einigung über den Sanierungsbedarf des Wasserhaushaltes besteht, muss die Rechtsverpflichtung über § 2 VA oder § 3 VA für einzelne konkrete Maßnahmen jeweils in den dafür vorgesehenen Gremien diskutiert werden. Als Beispiel kann hier das Komplexmodell (GRM Lausitz) (siehe 3.2) benannt werden, dessen Finanzierung aus dem VA bisher mit der Begründung abgelehnt wird, dass die LMBV in ihrem Verantwortungsbereich alle bisherigen Anforderungen mit ihren eigenen Modellen erfüllen kann bzw. diese Modelle bei Bedarf dahingehend ertüchtigt werden können. Die Länder hingegen sehen angesichts des Entwicklungs- und Abstimmungsbedarfes der Modelle der Bergbauunternehmen die Notwendigkeit für eine großräumige und einzelmodellübergreifende Grundwassermodellierung. Seit 2019 befasst sich der StuBA auch unter Inanspruchnahme rechtsgutachterlichen Sachverständigen verstärkt mit der Klärung der bisher noch nicht abschließend geklärten Reichweite der berg- und wasserrechtlichen Verantwortung des Bergbaubetriebes bei Einstellung des Bergbaubetriebs.

Die Finanzierung der Maßnahmen der LEAG erfolgt über Rückstellungen des Unternehmens. Im Auftrag des Landesamtes für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg wurde eine gutachterliche Stellungnahme zum Thema: „Vorsorge für die Wiedernutzbarmachung der Oberfläche im Lausitzer Braunkohlebergbau“ erstellt. Gegenstand der Untersuchung waren die bergbaubedingten Rückstellungen der Lausitz Energie Bergbau AG (LE-B) zum Stichtag 31.12.2016. Dabei sind „Die bergbaubedingten Rückstellungen ... unter Berücksichtigung der

realen Tagebauentwicklung zu bilden und zu gegebener Zeit in Anspruch zu nehmen bzw. zu verbrauchen. Resultierend aus der Notwendigkeit der vorausseilenden Inanspruchnahme zur Freilegung des Rohstoffes mit gleichzeitiger technologisch bedingter Schaffung der Grundlagen für die Rekultivierung und Wiedernutzbarmachung muss zur finanziellen Sicherstellung von monetären Mitteln für die spätere Wiedernutzbarmachung mit der Bildung der Rückstellungen zum Zeitpunkt der Inanspruchnahme begonnen werden. ... Maßgeblich für die Höhe der Rückstellungsbildung ist nicht die Qualität und Quantität des in Anspruch genommenen Landes und Infrastruktur sondern die durch die Tagebauentwicklung exakt an derselben Stelle zu schaffende Qualität und Quantität der nach Maßgabe übergeordneter Planungsvorgaben vorgesehenen Wiedernutzbarmachung. Diese ergeben sich vornehmlich aus den Braunkohlenplänen mit ihren verbindlichen Zielen der Raumordnung für die Grundzüge der Art und Weise der Wiedernutzbarmachung und den mit diesen Vorgaben in Einklang zu bringenden bergrechtlichen Genehmigungen in Form von Rahmen-, Haupt- und Abschlussbetriebsplänen nach Bundesberggesetz."

Weitere Maßnahmen, wie Gutachten (z.B. Studien im Rahmen von EU-Projekten wie Vita-Min), Gewässersanierung, Gewässerunterhaltung werden auch im Auftrag und durch Finanzierung der Länder durchgeführt.

3.2 KOMPLEXE, EINZUGSGEBIETSÜBERGREIFENDE MODELLIERUNG DES WASSERHAUSHALTS

Unabhängig davon, welche Bewirtschaftungsziele definiert und welche Maßnahmen zu deren Erreichung festgelegt werden, muss das komplexe System von natürlichen, durch Bergbau gestörten und intensiv bewirtschafteten Gewässern modelltechnisch abgebildet werden. Nur so können die Wirkung der Maßnahmen prognostiziert und der Sanierungserfolg abgeschätzt werden. Transparenz und Nachvollziehbarkeit sind für Bund und Länder unabdingbar.

Insbesondere geht es um Auswirkungen des Grundwasserwiederanstiegs auf Menge, Fließrichtung und Beschaffenheit (Sulfat, Eisen) des Grund- und Oberflächenwassers sowie die Folgen häufiger auftretender Niedrigwassersituationen. Das Langfristmodell WBalMo „Spree-Schwarze Elster“ als Instrument zur Abbildung der Bewirtschaftung der Oberflächengewässer muss hinsichtlich der hinterlegten Modellrandbedingungen ständig qualifiziert werden.

Um die Folgen des Klimawandels auf den Wasserhaushalt der Lausitz abschätzen zu können, ist es erforderlich, den Gesamtwasserhaushalt zu betrachten. Dies ist durch Umsetzung eines Komplexmodells (GRM Lausitz) qualifiziert möglich (GRML, 2020). In Verbindung mit der bereits bestehenden Wasserhaushaltsmodellierung für die Einzugsgebiete Schwarze Elster, Spree und Lausitzer Neiße (KliWES, NEYMO-NW und weitere bestehende Modelle in den genannten Einzugsgebieten (BAW)) wird die Entwicklung des nicht durch Steuerung veränderten Wasserhaushaltes dargestellt. Die Berechnungsergebnisse sollen in WBalMo überführt werden, um die Varianten der Steuerungsmöglichkeiten weiter zu qualifizieren. Aus Sicht der Autorin ist eine Darstellung der klimabedingten Entwicklung von Höhe und Dauer von extremen Niedrigwassersituationen wegen der auf Monatsmittelwerten der Klimadaten basierenden Datengrundlage in WBalMo nicht möglich. Die Abbildung des Verlaufs von Hochwasserwellen ist aufgrund der Datenbasis in beiden Programmen nicht möglich (LfULG, 2016b). Für die bergbaubeeinflusste Region in Brandenburg wurden im Auftrag des LfU wie in Sachsen (KliWES) ebenfalls Wasserhaushaltsmodelle auf der Basis der Modellgrundlage ArcEGMO aufgebaut. Der Bergbaueinfluss wurde wegen seiner Komplexität nicht abgebildet. Für Sachsen wurden zusätzlich zum Ist-Zeitraum auch die auf die sächsischen

naturräumlichen Gegebenheiten angepassten Klimaszenarien (im Bundesvergleich eher trockene Region) verwendet. Alle Klimadaten sind in der Datenbank der Länder Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen zusammengestellt (REKIS, 2020). Die zukünftigen Aufgaben bestehen darin, die Methodik länderübergreifend abzustimmen (Modelle und Datengrundlagen) sowie Entscheidungen zu den zu verwendenden Klimaszenarien herbeizuführen. Eine Expertengruppe Klima der AG FGB wurde bereits einberufen und hat die Verwendung des MKE (Mitteldeutsches Kernensemble) RCP8.5 empfohlen.

3.3 PRÜFUNG DER BEWIRTSCHAFTUNGSZIELE

Die Bewirtschaftungsziele wurden von der AG FGB festgelegt und sind in den Bewirtschaftungsgrundsätzen enthalten. Eine davon abweichende Betrachtungsvariante ist, dass man perspektivisch „zurück zur Natur“ findet. Dies bedeutet die Herstellung und Akzeptanz quasi-natürlicher Abflussverhältnisse mit häufigeren Hochwasserereignissen aufgrund der Erhöhung der Neigung zu Starkniederschlägen und häufigerem Trockenfallen der Flüsse. Die Stabilität der Böschungen in den Bergbaufolgeseen müsste, wenn die Wasserstände dadurch den gesicherten Bereich verlassen (oberer Zielwasserstand und 2 m unterhalb des unteren Zielwasserstandes) durch erhöhten Sanierungsaufwand gewährleistet werden. Ebenso müssten die kleinen Fließe, die durch Bergbaueinfluss, aber auch durch landwirtschaftliche Bewirtschaftung und Bebauung in der Vergangenheit devastiert wurden, wiederhergestellt werden.

In einer Studie des LfULG (2016a) werden Defizite des Gewässernetzes (u. a. Devastierung kleiner Vorfluter infolge Bergbautätigkeit oder durch andere Verursacher, wie z. B. Landwirtschaft) aufgezeigt, die bei der Sanierung beachtet werden müssen. Als Ziel wurde formuliert, ein intaktes, leistungsfähiges Abflussregime herzustellen, welches sich auf natürliche Art und Weise in die Landschaft und in den Wasserhaushalt einbettet und neben der beispielsweise vorhandenen Steuerung von Niedrigwassersituationen im Spreegebiet auch einen sicheren Abfluss in Hochwassersituationen gewährleistet und möglichst auch ein gut nutzbares Hochwasser-Retentionspotenzial zur Verfügung stellt.

Die Ergebnisse der Klimaprojektionen und der hydrologischen Beobachtungen aus den Jahren 2018-2020 belegen, dass eine weitgehend naturnahe Bewirtschaftung einhergehen muss mit einer Akzeptanz von häufigeren Extremereignissen, insbesondere Trockenperioden mit erheblichen Nutzungskonflikten bezüglich der geringen Wasserdarangebote und entsprechenden Auswirkungen auf die Landwirtschaft, Fischereiwirtschaft und den Tourismus (z. B. Spreewald). „Bereits heute ist absehbar, dass nicht in allen Revieren jederzeit ausreichende Wassermengen für alle wasserwirtschaftlichen Anforderungen ... gleichermaßen bestehen werden“ DWA (2021). Es wird auch eine teilweise Austrocknung der Lausitz befürchtet (SZ, 2020). Trockenheit und Wassermangel wurden bereits von Hupfer & Nixdorf (2011) als die zentralen Risikofaktoren des globalen Klimawandels für die Region Berlin-Brandenburg benannt. Für die Variante einer naturnahen Bewirtschaftung gibt es noch keine Kosten-Nutzen-Rechnung, da bisher immer davon ausgegangen wurde, dass sich die bisherigen Nutzungsansprüche an das Gebiet nicht ändern.

Neben den Nutzungsanforderungen im Freistaat Sachsen und im Land Brandenburg wird zu berücksichtigen sein, wie Berlin seine Nutzungsanforderungen bezüglich eines Mindestzuflusses der Spree zukünftig formuliert. Da mit einer Verringerung der Sumpfungswassermengen auch eine Verringerung der Sulfatfrachten der Spree erwartet wird, hat sich bereits aufgrund der letzten drei Trockenjahre der Schwerpunkt von der Beschaffenheits- zur Mengenbewirtschaftung verschoben. Um die Grenzwerte für Sulfat als Indikatorwert

entsprechend Trinkwasserverordnung für die Trinkwasserversorgung in Berlin und Brandenburg einhalten zu können, wurde seitens der Berliner Wasserbetriebe und der Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz Berlin für den Pegel Rahnsdorf ein Immissionsziel von 220 mg/l Sulfat (90-Perzentil) formuliert.

Insbesondere für den mehrere Jahrzehnte dauernden Zeitraum der Sanierung (Abschluss der Flutung der Bergbaufolgeseen und der Wiederauffüllung der Grundwasserleiter) sind die Prioritäten der Nutzungsansprüche zu prüfen. Es muss entschieden werden, ob z. B. Anforderungen, die sich aus der gesteuerten Flutung und Standsicherheit der Böschungen ergeben, zeitweise stärker zu wichten sind als z. B. Anforderungen der touristischen Nutzung.

Eine Anpassung der Bewirtschaftungsziele für den Spreewald ist so bald wie möglich zu untersuchen, da die langfristig geplanten Sumpfungswassermengen infolge des früheren Braunkohleausstiegs nicht mehr in der Bilanzierung vorausgesetzt werden können. Der sparsame Umgang mit den Ressourcen ist ein Grundsatz der Bewirtschaftung gerade in extremen Niedrigwassersituationen. Es ist durchaus vertretbar, dass Mindestabflüsse über einige Zeit moderat unterschritten werden.

Auch die Steuerung von Wehren insbesondere zum Bootsbetrieb und zur Wasserkraftnutzung unterliegt generell der wasserwirtschaftlichen Genehmigung. Details zu Mindestwasserabflüssen der bewirtschafteten Einzelanlagen sind für Sachsen in der Querbauwerksdatenbank enthalten (SMUL, 2020b) und werden von den unteren Wasserbehörden gepflegt. In allen drei Einzugsgebieten gibt es eine hohe Zahl von bewirtschafteten und nicht bewirtschafteten Querbauwerken, so z. B. in Sachsen im Einzugsgebiet der Schwarzen Elster 96 Anlagen, der Spree 114 Anlagen und der Lausitzer Neiße 40 (polnische und deutsche) Anlagen. Die Mindestwasserangaben im Bereich dieser Anlagen (Ausnahme Talsperren und Speicher) sind im Steuersystem WBalMo nicht enthalten. Aus Sicht der Autoren ist es wichtig, dass gerade in Niedrigwasserzeiten die Einhaltung der Mindestwasserabflüsse auch an kleineren Wehranlagen regelmäßig kontrolliert wird.

Fazit: Die Bewirtschaftungsziele sind unter den veränderten Rahmenbedingungen des vorzeitigen Ausstiegs aus der Kohleverstromung und des Klimawandels zunächst für den Zeitraum der Flutung zu überprüfen und ggf. anzupassen. Dabei ist zwingend bereits jetzt aber auch die Zeit nach dem Flutungsende, namentlich wegen der Seeverdunstung, der Seewasserqualität und der Grund- und Oberflächenwasserqualität in den Blick zu nehmen. Die Wiederherstellung eines sich weitgehend selbstregulierenden Wasserhaushalts unter den Bedingungen der Entstehung von Seen, Tagebaukippen und Außenhalden mit ganz anderer Grundwasserneubildung wird auch aufgrund des Klimawandels erschwert. Vor allem häufigere und länger anhaltende Trockenperioden werden zu erheblichen Konflikten der Wassernutzungsansprüche führen. Hier sind fachpolitische Entscheidungen über die Anerkennung verschiedenster Nutzungsansprüche im Rahmen der verfügbaren Grund- und Oberflächenwasserressourcen vorzubereiten und zu treffen, die dann ggf. kostenintensive technische Maßnahmen zur Stützung des Wasserhaushalts erfordern.

Nachfolgend werden ausgewählte technische Maßnahmen zur Stützung des Wasserhaushalts vorgestellt und diskutiert.

3.4 AUSBAU DER SPEICHERBEWIRTSCHAFTUNG

Für die **Wasserbewirtschaftung der Schwarzen Elster** auf sächsischem Gebiet bis zum Pegel Neuwiese wurde untersucht, wie groß fiktive Sperrstellen im Einzugsgebiet der Schwarzen Elster sein müssten, um den Abfluss am Pegel Neuwiese im Mittel jährlich zu stützen (Tab. 9).

Tabelle 9: Fiktive Sperrstellen und der benötigte Betriebsraum zur Aufhöhung des Abflusses am Pegel Neuwiese um 0,7 m³/s bis 0,85 m³/s (LfULG, 2019b)

Gewässer	EZG [km ²]	fiktive Sperrstelle	Benötigter Betriebsraum [Mio. m ³] bei Aufhöhungsziel am Pegel Neuwiese von			
			0,7 m ³ /s	0,75	0,8	0,85 m ³ /s
Klosterwasser	104	Schönau	3,7	4,2	4,8	5,3
Klosterwasser	63,2	Caseritz	4,2	4,8	5,3	5,9
Schwarze Elster	166	Trado 3	3,7	4,2	4,7	5,2
Schwarze Elster	86,4	Deutschbaselitz	4,3	4,8	5,4	5,9

Bereits in den 1960er Jahren wurden potenzielle Speicherstandorte untersucht, für die aktuell jedoch folgende Einschränkungen beachtet werden müssen:

- Das benötigte Volumen für den außergewöhnlichen Hochwasserrückhalteraum und der Freiraum (freibordabhängig) muss berücksichtigt werden (vgl. Tab. 4 und Abb. 19).
- Die potenziellen Speicherstandorte benötigen aus naturschutzfachlichen Gesichtspunkten einen gütewirtschaftlichen Reserveraum.
- Die in den 1960er Jahren untersuchten potenziellen Standorte haben sich verändert/entwickelt und stehen aus heutiger Sicht eventuell so nicht mehr zur Verfügung.
- Ein Speicher wäre fast durchgehend am Stauziel zu bewirtschaften (Abb. 36), um im Trockenwetterfall Wasser abgeben zu können.

Zudem wurden relativ hohe Versickerungsverluste in der Schwarzen Elster zwischen Neuwiese und Kleinkoschen nachgewiesen (LfULG, 2019b). Das bedeutet, dass eine Erhöhung des Abflusses durch Einspeisungen aus den Speichern bei den Unterliegern nicht vollständig ankommt, da ein Teil des Wassers im Gewässer versickert und zur Grundwasseranreicherung beiträgt. Die Versickerungsverluste betragen in Abhängigkeit vom Durchfluss am Pegel Neuwiese

- 0,25 m³/s Versickerungsverlust bei einem Durchfluss $Q \leq 1,0$ m³/s
- 0,67 m³/s Versickerungsverlust bei einem Durchfluss $Q \geq 4,0$ m³/s

Abb. 34 zeigt, welche Beanspruchung ein potenzieller Speicher in der Schwarzen Elster hätte, um den Pegel Neuwiese aufzuhöhen und die Versickerungsverluste auszugleichen.

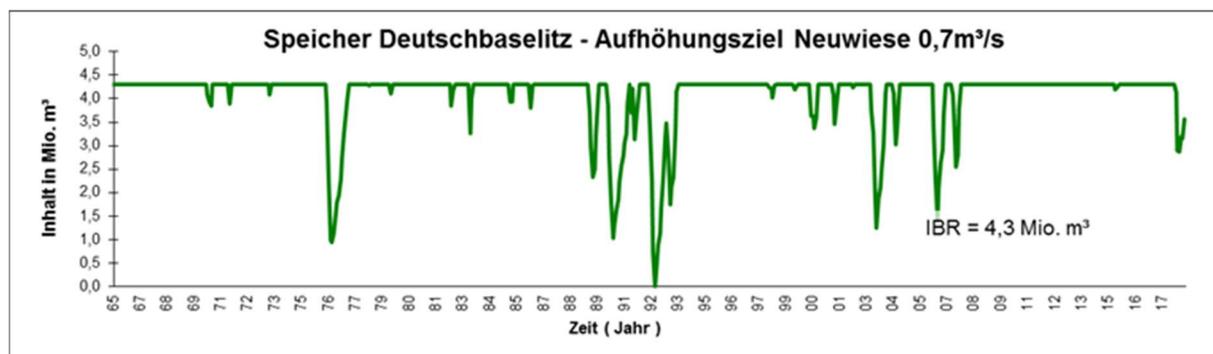


Abbildung 34: Speicherinhalt des Speichers Deutschbaselitz zur Aufhöhung des Pegels Neuwiese um 0,7 m³/s (LfULG, 2019b)

Die Speicher Niemtsch und Restlochkette werden für die Niedrigwasseraufhöhung in der Schwarzen Elster in Brandenburg eingesetzt, die Restlochkette frühestens ab 2023.

Im Auftrag des LfU Brandenburg wurde untersucht, inwieweit die Bergbaufolgeseen im Einzugsgebiet der Schwarzen Elster für den Hochwasserrückhalt genutzt werden können. Darin integriert sind die Auswirkungen auf die Niedrigwasserbewirtschaftung. Die Machbarkeitsstudie des LfU Brandenburgs zur Niedrigwasseraufhöhung in der Schwarzen Elster und der Rainitz wurde von der Firma DHI WASY bearbeitet. Im Fokus standen der Seenkomples Spreetal/Bluno und die Restlochkette (RLK) sowie das SB Niemtsch.

Die unterschiedlich geplanten Betriebsräume haben Auswirkungen auf die Geohydraulik, auf die Wasserbeschaffenheit der Bergbaufolgeseen sowie die Sulfatbelastung der Schwarzen Elster. Untersuchungen dazu wurden vom LfU Brandenburg beauftragt und waren im Dezember 2020 noch nicht abgeschlossen.

Im **Einzugsgebiet der Spree** sind aus Arbeiten aus den 1960er Jahren weitere potenzielle Speicherstandorte, wie z. B. im Löbauer Wasser, mit Betriebsräumen von 1 bis 4 Mio. m³ bekannt. Diese wurden nicht weiter betrachtet, da weder Ausgleichs- noch Ausbaugrad ausreichen, um das Gewässermanagement der Spree in dem vom Bergbau beeinflussten Gebiet zu verbessern.

Auf Brandenburger Gebiet liegt die Talsperre Spremberg. Der Betriebsraum von 15,46 Mio. m³ dient der Sicherung der Wasserentnahmeanforderungen und der Flutung und Nachsorge der Tagebauseen unter Berücksichtigung der erforderlichen Mindestabflüsse und den Anforderungen an die Wasserbeschaffenheit in der Spree in Brandenburg und Berlin. Mit Erreichen der Betriebsbereitschaft des Wasserspeichersystems Lohsa II und des SB Bärwalde werden die hoheitlichen Talsperren im Verbund mit diesen bewirtschaftet.

Mit WBalMo wurde untersucht, wie nach der Flutung die zukünftige Bewirtschaftung des Cottbuser Ostsees als See oder als zukünftiger Speicher mit gezielten Abgaben erfolgen kann. Für den Cottbuser Ostsee wurde die Herstellung eines Sees ohne Bewirtschaftung einem Zielwasserstand von 62,5 mNHN ± 0,5 m beschlossen. Günstiger wäre die Variante gewesen, in der der Cottbuser Ostsee als Speicher mit einer Ableiterkapazität von 2,0 m³/s und einer Speicherlamelle von 62,0 bis 63,5 m NHN bewirtschaftet werden kann. Aufgrund der Größe des Ostsees bietet schon eine Speicherlamelle von nur 0,5 m ein bewirtschaftbares Stauvolumen von rund 8 Mio. m³. Die Autoren sind der Auffassung, dass die aktuell gültige Entscheidung gegen eine Nutzung als Speichersystem zugunsten der touristischen Nutzung nach den Erfahrungen der drei Trockenjahre 2018-2020 und auf Grundlage der Klimaprojektionen und den erwarteten Auswirkungen auf den Wasserhaushalt zumindest fachlich geprüft werden sollte. Sie ist im Zusammenhang mit der Forderung nach Überleitungen aus anderen Einzugsgebieten zur Stützung des Wasserhaushaltes der Spree in die Diskussion einzubeziehen und bei Fragen der Finanzierung zu berücksichtigen. Eine Kosten-Nutzen-Betrachtung wird empfohlen.

Vergleicht man die planfestgestellten bewirtschaftbaren Speichervolumina von max. rund 150 Mio. m³/a (Abschnitt 2.3) mit den aktuell noch eingespeisten Sumpfungswassermengen des aktiven Braunkohlebergbaus im Umfang von rund 256 Mio. m³/a in die Spree (Daten 2017, siehe Tab. 7), so wird deutlich, dass eine Stützung der Niedrigwasserabflüsse nur durch eine Vielzahl von Speichern im Verbundsystem und/oder Wasserüberleitungen möglich ist.

Fazit: Unter den Bedingungen des vorzeitigen Ausstiegs aus der Kohleverstromung und den projizierten wasserwirtschaftlichen Folgen des Klimawandels ist eine weitere modelltechnische Untersuchung zusätzlicher bzw. neuer Speichermöglichkeiten (unter anderem auch Änderung von Bewirtschaftungslamellen) sinnvoll.

3.5 STÜTZUNG DES WASSERHAUSHALTS DURCH NEIßEWASSERÜBERLEITUNG

In der Komplexstudie Lausitz (Arnold et al., 1993) wurde festgestellt, dass für die Flutung der Bergbaufolgeseen und die Auffüllung des Grundwasserdargebotes zur Sanierung der Bergbaufolgen in der Lausitz ein Mengendefizit in den natürlichen Einzugsgebieten der Spree und Schwarzen Elster zu verzeichnen ist. Bereits 5/1996 wurde daher ein Antrag auf Förderung der Maßnahme „Neißewasserüberleitung“ beim Steuerungs- und Budgetausschuss der Braunkohlesanierung (StUBA) gestellt. Folgende Studien wurden durch die LMBV in Auftrag gegeben:

„Bedeutung der Neißewasserüberleitung für die Rehabilitation der wasserwirtschaftlichen Verhältnisse in der Niederlausitz“, Dresdner Grundwasserforschungszentrum e.V. und BTU Cottbus, 30.07.1996

„Erfassung und Vorhersage der Gewässergüte in Tagebauseen der Lausitz als Basis für deren nachhaltige Steuerung und Nutzung“, Sachstandsbericht Nr. 07 und 08, „Wassergütemäßige Bewertung des Einflusses einer Überleitung von Neißewasser in Bergbaufolgeseen der Lausitz“, BTU Cottbus 1996

Die Neißewasserüberleitung wurde darin als wirksame Maßnahme zur Gefahrenabwehr in Bezug auf geotechnische Brüche, die Bildung schwefelsaurer Bergbaufolgeseen und die Gefahr der Verschleppung der Folgenutzung und Auslösung hoher Folgekosten beschrieben. Die Antragsunterlagen zur Realisierung der Neißewasserüberleitung wurden durch die LMBV am 25.08.2000 eingereicht. Im Planfeststellungsbeschluss (02.12.2002, Vollzug des Wasserhaushaltsgesetzes (WHG) und des Sächsischen Wassergesetzes (SächsWG), Wasserrechtliches Planfeststellungsverfahren „Spreetal/Neißewasserüberleitung“ gemäß § 31 Abs. 2 WHG i.V.m. dem Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPG) auf Antrag der Lausitzer und Mitteldeutschen Bergbau-Verwaltungsgesellschaft mbH, Länderbereich Ostsachsen, vom 25.08.2000) heißt es dazu in Punkt 4.1: *„Mit der beantragten „Neißewasserüberleitung“ ist die Entnahme von Wasser aus der Lausitzer Neiße bei Fluss-km 110,5 (Profil Steinbach) verbunden, welches ergänzend zum Wasserdargebot insbesondere im Einzugsgebiet der Spree zur Flutung von Tagebaurestlöchern aus dem Vorhabenskomplex „Spreetal“ genutzt werden soll - und zwar für die zum geplanten Bergbaufolgensee „Spreetal-Bluno“ gehörenden Restlöcher sowie weitere Tagebaurestgewässer der sogenannten „erweiterten Restlochekette“, insbesondere die Tagebaurestgewässer Sedlitz und Skado. Die Nutzungsdauer der Neißewasserüberleitung ist antragsgemäß auf 20 Jahre ausgerichtet. Unter mittleren hydrologischen Bedingungen sollen während der Flutung der Bergbaufolgeseen bei einem Abfluss in der Lausitzer Neiße an der Entnahmestelle bei Steinbach von mehr als 10,0 m³/s und einer Entnahmemenge von bis zu 2 m³/s ca. 31,7 Mio. m³/a übergeleitet werden. Ausweislich der Antragsunterlagen besitzt die Überleitung von Neißewasser eine stabilisierende Wirkung bei der Flutung und soll zu einer Reduzierung der erforderlichen Konditionierung in den Spreetaler Seen beitragen. Zudem soll mit dem Wasser aus der Lausitzer Neiße nach Erreichen der beantragten Wasserspiegellhöhen im Rahmen der Nachsorge zur Gewährleistung einer ausreichenden Wasserbeschaffenheit in den Tagebaurestgewässern beigetragen werden.“*

Da es sich bei der Lausitzer Neiße um einen Grenzfluss zwischen Polen und Deutschland handelt, wurde das Vorhaben entsprechend den Vorgaben des „Vertrages über die Zusammenarbeit der Bundesrepublik Deutschland mit der Republik Polen über die Zusammenarbeit auf dem Gebiet der Wasserwirtschaft an den Grenzgewässern vom 19.05.1992“ in der Deutsch-Polnischen Grenzgewässerkommission behandelt. Bereits in den ersten Diskussionen wurde das Erfordernis der Überleitung von Flusswasser in ein anderes Einzugsgebiet und die Rechtmäßigkeit des Vorhabens von der polnischen Seite bestritten (Protokoll über die erste Zusammenkunft der deutsch-polnischen Arbeitsgruppe W5

„Planung“, September 1993 in Frankfurt/Oder). Im April 2001 wurde vom IMGW im Auftrag der LMBV die „Wasserwirtschaftliche Wasser- und Stoffmengenbilanz der Lausitzer Neiße“ vorgelegt. Das Monitoringkonzept wurde zwischen den Gruppen W5 und W1 (Hydrologie und Hydrogeologie) und W2 (Wasserbeschaffenheit) der Grenzgewässerkommission abgestimmt. Auf sächsischer Seite wurde im Auftrag des damaligen Landesamtes für Umwelt und Geologie (LfUG) durch die Fa. G.E.O.S. ein „Vorschlag für ein Grund- und Oberflächenwassermonitoring in Sachsen entlang der Lausitzer Neiße im Zusammenhang mit den geplanten Neißewasserüberleitungen“ (2001) erarbeitet, dessen Ergebnisse in das Gesamtmonitoringkonzept (IMGW & DGFZ, 2002) eingeflossen sind. Seit April 2003 (erster Bericht zum „Nullmonitoring vor Flutungsbeginn“) wird dieses Monitoring jährlich im Auftrag der LMBV für den deutschen Teil und die Zusammenfassung vom Dresdner Grundwasserforschungszentrum (DGFZ) e. V. und für den polnischen Teil durch das Institut für Meteorologie und Wasserwirtschaft, Außenstelle Wrocław (seit 2014 „Institut für Meteorologie und Wasserwirtschaft – Staatliches Forschungsinstitut“) bearbeitet. Die Berichte werden einmal jährlich in der Deutsch-Polnischen Grenzgewässerkommission mit dem Protokoll zur Kenntnis genommen.

Die Neißewasserüberleitung beginnt an der Lausitzer Neiße an der Entnahmestelle Steinbach (Abb. 35). Als zu beachtende Bedingung für die Entnahme gilt ein Abfluss in der Lausitzer Neiße von $Q \geq 10 \text{ m}^3/\text{s}$. Mittels einer Pumpstation wird das Neißewasser über eine 10,6 km lange Rohrleitung (DN 1400) mit max. $2 \text{ m}^3/\text{s}$ nach Quolsdorf gepumpt. Von dort gelangt es über den Neugraben zwischen Quolsdorf und Rietschen und mehrere Verteilerbauwerke mit Wehranlagen in weitere Gräben, den Weißen Schöps, den Schwarzen Schöps und die Spree. Die Baukosten (1997-2006) lagen bei rund 30 Mio. € (LMBV, 2005). Südlich von Spremberg kann das Wasser durch das Pumpwerk Sprewitz in den Oberen Landgraben gefördert werden, der unter anderem die Verbindung zum Sabrodter See und Sedlitzer See herstellt. Planfestgestellt ist eine Neißewasserüberleitungsmenge bis zu $31,7 \text{ Mio. m}^3/\text{a}$.

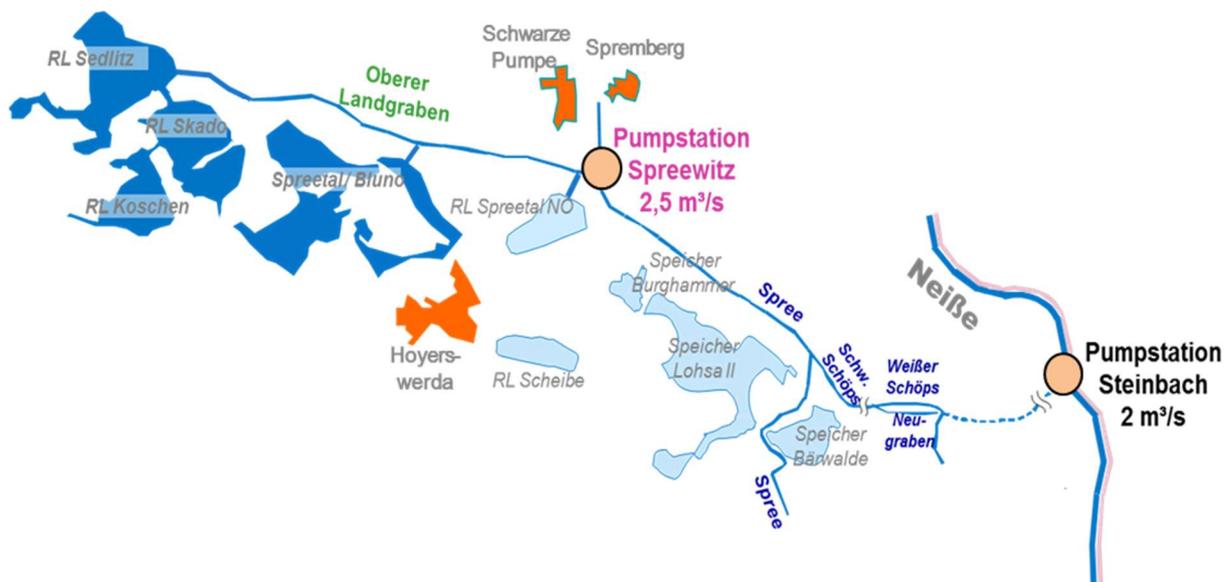


Abbildung 35: Neißewasserüberleitung von Steinbach (LMBV, 2006)

Eine offizielle Inbetriebnahme erfolgte bereits am 10.10.2005 (LMBV, 2005). Eine erstmalige Überleitung fand 2006 statt. Wegen erforderlicher Baumaßnahmen und anderer Gründe wurde erst vom 07.-24.03.2016 ein Funktionstest durchgeführt, bei dem insgesamt $1,069 \text{ Mio. m}^3$ Wasser aus der Lausitzer Neiße entnommen wurden. Im ersten Halbjahr 2019 wurden an 107 Tagen im Rahmen eines Probetriebs insgesamt $7,66 \text{ Mio. m}^3$ Wasser entnommen und übergeleitet. Im Jahr 2020 betrug die Gesamtmenge der Wasserentnahme

ca. 6,5 Mio. m³. Seit dem zweiten Halbjahr 2020 besteht durch die Anhebung des sanierungsbedingten Grenzwasserstandes im Sedlitzer See ein erhöhter Bedarf an Flutungswasser. Im Frühjahr 2021 konnten im Probetrieb, aufgrund der günstigen Wasserdargebotsverhältnisse und trotz technischer Einschränkungen im Bereich der Pumpstation Steinbach, ca. 12 Mio. m³ Wasser aus der Lausitzer Neiße entnommen und in den Sedlitzer See eingeleitet werden.

Der sichere Betrieb der Anlage wird in den letzten Jahren u. a. durch die oberhalb der Entnahmestelle liegenden Wasserkraftanlagen beeinflusst. Die Aufnahmefähigkeit des Weißen und Schwarzen Schöps und der Spree in niederschlagsreichen Zeiten (Quelle LMBV im Rahmen der Sitzung der AG FGB) mindert die Überleitung von Wasser aus der Lausitzer Neiße (bereits im Planfeststellungsbeschluss enthalten). Die Untersuchungen im Rahmen der Projektes NEYMO (2015) belegen, dass aufgrund der bisher bereits stattgefundenen Klimaveränderungen und unter Berücksichtigung der folgenden Klimaänderungen die geplante Flutungswassermenge von 31,7 Mio. m³/a nicht erreichbar ist.

Für die Entnahme von Neißewasser für die Flutung des Tagebaurestloches Berzdorf wurde in den Jahren 2002 und 2003 ein Nullmonitoring (Etappe 1 und 2 – Phase I) und ab 2004 ein Flutungsmonitoring (Etappe 1 – Phase II) durchgeführt. Ab 2004 stand die Zulaufanlage der Lausitzer Neiße für die Flutung mit Wasser aus der Lausitzer Neiße zur Verfügung. Mit der (ungeplanten) Füllung des Bergbaufolgesees infolge des Hochwassers 2010 an der Lausitzer Neiße wurde die Flutung aufgrund des Sanierungsbedarfs der Anlagen unterbrochen. Die Flutung des Berzdorfer Sees konnte im 1. Halbjahr 2013 mit dem stabilen Erreichen des geplanten Endwasserstandes abgeschlossen werden. Die Zulaufanlage an der Lausitzer Neiße wurde zurückgebaut. Mit dem „Sachstandsbericht zum Abschluss der Flutung des Berzdorfer Sees und zum geplanten Vorgehen zur Neißewasserüberleitung 2013“ (Bericht vom 27.02.2013 im Auftrag der LMBV unter Mitarbeit des DGFZ, des LfULG und der LDS) wurde das Vorhaben Flutung Berzdorfer See abgeschlossen.

Bei langfristiger Einbeziehung der Neißewasserüberleitung muss berücksichtigt werden, dass es im Einzugsgebiet der Lausitzer Neiße den polnischen Tagebau Turów gibt, dessen Restloch und Absenkungsbereich nach dem für 2044 geplanten Abbauende (KWB Turów, 2018) ebenfalls geflutet werden müssen.

Fazit: Die Neißewasserüberleitung wurde für die Flutung und Nachsorge der ERLK eingerichtet und genehmigt. Eine Verwendung zur Stützung von Mindestabflüssen in Niedrigwassersituationen in den Einzugsgebieten der Spree und Schwarzen Elster ist bisher nicht geplant und zugelassen. Die Neißewasserüberleitung befindet sich aktuell im Probetrieb. Bisher konnte aus verschiedenen Gründen noch keine volle Auslastung der vorhandenen Kapazitäten erfolgen. Aus Sicht der Autoren ist durch die Neißewasserüberleitung nur eine geringfügige Stützung des Wasserhaushalts möglich.

Auch im Einzugsgebiet der Lausitzer Neiße kann es durch die klimatischen Entwicklungen zur Verringerung des Dargebotes, insbesondere zu häufigeren und längeren Trockenzeiten kommen, wodurch zukünftig Einschränkungen des Entnahmeumfanges nicht auszuschließen sind. Möglichkeiten der geringfügigen Optimierung der Wasserbewirtschaftung wurden auch im Projekt NEYMO-NW (2021) untersucht. Dabei wurde auch die weitere Optimierung der Bewirtschaftung der Wasserkraftanlagen diskutiert. Eventuell kann man in deutsch-polnischen Verhandlungen den Spielraum für Mindestwasserabflüsse erweitern, zum Beispiel durch die Flexibilisierung von Mindestwasserabflüssen für Sommer und Winter. Zukünftig ist gemeinsam mit der tschechischen Seite zu prüfen, ob veränderte Regelungen zur Bewirtschaftung der Talsperren und Speicher im Oberlauf der Lausitzer Neiße einen Beitrag zur Stützung des Wasserdargebots in der Lausitzer Neiße liefern können.

3.6 STÜTZUNG DES WASSERHAUSHALTS DURCH ELBEWASSERÜBERLEITUNG

Eine Überleitung von Elbewasser wurde Anfang der 1990er Jahr von der LAUBAG/LBV als Option zur Flutung und Nachsorge der Tagebaurestlöcher und Stützung des Wasserhaushalts vorgeschlagen. 2008 wurden dazu Varianten durch die BTU Cottbus und die TU Bergakademie Freiberg entwickelt. Im Auftrag der LMBV wurde durch die GFI GmbH (Prof. Luckner), die BTU Cottbus (Prof. Grünewald) und die TU Bergakademie Freiberg (Prof. Drebenstedt) eine „Studie zur Elbewasserüberleitung“ erarbeitet (LMBV, 2009). Diese wurde zwei Jahre später von der GFI GmbH Dresden durch eine „Kosten- und Nutzenbetrachtung zur Elbewasserüberleitung“ ergänzt (GFI, 2010). Es wurden zwei technische Varianten einer Elbewasserüberleitung untersucht:

Variante 1 Rohrleitung: Überleitung von $Q = 3,5 \text{ m}^3/\text{s}$ (100 Mio. m^3/a) Elbewasser von Grödel bei Riesa über eine 84 km lange Druckrohrleitung (DN 2000) in östlicher Richtung bis zum SB Knappenrode. Die ehemalige Pumpstation in Grödel liegt bei Elbekilometer +104 km und $H = 90 \text{ m}$ NHN. Das Wasser muss bis zum Einleitpunkt bei 124,2 – 126 m NHN gefördert werden. Ein Hochpunkt liegt bei 128 m NHN, die max. Höhendifferenz beträgt 38 m. Die erforderliche Förderhöhe der Pumpstation ergibt sich unter Einbeziehung einer Verlusthöhe von 50 – 60 m zu 90 – 100 m. Vom SB Knappenrode ist eine 3 km lange Heberleitung zum SB Lohsa I zu bauen. Damit können sowohl die Schwarze Elster, die Kleine Spree (Nutzung des SB Dreiweibern und Speichersystems Lohsa II) sowie die Spree vor dem Zulauf zum SB Bärwalde und SB Lohsa II gespeist werden. Abb. 36 zeigt die Trasse der Variante und die Abb. 37 die Einleitungspunkte und nutzbaren Speicherkapazitäten. Die Investitionskosten zzgl. Entschädigungszahlungen und Planungskosten wurden 2009 auf rund 264,5 Mio. EUR geschätzt. Die spezifischen Betriebskosten wurden auf 0,0455 EUR/ m^3 übergeleitetes Elbewasser geschätzt. Bei Ansatz von 100 Mio. m^3/a ergeben sich Betriebskosten in Höhe von 4,55 Mio. EUR/a.

Als weitere Option wurde die Nutzung des Grödel-Elsterwerdaer Floßkanals untersucht. Die Rohrleitungsvariante wurde jedoch favorisiert, vor allem hinsichtlich eines einfacheren Genehmigungsverfahrens.

Variante 2 Tunnel: Überleitung $Q = 3,5 - 5 \text{ m}^3/\text{s}$ (100 – 160 Mio. m^3/a) Elbewasser aus dem Hafenbecken Prossen (zwischen Bad Schandau und Königstein) unter Nutzung eines Tunnels im Festgestein bis zum SB Knappenrode. Die Entnahmepumpstation in Prossen fördert von $H = 119 \text{ m}$ NHN über eine 0,8 km lange Druckrohrleitung (DN 2200) in den Tunnelmund bei $H = 136 \text{ m}$ NHN. Die max. Höhendifferenz beträgt 17 m. Die erforderliche Förderhöhe der Pumpstation beträgt etwa 17 m. Der in Stahlbeton ausgeführte Tunnel hat einen Innendurchmesser von 3,5 m und eine Länge von 44 km (Abb. 38). Der erste Tunnelabschnitt ist 6 – 8 km lang und verläuft im Sandstein des Elbsandsteingebirges. Im weiteren Verlauf werden Granodiorit, Grauwacke, Kaoline und Lockergesteine der Niederlausitz durchfahren. Das Wasser fließt im Tunnel bei gleichmäßigem Gefälle und die letzten 10 km in einer Druckrohrleitung DN 2200 zum Einleitpunkt bei 124,2 – 126 m NHN. Vom SB Knappenrode ist wie bei der Variante 1 eine 3 km lange Heberleitung zum SB Lohsa I zu bauen. Damit können sowohl die Schwarze Elster, die Kleine Spree (Nutzung des SB Dreiweibern und Speichersystems Lohsa II) sowie die Spree vor dem Zulauf zum SB Bärwalde und WSS Lohsa II gespeist werden. Abb. 36 zeigt die Trasse der Variante und die Abb. 37 die Einleitungspunkte und nutzbaren Speicherkapazitäten.

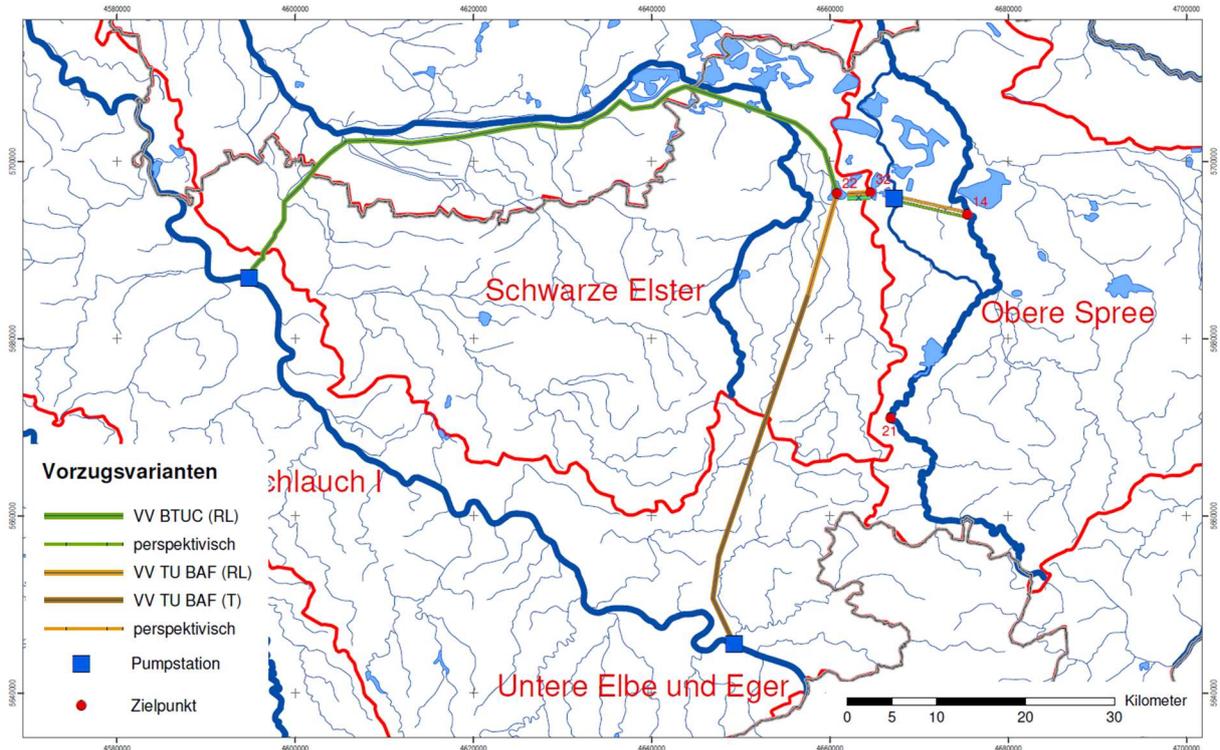
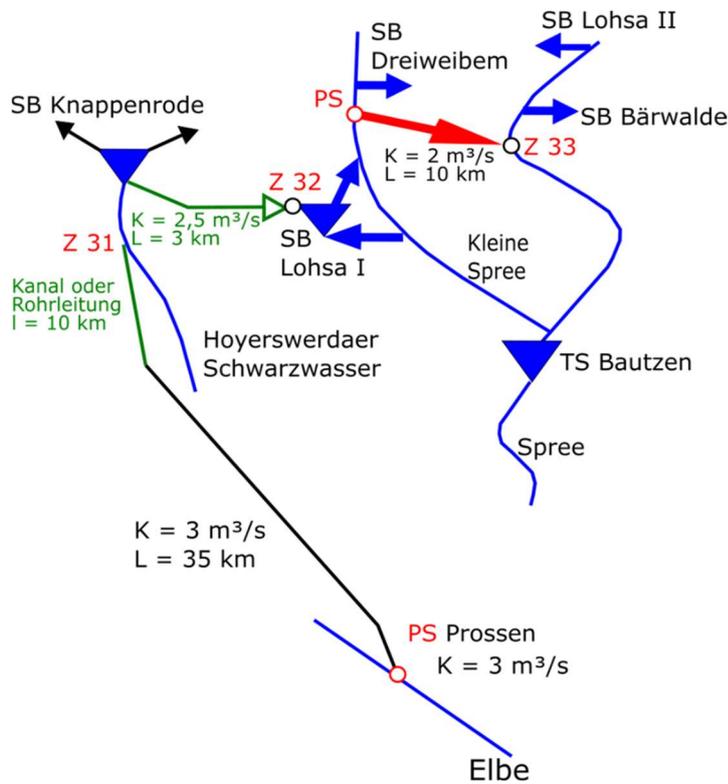


Abbildung 36: Trassen der Varianten Rohrleitung (RL) und (2) Tunnel (T) (GFI, 2010)



K-Kapazität, L-Länge, PS-Pumpstation

Abbildung 37: Einleitungspunkte und Speicherkapazitäten der Variante V2b-TUBAF-K3 Tunnel (nach LMBV, 2009)

Schnitt Prossen - Knappensee

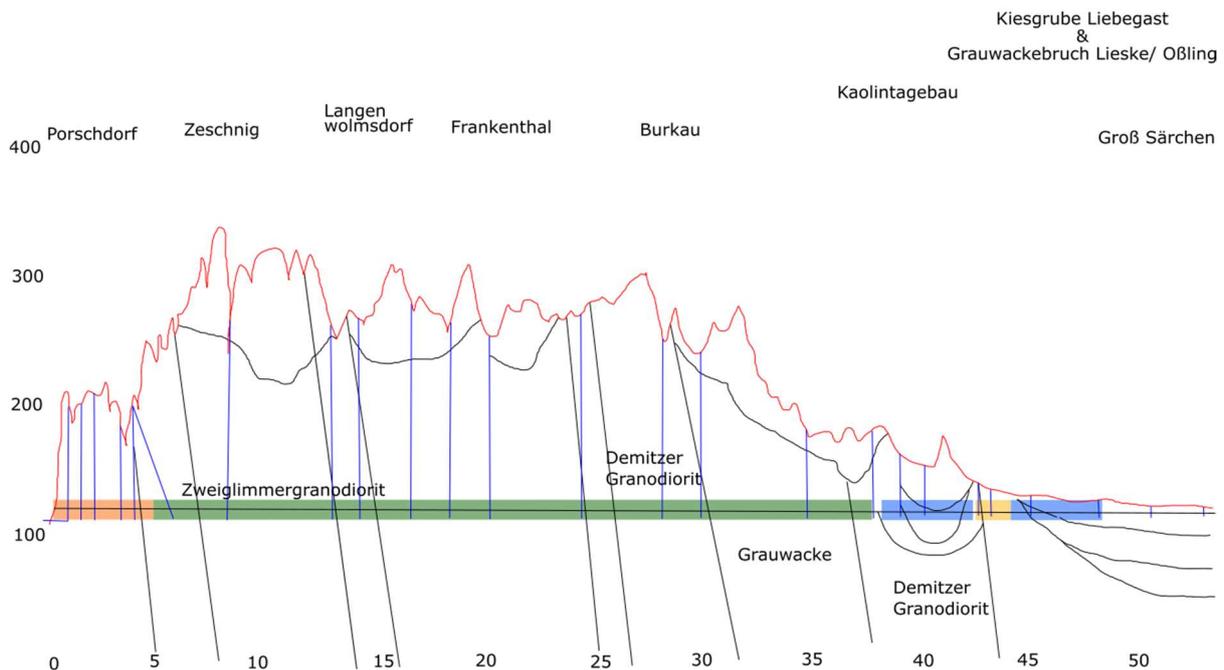


Abbildung 38: Tunneltrasse im Festgestein (nach Potzelt, 2009)

Andere Optionen der Einleitpunkte waren ungünstiger, z. B. die Einleitung in die Talsperre Bautzen, da so ein Wasserdargebot guter Qualität durch den Eintrag von Huminstoffen und organischen Spurenstoffen beeinträchtigt werden würde. Dies hätte auch Auswirkungen auf die Wassergewinnung der Fernwasserversorgung Sdier, die zu 65 % indirekt aus dem mit Talsperrenwasser beschickten Großen Lugteich (Uferfiltration) erfolgt. Eine Überleitung in einen Bergbaufolgensee ist günstiger, da so einerseits das Absetzen von Partikeln und ggf. eine Sorption einiger organischer Spurenstoffe an den durch Grundwasserzutritt gebildeten frischen Eisen(III)hydroxiden zu erwarten sind und andererseits das Neutralisationspotenzial des Elbewassers besser genutzt wird.

Die Investitionskosten zzgl. Entschädigungszahlungen und Planungskosten wurden 2009 auf rund 300 Mio. EUR geschätzt. Die spezifischen Betriebskosten wurden auf 0,0161 EUR/m³ übergeleitetes Elbewasser geschätzt. Bei Ansatz von max. 100 Mio. m³/a ergeben sich Betriebskosten in Höhe von 1,61 Mio. EUR/a.

Die Betriebskosten werden durch die Energiekosten zur Wasserförderung bestimmt. Die Betriebskosten der Tunnelvariante liegen bei einem Drittel derer der Rohrleitung. Bei einer Nutzungsdauer von 100 Jahren und mehr hat damit die Tunnelvariante einen deutlichen Vorteil. Ein zweiter Vorteil der Tunnelvariante besteht darin, dass eine Förderung von bis zu 5 m³/s möglich ist, was das Erreichen einer Überleitung von 100 Mio m³/a sichern kann, auch wenn an deutlich weniger als 365 Tagen im Jahr eine Entnahme möglich ist. Drittens werden bei einer Tunnelvariante geringere Nutzungskonflikte bei der Trassierung und ein einfacheres Genehmigungsverfahren erwartet.

Für beide Varianten wurde von der TU BAF eine Bauzeit von 3 bis 4 Jahren veranschlagt. Für die Erstellung der Planungsunterlagen und die Durchführung des Planfeststellungsverfahrens ist mit deutlich mehr als 10 Jahren zu rechnen. Setzt man einen Beginn der Planung mit 2023 an und rechnet mindestens 15 Jahre Planungs- und Bauzeit, könnte die Elbewasserüberleitung frühestens ab 2038 wirksam werden. Eine Entscheidung dazu in 2023 könnte so immer noch den Flutungsprozess der neuen Bergbaufolgeseen stützen und eine teilweise Kompensation der Wasserhebung der LEAG und Speisung der Spree bewirken.

Die Größenordnung der möglichen Entnahme und Überleitung von Elbewasser hängt einerseits vom Dargebot der Elbe und den sich ergebenden Nutzungskonflikten und andererseits von den technischen Optionen des Transports in die Lausitz und den dort verfügbaren Verteilungsstrukturen ab. Grundsätzlich ist von einem erhöhten Wasserbedarf der Lausitz in Trockenperioden auszugehen, in denen auch die Elbe Niedrigwasser führt. Bei Hochwasser der Elbe ist bei entsprechender hydrologischer Gesamtsituation jedoch auch von einem erhöhten Dargebot in der Lausitz zu rechnen, so dass dann eine zusätzliche Zufuhr von Überleitungswasser, sowohl was den Gewässerausbau, als auch den Erhalt der ökologischen Funktionen betrifft, nicht möglich ist. Eine Lösung bestünde in einer oberirdischen oder unterirdischen Zwischenspeicherung des Überleitungswassers. Für eine oberirdische Speicherung wurden durch die Gutachter 2009 die Speicher Lohsa I und II mit einer Speicherkapazität von 75 Mio. m³ (aktuell 30,2 Mio. m³, vgl. 2.3), das SB Bärwalde mit 25 Mio. m³ (aktuell 12,6 Mio. m³) und die Erweiterte Restlochkette mit 50 Mio. m³ (2018: 29 Mio. m³) vorgeschlagen. Zum Stand 2018 stünden nur 71,8 Mio. m³ zur Verfügung. Die für eine Bewirtschaftung nutzbaren Speichervolumina der Bergbaufolgeseen sind im Vergleich zu Talsperren trotz ihrer großen Flächen aufgrund der geringen zulässigen Wasserstandsschwankungen gering (siehe 2.3). Der aktuell verfügbare oberirdische Speicherraum würde nicht für die geplante Überleitung von 100 Mio. m³/a ausreichen. Im Unterschied zu Talsperren ist kaum eine Speicherung für mehr als ein Trockenjahr möglich. Für genauere Aussagen werden noch entsprechende Bilanzbetrachtungen zum Wasserbedarf in einem Trockenjahr benötigt.

Die Aufnahmefähigkeit der Überleitungen zwischen den Bergbaufolgeseen für höhere Durchflüsse müsste geprüft und ggf. angepasst werden. An der PS Spreewitz können 2,5 m³/s entnommen werden, am Zuleiter SB Lohsa II 10 m³/s, was für die Aufnahme der Wassermengen aus der Elbewasserüberleitung ausreichen würde.

Die Möglichkeiten einer unterirdischen Speicherung wurden bisher nicht untersucht. Diese würden erhebliche Baumaßnahmen für Infiltrationsanlagen (Sickerschlitzgräben, Sickerbecken) und/oder die Ausweisung von Überflutungsflächen zur nahezu kontinuierlichen Grundwasseranreicherung erfordern. Ein Kostenvergleich der oberirdischen und unterirdischen Speicherung ist noch nicht verfügbar. Vorteile einer unterirdischen Speicherung nach Infiltration von Elbewasser wären die Verbesserung der Wasserbeschaffenheit (Schwermetalle, DOC, organische Spurenstoffe) sowie die deutliche Verringerung der Verdunstungsverluste. Nachteilig wären die höheren Betriebskosten für die zusätzliche Hebung des künstlich angereicherten Grundwassers in den Zeiten der erforderlichen Stabilisierung der Abflüsse in den Oberflächengewässern.

Mit dem Flutungswasserbedarf der LMBV war zum Stand 2009 eine Elbewasserüberleitung im Zeitraum nach 2015 nicht begründbar. Es wurde davon ausgegangen, dass die in der Verantwortung der LMBV liegende Flutung der Tagebaurestlöcher bis 2015 abgeschlossen ist. Dies ist zum Stand 2020 nahezu der Fall (vgl. Tab. 5), allerdings hat sich die Flutung aufgrund sanierungsbedingter Restriktionen deutlich verlangsamt (Abb. 19).

Begründet wurde eine Elbewasserüberleitung durch den **Nachsorgewasserbedarf der LMBV** bei Ansatz einer 20 bis 30 Jahre dauernden bergbaubedingten Nachsorge. Die 2009 formulierten Ziele einer Elbewasserüberleitung haben sich im Jahr 2020 nicht grundsätzlich geändert (1-4), sind aber ergänzungsbedürftig (5-7):

1. Stützung des Zielwasserspiegels der Standgewässer und der Mindestabflüsse in den Fließgewässern bis zum Abschluss des Grundwasserwiederanstiegs im Betrachtungsraum,
2. Gewährleistung etwa neutraler Gewässerbeschaffenheit mit pH = 6 bis 8 mit den damit verbundenen niedrigen Eisen-, Zink-, Kupfer- und Aluminiumgehalten,

3. Gewährleistung bestimmter Immissionszielwerte für Sulfat und Ammonium, insbesondere in der Schwarzen Elster und der Spree,
4. Unterstützung des Übergangs eines guten ökologischen Potenzials der Gewässer in einen guten ökologischen Gewässerzustand. (Anmerkung: Ein guter ökologischer Zustand wird nur bei gering verbauten Gewässern abgeleitet. Die Zielstellung müsste umformuliert werden in z. B. Unterstützung der Entwicklung der biologischen Komponenten nach WRRL unter der Voraussetzung, dass keine Schwallflutung stattfindet.)

So steht mittlerweile fest, dass der angenommene Zeitraum von 20 bis 30 Jahren für einen Nachsorgewasserbedarf der LMBV für die bergbaubedingte Nachsorge nicht zutrifft. Realistischerweise muss heute von einer sogenannten bergbaubedingten Ewigkeitslast ausgegangen werden. Der Wasserhaushalt wird auf mehr als 100 Jahre der gezielten Fremdwasserzuführung und eines umfassenden Wassermanagements bedürfen. Das Ziel eines sich weitgehend selbstregulierenden Wasserhaushalts nach Menge und Güte wird selbst langfristig allenfalls in Ansätzen und in einzelnen regionalen Bereichen erreichbar sein. Die Situation wird dabei durch die erhöhte Verdunstung der neu geschaffenen Bergbaufolgeseen bei gleichzeitig geringerer Grundwasserneubildungsrate aufgrund des Klimawandels verschärft (siehe auch Ziel 7 neu unter dem Blickwinkel des beschlossenen Kohleausstiegs). Insoweit ist ein weiteres Ziel aufzunehmen:

5. Stützung des regionalen Wasserhaushalts zur Erreichung der Ziele 1-4

Unter Berücksichtigung der vorzeitigen Beendigung der Kohleverstromung und der damit verbundenen schneller notwendigen Flutung von zukünftigen Tagebaurestlöchern und der erwarteten Beendigung der Wasserhebung der LEAG und Einspeisung in die Spree ist ein weiteres Ziel zu ergänzen, welches vor allem zeitlich über 1. hinausgeht:

6. Beschleunigung der Flutung der neuen Tagebaurestlöcher und Vermeidung des Trockenfallens von Gewässern, insbesondere der Spree, bis zum Abschluss des Grundwasserwiederanstiegs im Betrachtungsraum.

Und unter Berücksichtigung der bereits beschriebenen prognostizierten Klimaänderungen in Sachsen (s. Abschnitt 2.2) sind zwei Ziele zu ergänzen, welche im Zusammenhang mit dem politisch in Aussicht gestellten Strukturwandel diskutiert werden müssen:

7. Langfristige Stützung des regionalen Wasserhaushalts zur teilweisen Kompensation zunehmender weiterer erhöhter Verdunstungsverluste durch weitere Bergbaufolgeseen im Zuge des Kohleausstiegs bei gleichzeitig langfristig abnehmenden Grundwasserneubildungsraten, sowie

8. Unterstützung des Strukturwandels, soweit dieser auf die Stärkung des ländlichen Raumes, des Tourismus, der Fischzucht und neue Industrieansiedlung abzielt.

Die Zielpunkte 7 und 8 können nicht entkoppelt von der Bergbaunachsorge (s. auch Zielpunkt 5) betrachtet werden, da die zu erwartenden Klimaänderungen bekannt sind und bei dem geplanten Strukturwandel berücksichtigt werden müssen.

Eine radikal andere Herangehensweise wäre, die Nutzung größerer Gebiete der Lausitz langfristig völlig anders auszurichten und eine Versteppung sowie die Zunahme von Trockenperioden mit all ihren Auswirkungen auf die Gewässer und die Wasserbeschaffenheit bewusst zuzulassen (SZ, 2020). Extreme Auswirkungen könnten beispielsweise ein zeitweise geringeres Dargebot im Spreewald mit noch zu klassifizierenden Schäden für die Wirtschaft, Pflanzen- und Tierwelt sein, sowie ein vermindertes Dargebot für den Bootsbetrieb in der Hauptspreet, verminderte Wasserkraftgewinnung, geringeres Wasserdargebot für die landwirtschaftliche Bewässerung und eine mehrmonatige Verringerung des Spreezuflusses

Durchgängigkeit vor allem in der Sicherstellung von ökologischen Mindestabflüssen. Dies kann gegenwärtig nur für wenige Gewässer erreicht werden, und der Effekt ist bei der bestehenden Verbindung der Gewässer untereinander begrenzt. Eine Elbewasserüberleitung wäre hier für einige Fließgewässer durchaus förderlich, jedoch kein zwingendes Argument dafür.

Im Zusammenhang mit dem guten ökologischen Gewässerzustand müssen auch potenzielle Stoffeinträge durch eine Elbewasserüberleitung betrachtet werden. Die Nährstoffbelastung der Elbe wird als unkritisch bewertet. Zu prüfen sind die relativ hohe Konzentration an gelöstem organischem Kohlenstoff (DOC), das Vorkommen organischer Spurenstoffe im Elbewasser, der partikelgebundene Schwermetalltransport und mögliche Stoßbelastungen mit Schadstoffen infolge von Havarien. Der Mittelwert der DOC-Konzentration der Spree am Pegel Rahnsdorf lag von 2001-2015 bei 5-7 mg/l (AWE, 2016), der Medianwert der DOC-Konzentration der Elbe am Pegel Schmilka bei 6,3 mg/l (2018-2019, n=101, iDA, 2020). Der leicht abbaubare Anteil des Elbe-DOC liegt bei etwa 20 %. Geht man von einer teilweisen Speisung der Spree durch das übergeleitete Elbewasser aus, würde sich die DOC-Konzentration der Spree voraussichtlich nicht erhöhen. Eine komplexe Bewertung der Beschaffenheitsaspekte, wie von Müller et al. (2003) für die Oderwasserüberleitung durchgeführt, liegt noch nicht vor.

Das Risiko einer Verfrachtung von Schadstoffen in die Lausitz im Falle einer Havarie auf/an der Elbe wird als gering bewertet. Durch die grenznahe, kontinuierliche Kontrolle der Wasserqualität an der Messstation Schmilka kann in den meisten Fällen eine rechtzeitige Unterbrechung der Elbewasserentnahme erreicht werden.

Die vorhergehenden Betrachtungen zeigen, dass sich der Nutzen einer Elbewasserüberleitung vor allem aus den Zielstellungen 1, 3, 5, 6 und 7 ergibt. Für eine Bewertung des zu erwartenden Nutzens für die Bundesländer Berlin, Brandenburg und Sachsen ist eine Kosten-Nutzen-Analyse erforderlich, wobei die Festlegung und Wichtung der Kriterien dafür sehr schwierig ist.

Die 2009 geschätzten Investitionskosten zzgl. Entschädigungszahlungen und Planungskosten mit rund 300 Mio. EUR für die Tunnelvariante werden sich bei einem Planungsstart ab frühestens 2023 voraussichtlich auf >500 Mio. EUR erhöhen. Diese Größenordnung ist mit der anderer technischer Maßnahmen, wie z. B. einer Beauftragung der LEAG oder einer Nachfolgeorganisation wie der LMBV zur weiteren zeitweisen Hebung von Grundwasser zur Stützung der Gewässerabflüsse zu vergleichen. Kostenschätzungen hierzu und Betrachtungen zur Verfügbarkeit des Grundwassers unter Berücksichtigung eines Rückgangs der Grundwasserneubildung in Folge des Klimawandels liegen jedoch noch nicht vor und können nur auf der Grundlage neuer Wasserhaushaltsmodellierungen erfolgen.

Die Elbe wird als Bundeswasserstraße hoheitlich vom Bund bewirtschaftet. 2009 wurde seitens des Wasser- und Schifffahrtsamtes auf Anfrage der Gutachter telefonisch mitgeteilt, dass keine offiziellen Pegelstände definiert sind, bei denen zur Erhaltung der Schifffahrt eine Wasserentnahme aus der Elbe nicht möglich ist. Die damalige Fragestellung beinhaltete allerdings nicht die geplante Entnahme von etwa 100 Mio. m³/a. Es muss davon ausgegangen werden, dass in zukünftigen Trockenperioden und bei geringerer Speisung der Elbe aus den tschechischen Talsperren längere Niedrigwasserperioden auftreten können, wie bereits 2018-2020 beobachtet. Setzt man einen mittleren Niedrigwasserabfluss am Pegel Dresden von MNQ = 110 m³/s an, so würde eine Entnahme von max. 3,5 m³/s eine Verringerung des Abflusses um 3,2 % bedeuten, was eine Wasserspiegelabsenkung an Elbabschnitten mit geringer Tiefe um nur 3 cm bedeuten würde. Dennoch kann eine solch geringe Absenkung des Elbepegels Konflikte mit der Schifffahrt verursachen und zu einem Problem im

Genehmigungsverfahren werden, da die tschechischen Oberlieger ein besonderes Interesse an der Schifffbarkeit der Elbe haben und den Abfluss der Elbe gerade im Niedrigwasserfall über die Moldau-Staustufen entscheidend beeinflussen.

Realistisch ist eine Festlegung von Entnahmemengen für definierte Abflüsse der Elbe, so wie es für die Lausitzer Neiße geregelt ist. Abb. 39 zeigt die Dauerlinien der Elbe am Pegel Schöna und die Anzahl der Tage einer Unterschreitung des mittleren Niedrigwasserabflusses. Bei einer Festlegung zur Überleitung bei $Q > MNQ$ würde in Jahren mit mittleren Abflussverhältnissen an >20 Tagen keine Förderung möglich sein. Die Zahl der Tage wird sich infolge des Klimawandels erhöhen. In trockenen Jahren wie 2018 wäre an >120 Tagen keine Entnahme möglich und somit in einem Zeitraum, in dem eine Überleitung besonders wichtig für die Schwarze Elster und die Spree wäre. Eine Elbewasserentnahme an 365 Tagen im Jahr ist somit unrealistisch. Bei verbleibenden 245 Tagen und einer max. Entnahme von $5 \text{ m}^3/\text{s}$ könnten jedoch 105 Mio. m^3/a Elbewasser übergeleitet werden. Diese Überleitungsmenge müsste von den Speichern aufgenommen werden können.

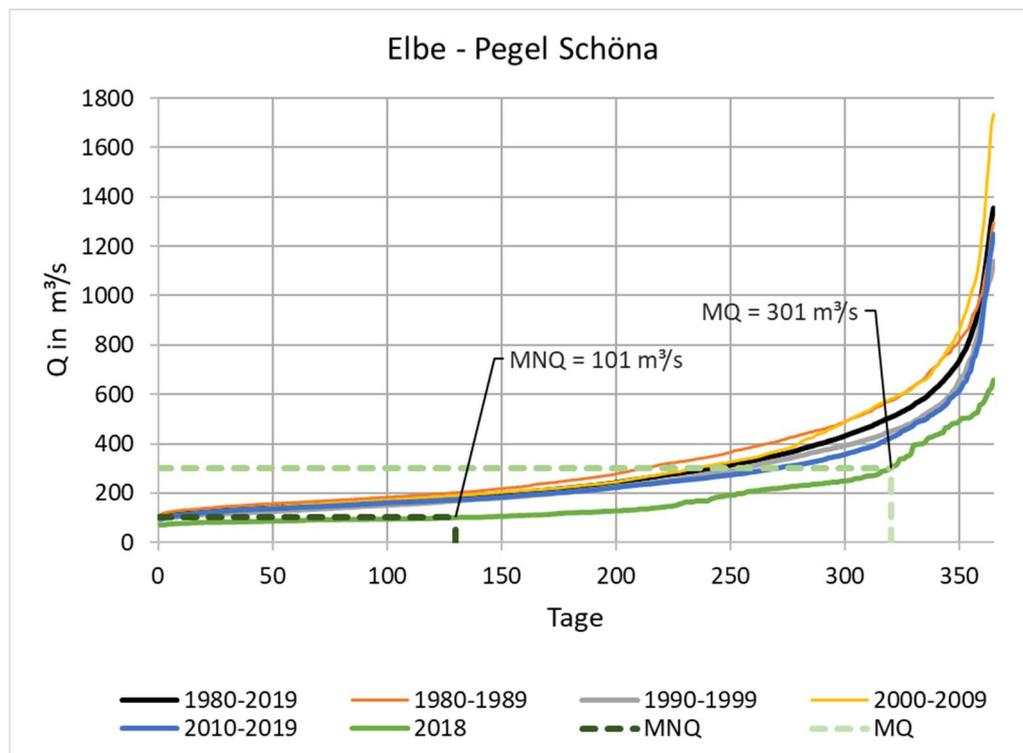


Abbildung 39: Abfluss-Dauerlinien der Elbe, Pegel Schöna

Die Elbe ist eine bedeutende Rohwasserquelle für Uferfiltratwasserwerke in Dresden, Riesa und Torgau. Eine Verringerung des Abflusses in Niedrigwasserperioden um 3 – 5% würde aktuell zu einer etwas geringeren Verdünnung des eingeleiteten Abwassers führen, jedoch in dieser Größenordnung kaum zu Problemen bzgl. Grenzwertüberschreitungen. Die Verringerung des Pegelstandes der Elbe würde zu geringen Mehrkosten für die Wasserhebung führen und den gewinnbaren Uferfiltratanteil etwas reduzieren. Da jedoch langfristig infolge des Klimawandels auch für das Einzugsgebiet der Elbe häufigere Extremereignisse erwartet werden, sind auch Forderungen der Wasserversorger hinsichtlich einer Begrenzung der Elbewasserentnahmen bei Niedrigwasserabfluss zu erwarten.

Fazit: Eine Elbewasserüberleitung im Umfang von etwa 100 Mio. m³/a würde eine wesentliche Stützung des Wasserhaushaltes in den Einzugsgebieten der Schwarzen Elster und der Spree ermöglichen. Es wird eingeschätzt, dass eine Entnahme nur bei Festlegung abflussspezifischer Entnahmemengen genehmigungsfähig ist und in Niedrigwasserperioden nur eine geringe oder keine Entnahme möglich ist. Während die Überleitungskapazitäten auch für eine diskontinuierliche Überleitung von bis zu 5 m³/s vorhanden sind, fehlen Speicherkapazitäten. Die bisherigen wasserhaushaltlichen Betrachtungen und Prognosen reichen nach Ansicht der Autoren noch nicht aus, um eine Entscheidung für oder gegen eine Elbewasserüberleitung zu treffen. Aufgrund der hohen Kosten muss der Nutzen dieser technischen Maßnahme im Vergleich zu anderen Maßnahmen (z. B. zeitweise Grundwasserhebung in der Lausitz zur Stützung der Oberflächengewässer) eindeutiger nachgewiesen werden. Die Autoren plädieren auch unter Berücksichtigung der zu erwartenden vielfältigen Nutzungskonflikte der Elbanlieger für eine vertiefte ergänzende Untersuchung einzugsgebietsbezogener Maßnahmen.

3.7 STÜTZUNG DER TRINKWASSERVERSORGUNG VON BERLIN UND BRANDENBURG DURCH ODERWASSERÜBERLEITUNG

Der Bericht „Wasserwirtschaftliche Verhältnisse des Projektes 17 für den Bereich des WNA Berlin, 6. Fassung, 1. und 2. Teilbericht (Auftraggeber: Wasserstraßen-Neubauamt Berlin, Bearbeitung 2011 bis 2013) beschäftigt sich u.a. mit den Folgen des Klimawandels (BfG, 2013). In drei Szenarien und unter Nutzung des Wasserhaushaltsmodells WBalMo werden die Folgen abgeschätzt. Die Autoren kommen zu dem Schluss, dass sich aufgrund der verschiedenen Klimamodelle keine einheitliche Entwicklungstendenz ableiten lässt. Demzufolge konnte zu diesem Zeitpunkt kein weitergehender Handlungsbedarf ermittelt werden.

Die Möglichkeiten der Niedrigwasseraufhöhung am Pegel Große Tränke durch Oderwasserüberleitung wurden mit dem Wasserbewirtschaftungsmodell ArcGRM Spree/Schwarze Elster für eine max. Kapazität von 3,5 m³/s hinsichtlich Menge (Kaden & Redetzky, 2000) und Beschaffenheit (SenStadtUm, 1994; SenStadtUm, 2001) untersucht. Die Zuleitung kann vom Pumpwerk Eisenhüttenstadt über den Oder-Spree-Kanal erfolgen. Für den Betrachtungszeitraum 1998-2002 wurde ermittelt, dass die Kapazität der Oderwasserüberleitung nicht ausreicht, um die Defizite in der Einhaltung des Mindestabflusses am Pegel Große Tränke auszugleichen. Als kritisch wurde der Eintrag von Nitrat, Gesamtstickstoff, Chlorid, TOC, Kupfer und Blei mit dem Oderwasser in die Spree bewertet, deshalb sprach sich die Senatsverwaltung der Stadt Berlin aus Gründen der Wasserbeschaffenheit gegen eine Überleitung von Oderwasser aus (Müller et al., 2003).

Auch für eine Oderwasserüberleitung ist davon auszugehen, dass eine Entnahme von 3,5 m³/s nicht ganzjährig möglich ist, sondern nur eine Festlegung abflussspezifischer Entnahmemengen genehmigungsfähig ist und in Niedrigwasserperioden nur eine deutlich geringere Entnahme möglich ist. Auch hier ergibt sich somit die Frage nach ausreichender Speicherkapazität, um das Wasser in Zeiten höherer Abflüsse der Oder überzuleiten und zwischenzuspeichern.

4 ZUSAMMENFASSUNG

Aufgrund des Jahrhunderte währenden Abbaus von Braunkohle im Lausitzer Revier und der damit verbundenen Wasserhebung und -ableitung ist der Wasserhaushalt in den Flusseinzugsgebieten Spree und Schwarze Elster stark gestört.

Nach der Wiedervereinigung und dem damit einhergehenden Rückgang der Braunkohlenverstromung kam es auch in der Lausitz zur vorzeitigen Schließung und dem Nichtaufschluss von geplanten Tagebauen. Braunkohlenpläne und Sanierungsrahmenpläne wurden den Erfordernissen angepasst – es kam zu erheblichen Veränderungen in der Bewirtschaftung der Gewässer. Das in diesem Zusammenhang erklärte Ziel der 11. Umweltministerkonferenz der neuen Bundesländer 1994 und des StuBa-Beschlusses 2001, dass mit Bergbauende im Bereich des Sanierungsbergbaus ein „*sich weitgehend selbst regulierender Wasserhaushalt*“ einstellt, konnte noch nicht erreicht werden. Die Umsetzung zahlreicher Maßnahmen in Bundes-, Länder- und Drittmittelfinanzierung trägt aber sukzessive zur Verbesserung der Wasserhaushaltssituation bei.

Bergbautreibende und Bergbausanierer sahen sich insbesondere nach 2005 mit der Tatsache konfrontiert, dass in den Gewässern (Grundwasser, Fließgewässern, Bergbaufolgeseen) steigenden Eisen- und Sulfatkonzentrationen mit Maßnahmen zu begegnen war. Für Sulfat wird sich der bisher maßgebliche punktuelle Eintrag aus den Sumpfungswässern des aktiven Bergbaus (Grubenwassereinleitungen, zurzeit ca. 60%) nach Bergbausanierung und Grundwasserwiederanstieg in einen diffusen Eintrag aus dem Grundwasserleiter wandeln. Eisen wird dagegen bereits jetzt diffus, insbesondere in hot-spot-Gebieten, über das Grundwasser in die Oberflächengewässer eingetragen. In den Wasserbehandlungsanlagen der LEAG und der LMBV kann ein Großteil des Eisens zurückgehalten werden. Derzeit werden Maßnahmen aus den Barrierekonzepten im Nord- und Südraum umgesetzt, die erste Erfolge zeigen.

Zusätzliche Herausforderungen entstehen mit neuen Anforderungen aus der Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie. Viele der vom Braunkohlenbergbau beeinträchtigten Grund- und Oberflächenwasserkörper befinden sich in einem schlechten Zustand. Dieser wurde in den alle sechs Jahre fortzuschreibenden Bewirtschaftungsplänen der Flussgebietsgemeinschaft Elbe und der koordinierten Flussgebietseinheit Oder dokumentiert. Die bekannten, unter dem Grundsatz der Verhältnismäßigkeit umsetzbaren Maßnahmen wurden in Maßnahmenplänen festgeschrieben. Für Grundwasser (Menge und Sulfat als Leitparameter) und ausgewählte Oberflächenwasserkörper wurden „weniger strenge Bewirtschaftungsziele“ begründet. Verschiedene Studien haben sich mit möglichen Maßnahmen, deren Wirksamkeit, der technischen Umsetzbarkeit und der Verhältnismäßigkeit von Kosten und Nutzen befasst.

Zahlreiche Studien von IPCC, Bund und Ländern zeigen, dass auch der Klimawandel erhebliche Auswirkungen auf die Wasserwirtschaft haben wird. Die Hochwasserereignisse in den Jahren 2010 und 2013 und die Niedrigwasserjahre 2018-2020 zeigen, dass nicht erst in ferner Zukunft auch in den vom Braunkohlenbergbau geprägten Gebieten zusätzliche wasserwirtschaftliche Maßnahmen erforderlich werden. Es ist abzusehen, dass sich der Sanierungsaufwand im Bereich der Bergbaufolgeseen und der Fließgewässer klimabedingt erhöht.

Die vorzeitige Beendigung der Kohleverstromung und der mit dem Strukturwandel gewollte Transformationsprozess machen ein erneutes Umdenken und Umplanen in der Wasserwirtschaft erforderlich.

Grundsätzlich wird die Verdunstung steigen, die Grundwasserneubildung abnehmen und somit das regionale Wasserdefizit steigen. Die Einstellung eines „*sich weitgehend selbst regulierenden Wasserhaushalts*“ im Einzugsgebiet der Spree und Schwarzen Elster im Sinne des Beschlusses der Umweltministerkonferenz schließt starke Einschränkungen der bisherigen Wassernutzungen nicht aus. Ohne größere technische Steuerungsmaßnahmen können das Trockenfallen von Fließgewässern und starke Einschränkungen der bisherigen Wassernutzungen in der Lausitz mit entsprechenden wirtschaftlichen und sozialen Folgen nicht ausgeschlossen werden. Zukünftig hinzukommende Nutzungen sind aus dem verfügbaren Wasserdargebot nur bedingt realisierbar.

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

Modelltechnische Zusammenführung aller Wasserhaushaltskomponenten und Bewirtschaftungskomponenten

Es müssen Veränderungen in Menge und Beschaffenheit für Oberflächenwasser und Grundwasser unter den Bedingungen des Ausstiegs aus der Braunkohlenverstromung und des Klimawandels abgebildet werden. Ziel der Modellrechnungen ist es, das Prozessverständnis zu verbessern, Maßnahmen hinsichtlich ihrer Wirksamkeit und Interaktionen zu bewerten, den Maßnahmenerfolg zu dokumentieren und Nachhaltigkeitsstrategien zu entwickeln. Dazu sind die Fortsetzung der genannten länder- und einzugsgebietsübergreifenden Aktivitäten und die Qualifizierung der vorhandenen Instrumentarien erforderlich. Mit dem Modell WBalMo „Spree-Schwarze Elster“ wird für das Oberflächenwasser ein länderübergreifendes Langfristbewirtschaftungsmodell betrieben. Ein analoges Gesamtmodell für die Bewirtschaftung der Ressource Grundwasser gibt es in der Lausitz bislang nicht. Es besteht daher die Notwendigkeit einer großräumigen, ganzheitlichen Betrachtung im Rahmen der Grundwassermodellierung (Komplexmodell GRM Lausitz), bestehend aus einem hydrogeologischen Strukturmodell sowie einem Grundwasserströmungs- und Bodenwasserhaushaltsmodell. Dabei sind Schnittstellen zu den bestehenden Modellen (u.a. WBalMo und Modelle der Bergbautreibenden und Bergbausanierer) vorzusehen. Voraussetzungen für die Nutzung der Instrumente für die Bewirtschaftungsunterstützung und die Abschätzung der Klimafolgen sind eine länderübergreifende Abstimmung zur Verwendung von Klimaprojektionen und Wasserhaushaltsbilanzen, die Koordinierung der Modellnutzungen und eine langfristige, finanzielle Absicherung der Modellbereitstellung und Aktualisierungen.

Überprüfung des bisherigen Anspruchsdenkens an die Gewässer

Ziel des Braunkohlesanierungsbergbaus ist die Herstellung eines quasi-natürlichen, sich *weitgehend nach Menge und Güte selbst regulierenden Wasserhaushalts*, welcher auch häufigere Hochwasserereignisse und häufigeres Trockenfallen der Flüsse beinhalten kann. Das bedeutet unter anderem:

- verträgliche Reduzierung von Nutzungsansprüchen an Wasserverfügbarkeit in Menge und Qualität. Das betrifft die Trink- und Brauchwasserversorgung, Landwirtschaft, Fischereiwirtschaft, Tourismus, Wasserkraftgewinnung u.a.
- Gewährleistung der geotechnischen Sicherheit der Bergbaufolgeseen auch bei einer möglichen Über- und Unterschreitung der derzeit gesicherten Bereiche,
- Wiederherstellung von Fließgewässern zur Regulierung der Grundwasserverhältnisse in den Grundwasserwiederanstiegsgebieten und Renaturierung von Fließgewässern zum verbesserten Wasserrückhalt im Gebiet.

Ausbau der Speicherbewirtschaftung durch die Schaffung weiterer Speichermöglichkeiten in den Einzugsgebieten der Spree und Schwarzen Elster

Mit den gegenwärtig vorhandenen Speicherkapazitäten im Einzugsgebiet der Spree und nach Erreichen der vollen Einsatzfähigkeiten der vorhandenen Speicher können die Wassermengen- und Sulfatschwankungen in der Spree zu einem hohen Prozentsatz ausgeglichen werden. Bei längerfristigen Niedrigwasserperioden werden nach Rangliste und den Gegebenheiten im Längsschnitt die Nutzungen priorisiert. Damit werden bei Knappheit einige Nutzungen früher und andere später nicht mehr mit dem vollen Wasserbedarf versorgt.

Im Einzugsgebiet der Schwarzen Elster wird nach Fertigstellung der Speicherräume die Wasserbereitstellung verbessert, allerdings werden sich hier die unzureichenden Dargebote in extremen Niedrigwasserjahren nicht vollständig kompensieren lassen. Verschiedene Variantenbetrachtungen sind noch nicht abgeschlossen.

Auf der Grundlage von Dokumenten aus den 60er Jahren zu potenziellen Standorten für Stauanlagen konnte von der LTV geprüft werden, ob diese für eine Niedrigwasseraufhöhung in der Schwarzen Elster geeignet sind. Die Prüfung ergab, dass keiner der bekannten vormals erarbeiteten Standorte allein den benötigten Wasserbedarf zur Verfügung stellen könnte. Neben der benötigten Betriebsraumlamelle werden ebenso Lamellen für den Erhalt des sich einstellenden Ökosystems und für die Hochwassersicherheit der potenziellen Stauanlage benötigt. Diese Ansprüche reduzieren den in den 60er Jahren ausgewiesenen Stauraum zur Wasserbereitstellung. Auch haben sich die Flächennutzungen über die Zeit derart geändert, dass die Verfügbarkeit der Flächen nicht mehr in jedem Fall gegeben ist.

Nutzung der Neißewasserüberleitung zur Stützung des Wasserhaushaltes

Die Neißewasserüberleitung wurde für die Flutung und Nachsorge der erweiterten Restlochkette im Einzugsgebiet der Schwarzen Elster als wirksames Mittel der Gefahrenabwehr in Bezug auf geotechnische Brüche, die Bildung schwefelsaurer Bergbaufolgesen und die Gefahr der Verschleppung der Folgenutzung und Auslösung hoher Folgekosten genehmigt, gebaut und im Januar/ Februar 2019 erstmals genutzt. Sie befindet sich derzeit im Probebetrieb. Durch die Überleitung kann eine geringfügige Stützung des Wasserhaushaltes erfolgen. Die geplante Überleitungsmenge von 30 Mio. m³/a ist aufgrund der sinkenden Wasserdargebote im Neißeeinzugsgebiet und der gleichzeitigen Nutzung des Neißewassers u.a. für Wasserkrafterzeugung sowie weiterer Restriktionen seitens der polnischen Seite fraglich. Aufgrund der erwarteten Verringerung der Wasserdargebote in Folge des Klimawandels wurden im Projekt NEYMO-NW (2021) die Möglichkeiten der Optimierung der Wasserbewirtschaftung untersucht. Politisch besteht Handlungsbedarf hinsichtlich der deutsch-polnischen Kommunikation des bestehenden zusätzlichen Bedarfs an Neißewasser zur Stützung des Wasserhaushaltes.

Stützung des Wasserhaushaltes durch Elbewasserüberleitung

Eine Elbewasserüberleitung, z. B. zum SB Knappenrode und zum SB Lohsa I, würde eine wesentliche Stützung des Wasserhaushaltes durch Auffüllung der vernetzten Speicher in den Einzugsgebieten der Schwarzen Elster und der Spree ermöglichen. Diese Maßnahme ist voraussichtlich bei Festlegung abflussspezifischer Entnahmemengen wasserwirtschaftlich genehmigungsfähig, wobei in Niedrigwasserperioden eine geringe oder keine Entnahme möglich sein wird. Die weitere Prüfung von Überleitungsvarianten aus der Elbe sollte deshalb auf eine nicht ganzjährige Überleitung in Kombination mit der Nutzung vorhandener und dem Bau und Betrieb weiterer Speicher ausgerichtet werden. Offen ist eine Bewertung der Beeinflussung der Wasserbeschaffenheit im Falle einer Elbewasserüberleitung und der Auswirkungen auf Fauna und Flora in den gespeisten Gewässern in der Lausitz.

Aufgrund der hohen Kosten und unter Berücksichtigung der zu erwartenden vielfältigen Nutzungskonflikte der Elbanlieger und unter Beachtung der geringen Dargebote im Sommer in der Elbe muss die Entwicklung einzugsgebietsbezogener Maßnahmen (z. B. zeitweise Grundwasserhebung zur Sicherung von Mindestabflüssen in der Spree u.a. Gewässern) zwingend mit untersucht werden. Die verfügbaren Wasserhaushaltsbetrachtungen berücksichtigen noch nicht die veränderten Randbedingungen infolge des Klimawandels. Eine Entscheidung für oder gegen eine Elbewasserüberleitung kann nur auf der Grundlage langfristiger Bedarfsanalysen der Länder Brandenburg und Berlin unter Berücksichtigung der Klimaprojektionen getroffen werden. Diese liegen bisher nicht vor. Neben der fachlichen Bewertung der Maßnahme und einer Kosten-Nutzen-Analyse ergibt sich eine politische Entscheidungskomponente im Zusammenhang mit der strategischen Ausrichtung des Strukturwandels in der Lausitz.

Gesamtwasserwirtschaftliche Betrachtung

Aus den oben angeführten Punkten leitet sich das Erfordernis einer gesamtwasserwirtschaftlichen Betrachtung ab. Die Studie des UBA „Wasserwirtschaftliche Folgen des Braunkohleausstiegs in der Lausitz“ (2020-2022) und die Studie „Evaluation der berg- und wasserrechtlichen Bergbausanierung der LMBV unter Berücksichtigung von Kohleausstieg und Klimawandel in Sachsen und Brandenburg (Teil 1 Grundsatzstudie)“ im Auftrag der LMBV (2021) werden sich mit wasserwirtschaftlichen Zielen und deren Erreichbarkeit befassen. Die Entwicklungen des Wasserhaushaltes (Kohleausstieg und Klimawandel) sollen hier durch das WBalMo „Spree-Schwarze Elster“, die Grund- und Oberflächenwassermodelle der LMBV und weitere Informationen abgebildet werden.

Die Umsetzung der Komplexmodellierung (GRM Lausitz) ist zwingend erforderlich, da mit dem Langfristbewirtschaftungsmodell WBalMo nur das Oberflächenwasser erfasst wird.

Die weitere Qualifizierung des Monitorings für Menge und Beschaffenheit, Grund- und Oberflächenwasser ist ebenfalls zwingend erforderlich. Der Bau von automatischen Messstationen auch für Beschaffenheitskomponenten wird der Qualifizierung der Modelle und der Erweiterung des Prozessverständnisses dienen.

Eine Erweiterung der modellmäßigen Mengenbetrachtungen hin zu Beschaffenheitsbetrachtungen sollte weiter vorangetrieben werden.

Fachbegleitung und behördliche Strukturen

Die Fachbegleitung solcher Arbeiten durch ein Konsortium unter Nutzung der bisherigen Strukturen der Arbeitsgruppe Flussgebietsbewirtschaftung Spree – Schwarze Elster (AG FGB) und die Einbindung von LEAG, LMBV, Auftragnehmern und Hochschulen hat sich bewährt und sollte fortgeführt werden.

Da die Entwicklung und Umsetzung fachlicher Maßnahmen zur Rehabilitation des vom Bergbau in Anspruch genommenen Wasserhaushalts verlässliche rechtliche Rahmenbedingungen erfordert, ist der im StuBA angestoßene Klärungsprozess zur Frage der Reichweite der berg- und wasserrechtlichen Verantwortung des Bergbautreibenden im Zuge der Beendigung des Bergbaus zügig auch unter Einbeziehung der sich im Rahmen des Kohleausstiegs und Strukturwandels gleichermaßen stellenden Rechtsfrage übergreifend rechtsgutachtlich voranzubringen.

Die DWA-AG Wasserbewirtschaftung in braunkohlebergbaubeeinflussten Regionen formuliert als Anforderungen unter anderem die Bildung und Finanzierung eines langfristig angelegten, länderübergreifenden Wassersteuerungsgremiums mit dem Schwerpunkt der Hoch- und

Niedrigwasserbewirtschaftung nach dem Vorbild des Erftverbandes im Rheinischen Braunkohlerevier und die finanzielle Unterstützung über die bereitgestellten Strukturhilfemittel hinaus für die Planung und Umsetzung von wasserwirtschaftlichen Maßnahmen bei den zuständigen öffentlichen Institutionen (DWA, 2021).

Mit dem vorzeitigen Ausstieg aus der Braunkohlenförderung und den damit verbundenen Herausforderungen ergibt sich auch die Notwendigkeit einer „Vereinfachung, Verschlinkung und zeitlichen Straffung wasserwirtschaftlicher Genehmigungsprozesse“ (DWA, 2021).

Für die fachliche Bearbeitung der komplexen, länder- und verwaltungsbereichsübergreifenden Aufgaben zur strategischen Wasserbewirtschaftung werden leistungsfähige Strukturen und qualifizierte Mitarbeiter benötigt, die sowohl Erfahrungen als auch eine Bindung an die Lausitz haben und langfristig zur Verfügung stehen (wollen). Die jeweils zuständigen Landesbehörden (LfULG, LDS, LfU und LBGR) und Staatsbetriebe (LTV) können diese Arbeiten aufgrund ihrer derzeitigen Struktur und Personalausstattung nur begleiten, jedoch bisher nicht selbst übernehmen. Deshalb werden die Erstellung eines Konzepts für die weitere Arbeit und Finanzierung der LMBV über 2023 hinaus oder die Einrichtung einer alternativen, entscheidungsstarken Struktureinheit „Wasserwirtschaft Lausitz“ mit langfristig gesicherter Personalausstattung durch Bund und Länder sowie ein Nachwuchsgewinnungsprogramm dringend empfohlen.

LITERATURVERZEICHNIS

AG FGB (2019) Auswertung Niedrigwasser 2018 Schwarze Elster, Spree und Lausitzer Neiße. AG Flussgebietsbewirtschaftung

AKS (2021) Aktionsbündnis Klare Spree e.V., <https://klare-spree.de> (aufgerufen am 03.05.2021)

ArcEGMO (2008) Das hydrologische Modellierungssystem ArcEGMO. Büro für Angewandte Hydrologie (BAH) Berlin, <http://www.arcegmo.de> (aufgerufen am 08.11.2020)

Arnold, I., Kuhlmann, K. et al. (1993) Hydrogeologische Komplexstudie - Niederlausitzer Braunkohlerevier. LAUBAG Lausitzer Braunkohle AG, Abteilung Wasserwirtschaft, Senftenberg, 85 S.

Arnold, I., Fritze, S. (2019) Wie geht es weiter mit dem Wasserhaushalt in der Lausitz? Wassercluster Lausitz e.V., Vortrag Neuhausen/Spree, 22.08.2019

AWE (2016) Bewertung der Qualität von Fließgewässern unter dem Gesichtspunkt der Trinkwasseraufbereitung, Elbe - Mulde - Havel - Spree - Dahme, Berichtsjahr 2014/2015, Arbeitsgemeinschaft der Wasserversorger im Einzugsgebiet der Elbe

BfG (2013) Wasserwirtschaftliche Verhältnisse des Projektes 17 für den Bereich des WNA Berlin. BfG-Bericht, Karlsruhe, http://www.gdws.wsv.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/Plan_feststellungsverfahren/700-Berliner_Nordtrasse/Beilage_D/BfG-1777_WaWi_6F_1_Teilbericht.pdf.pdf?__blob=publicationFile&v=1 und http://www.gdws.wsv.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/Planfeststellungsverfahren/700-Berliner_Nordtrasse/Beilage_D/BfG-1777_WaWi_6F_2_Teilbericht.pdf.pdf?__blob=publicationFile&v=1 (aufgerufen am 20.11.2020)

BK (2021) <https://braunkohle.de/braunkohle-in-deutschland/uebersicht-und-geschichte-der-reviere/> (aufgerufen am 03.05.2021)

BMU (2001) Grundsätze zur nachhaltigen Sicherung der wasserwirtschaftlichen Sanierungsmaßnahmen in den Gebieten des Braunkohlenbergbaus der Lausitz und Mitteldeutschland - Grundsätze der wasserwirtschaftlichen Nachsorge, <https://www.bmu.de/themen/wasser-abfall-boden/bodenschutz-und-altlasten/braunkohlesanierung/>; https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Bodenschutz/grundsaeetze_wawi_sanierung_braunkohlebergbau.pdf (aufgerufen am 18.01.2021)

BMU/BMF (2017) Fünftes ergänzendes Verwaltungsabkommen zum Verwaltungsabkommen über die Regelung der Finanzierung der ökologischen Altlasten (VA Altlastenfinanzierung) in der Fassung vom 10. Januar 1995 über die Finanzierung der Braunkohlesanierung in den Jahren 2018 bis 2022 (VA VI Braunkohlesanierung) vom 2. Juni 2017, <https://www.lmbv.de/files/LMBV/Dokumente/Verwaltungsabkommen/Verwaltungsabkommen%20VA%20VI%20-%20Quelle%20BMF.pdf> (aufgerufen am 20.11.2020)

Bringewski, F., Grünewald, U. (2000) „Flutungszentrale Lausitz“ in Betrieb – Wichtiger Schritt bei der wasserhaushaltlichen Sanierung der Lausitz. KA Wasserwirtschaft, Abwasser, Abfall, 11, 1609

BTU & IWB (2012) Perspektive See. Zum Stand der Entwicklung der Wasserbeschaffenheit in den Lausitzer Bergbaufolgeseen. Projektbericht 2008-2012, LMBV

BWB (2019) Sulfatbelastung der Spree - Szenarioanalyse für das Wasserwerk Friedrichshagen. Berliner Wasserbetriebe.

Deutscher Bundestag (1994) 12. Wahlperiode, Drucksache 12/8270, 12.04.1994, <http://dip21.bundestag.de/dip21/btd/12/082/1208270.pdf> (aufgerufen am 08.11.2020)

Deutscher Bundestag (2020) Entschließung (Drucksache 19/20714 neu) zum Gesetz zur Reduzierung und zur Beendigung der Kohleverstromung und zur Änderung weiterer Gesetze (Kohleausstiegsgesetz, Drucksachen 19/17342, 19/18472), 171. Sitzung, 03.07.2020

DGFZ (2015) Flutungs-, Wasserbehandlung- und Nachsorgekonzept Lausitz. Teil 1: Herstellung und Nachsorge von Bergbaufolgeseeen in Tagebaurestlöchern: Darstellung der zukünftigen Gewässerlandschaft im Lausitzer Bergbau-Revier nach Herstellung der Gewässer durch die LMBV

DHI (2020) <https://worldwide.dhigroup.com/presences/emea/germany/solutions/overview/solution-wbalmo> (aufgerufen am 08.11.2020)

DHI WASY (2019) Ermittlung von Zielwerten für die Spree für den Parameter Sulfat als Grundlage für einen Bewirtschaftungserlass zum Umgang mit bergbaubedingten stofflichen Oberflächengewässerbelastungen. Gesamtbericht. Berlin.

DHI WASY (2017) Erstellung des Sulfatprognosemodells Spree. Abschlussbericht

Dietrich, O., Appel, U., Fahle, M., Lischeid, G., Steidl, J., Knierim, A. (2012) Grundlagen für eine flexible und ressourcenschonende Wasserbewirtschaftung in Niederungsgebieten zur verbesserten Anpassung an den Klimawandel. In: Grünewald, U., Bens, O., Fischer, H., Hüttl, R. F., Kaiser, K. (Hrsg.) Wasserbezogene Anpassungsmaßnahmen an den Landschafts- und Klimawandel. Schweizerbart, Stuttgart, 138-147

Dietrich, O., Fahle, M., Steidl, J. (2014) Anpassung des Wassermanagements in stauregulierten Niederungsgebieten an zunehmende Wetterextreme - Möglichkeiten und Grenzen der Einflussnahme auf Wasserhaushaltsgrößen. In: Kaden, S., Dietrich, O., Theobald, S. (Hrsg.) Wassermanagement im Klimawandel – Möglichkeiten und Grenzen von Anpassungsmaßnahmen. oekom Verlag, München, 161-189

Dornier (1993) Ökologischer Sanierungs- und Entwicklungsplan Niederlausitz – Grundlagen, Analysen, Empfehlungen. DORNIER GmbH Bereich Umwelt/Systemplanung Friedrichshafen, Oktober 1993

Drebenstedt, C., Kuyumcu, M. (2014) Braunkohlesanierung - Grundlagen, Geotechnik, Wasserwirtschaft, Brachflächen, Rekultivierung, Vermarktung. Springer Vieweg, Berlin, ISBN 978-3642163524.

DWA (2021) Wasserwirtschaftliche Anforderungen im Zusammenhang mit dem vorzeitigen Braunkohleausstieg. DWA-Arbeitsgruppe HW-3.4 Wasserbewirtschaftung in braunkohlebergbaubeeinflussten Regionen, KW Korrespondenz Wasserwirtschaft 14(5), 276-280

Eulitz, K., Kaltofen, M. (2015) Studie zur Prüfung der Machbarkeit eines geohydraulischen Großraummodells Lausitz. DHI-Wasy GmbH Berlin, i. A. LMBV mbH Senftenberg, 90 S.

Eyll-Vetter, M. (2015) Significance of geotechnical boundary conditions in planning and designing residual lakes in the Rhenish lignite mining area illustrated by the example of the Inden opencast mine. In: World of Mining - Surface and Underground 67, 371-378.

FGG Elbe (2021) <https://www.fgg-elbe.de/berichte.html> (aufgerufen am 05.05.2021)

- FGG Elbe (2020) <https://www.fgg-elbe.de/hwrm-rl/hwrm-plan.html> (aufgerufen am 20.11.2020)
- FGG Elbe (2015) Hintergrundpapier zur wichtigen Wasserbewirtschaftungsfrage Verminderung regionaler Bergbaufolgen. Flussgebietsgemeinschaft Elbe, 30.11.2015
- Forkel, C., Müller, C., Hassel, S., Rinaldi, P., Rüping, M. (2017) Bergbaufolgeseen- und Kippenwasserentwicklung im Rheinischen Braunkohlenrevier. Wasserwirtschaft 107, 20–29.
- Gädeke, A. (2014) Climate and land use change impacts on water resources in the Lusatian river catchments (Germany) - Analysis and assessment considering modelling uncertainties. Dissertation, Fak. Umweltwissenschaften, BTU Cottbus
- Gädeke, A., Pohle, I., Koch, H., Grünewald, U. (2017) Trend analysis for integrated regional climate change impact assessments in the Lusatian river catchments (north-eastern Germany). Regional Environmental Change 17, 1751-1762
- GCI (2020) Gefährdungsbeurteilung für den WW-Standort Briesen bezüglich des chemischen Parameters Sulfat - Gefährdungsanalyse, Risikoabschätzung und Maßnahmen zur Risikobeherrschung. Bericht für das Ministerium für Wirtschaft und Energie des Landes Brandenburg, https://lbgr.brandenburg.de/media_fast/4055/GFA_WW_Briesen_Abschlussbericht.pdf (aufgerufen am 07.05.2021)
- GEOS (2019) Analyse des anthropogen und natürlich bedingten Zutrittes von Eisen und Sulfat in bergbaubeeinflusste Fließgewässer. Abschlussbericht TP 1.1, G.E.O.S. Ingenieurgesellschaft mbH, Niederlassung Freiberg, AG LfULG
- GFI (2018) Projekt Z112, Teil Grundwassergüte Lausitz V
- GFI (2010) Kosten- und Nutzenbetrachtung zur Elbewasserüberleitung in die Lausitz. GFI GmbH Dresden, Bericht 30.11.2010
- GLOWA Elbe (2016) <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimafolgenanpassung/werkzeuge-der-anpassung/projektkatalog/glowa-elbe-auswirkungen-des-globalen-wandels-auf> (aufgerufen am 18.12.2020)
- GRML (2020) Erstellungskonzept für die Großraummodellierung Lausitz. https://www.vita-min.sachsen.de/download/1-3_Enbericht_GRML_Abschlussbericht_final_final_2_12_19.pdf (aufgerufen am 10.08.2020)
- Grüne Liga (2021) <https://grueneliga.de/index.php/de/themen-projekte/wasser>
- Grünewald, U. (2019) Die bergbaubeeinflusste Spree droht zu kollabieren. wwt Wasserwirtschaft Wassertechnik 18–22
- Grünewald, U., Bens, O., Fischer, H., Hüttl, R.F., Kaiser, K., Knierim, A. (Hrsg.) (2012b) Wasserbezogene Anpassungsmaßnahmen an den Landschafts- und Klimawandel. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart
- Grünewald, U., Gädeke, A., Pohle, I., Kaltoven, M., Müller, F., Uhlmann, W., Zimmermann, K. (2014) Schwarze Elster, Braune Spree - zu wenig Wasser, zu viel drin. Regionaler Abschlussworkshop „Innovationsnetzwerk Klimaanpassung Brandenburg Berlin (INKA BB)“ der BMBF Förderinitiative „Klimawandel in Regionen zukunftsfähig gestalten (KLIMZUG)“, Cottbus, 25.09.2014
- Grünewald, U., Uhlmann, W. (2004) Zur Entwicklung der Wasserbeschaffenheit in den Lausitzer Tagebauseen – Ausgangspunkt, Stand und Perspektiven. ZAU-Sonderheft 14/2004, Universität Halle/Saale, 95–104

- Grünewald, U., Uhlmann, W., Totsche, O. et al. (2012a) Perspektive See - zum Stand der Entwicklung der Wasserbeschaffenheit in den Lausitzer Bergbaufolgeseen, Abschlussbericht Projekt Gewässergüte Tagebauseen Lausitz (2008 – 2012), BTU Cottbus, IWB Dresden, LMBV, Senftenberg
- GUB (2006) Vorplanung bergbaulich beeinflusster Fließgewässer, Abschlussbericht, AG LMBV, unveröffentlicht.
- Gudehus, G., Keßler, J., Lucke, B. (2014) Setzungsfließen. Geotechnik 28(4), 255–266
- Hupfer, M., Nixdorf, B. (2011) Zustand und Entwicklung von Seen in Berlin und Brandenburg. Diskussionspapier 11, Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften, Interdisziplinäre Arbeitsgruppe Globaler Wandel – Regionale Entwicklung
- iDA (2020) Interdisziplinäre Daten und Auswertungen, Sachsen, <https://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/46037.htm> (aufgerufen am 20.07.2020)
- IDUS (2016) Einfluss von Eisen und Sulfat auf ausgewählte biologische Komponenten nach EG-WRRL im Wasserkörper Spree-4, 2014 – 2016. Abschlussbericht, AG LfULG
- IMGW & DGFZ (2002) Monitoring zur Sicherung des ökologisch-wirtschaftlichen Mindestabflusses der Lausitzer Neiße <https://www.lmbv.de/index.php/pressemitteilung/1048.html> (aufgerufen am 03.05.2021)
- INKA BB (2016) Schlussbericht des Innovationsnetzwerkes Klimaanpassung Region Brandenburg/Berlin. FKZ 01LR0803A - 01LR0803M. <http://www.inka-bb.de> (aufgerufen am 28.11.2020)
- INKA BB (2014) <https://worldwide.dhigroup.com/presences/emea/germany/news/2014/8/14/inkabb> (aufgerufen am 07.05.2021)
- IWB (2020) Erarbeitung eines strategischen Hintergrundpapiers zu den bergbaubedingten Stoffeinträgen in den Flusseinzugsgebieten Spree und Schwarze Elster. Teil 3: Maßnahmekonzept. Auftraggeber LBGR, <https://lbgr.brandenburg.de/sixcms/detail.php/959966> (aufgerufen am 28.11.2020)
- IWB (2016) Bilanzierung des Anteils des Sanierungsbergbaus der LMBV an der Eisenbelastung der Spree und der Kleinen Spree. Bericht, Institut für Wasser und Boden Dr. Uhlmann
- IWB (2015) Einschätzung des Anteils des Sanierungsbergbaus der LMBV an der Sulfatbelastung der Spree. Bericht, Institut für Wasser und Boden Dr. Uhlmann, https://www.lmbv.de/files/LMBV/Dokumente/Wassermanagement/Verockerung%20der%20Spree/Studien/LMBV_Sulfatbilanz%20Spree_IWB_Text_2015.pdf (aufgerufen am 28.11.2020)
- IWB (2013) Bewertung der Entwicklung der Wasserbeschaffenheit im zukünftigen Cottbuser See und Einschätzung der Auswirkungen auf die Wasserbeschaffenheit in den Vorflutern Hammerstrom, Malxe und Spree bei Ausleitung über den Schwarzen Graben. Projektbericht für die Vattenfall Europe Mining AG, 109 S.
- IWB & gIR (2020) Erarbeitung eines strategischen Hintergrundpapiers zu den bergbaubedingten Stoffeinträgen in den Flusseinzugsgebieten Spree und Schwarze Elster. Teil 2: Zustandsanalyse und Handlungsschwerpunkte. Auftraggeber LBGR, <https://lbgr.brandenburg.de/sixcms/detail.php/959965> (aufgerufen am 28.11.2020)
- IWB & gIR (2018) Erarbeitung eines strategischen Hintergrundpapiers zu den bergbaubedingten Stoffeinträgen in den Flusseinzugsgebieten Spree und Schwarze Elster. Leistungspaket 1, Auftraggeber LBGR, <https://lbgr.brandenburg.de/sixcms/detail.php/>

- 959960 und <https://lbgr.brandenburg.de/sixcms/detail.php/959961> (aufgerufen am 08.11.2020)
- Janneck, E., Glombitza, F., Martin, M., Kahnt, R. (2009) Durchführung von speziellen Untersuchungen bezüglich Sulfat im brandenburgischen Einzugsgebiet der Spree unter den Bedingungen des Sanierungs- und des aktiven Bergbaus. Studie der G.E.O.S. Ingenieurgesellschaft mbH im Auftrag des Landesumweltamtes Brandenburg.
- Kaden, S., Redetzky, M. (2000) Simulation von Bewirtschaftungsprozessen. BfG-Veranstaltungen, Koblenz, Heft 2, 116-139.
- Koch, H., Kaltofen, M., Schramm, M., Grünewald, U. (2006) Adaptation strategies to global change for water resources management in the Spree river catchment, Germany. *Int. Journal of River Basin Management* 4(4), 273-281
- Koch, H., Vögele, S., Kaltofen, M., Grossmann, M., Grünewald, U. (2014) Security of water supply and electricity production: Aspects of integrated management. *Water Resources Management* 28, 1767-1780
- KWB Turow (2018) www.kwbturow.pgegiel.pl (in: Bartholomäus, U. (2018) Das Zittauer Becken – geologische Struktur, Rohstoffgewinnung und deren Umweltauswirkungen im Dreiländereck. Hochschule Zittau/Görlitz, TESEUS Workshop, 20.06.2018, Liberec)
- LAWA (2020) LAWA Empfehlung zur Ermittlung einer ökologisch begründeten Mindestwasserführung in Ausleitungsstrecken von Wasserkraftanlagen. Produkt-Datenblatt PDB AO19, Beschlüsse der 144-149 LAWA VV 19./20.03.2020
- LAWA (2013) Empfehlungen zur koordinierten Anwendung der EG-HWRM-RL und EG-WRRL. Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser, https://www.wasserblick.net/servlet/is/142658/VerlinkungspapierWRRL_HWRM-RL.pdf?command=downloadContent&filename=VerlinkungspapierWRRL_HWRM-RL.pdf (aufgerufen am 20.11.2020)
- LBB (2015) Strategischer Gesamtplan zur Senkung der bergbaubedingten Stoffeinträge in die Spree und deren Zuflüsse in der Lausitz. Drucksache 6/3203, Landtag Brandenburg, <https://www.parlamentsdokumentation.brandenburg.de/starweb/LBB/ELVIS/parladoku/w6/beschlpr/anlagen/3203-B.pdf> (aufgerufen am 28.11.2020)
- LBB (2013) Verockerung der Spree - Gefahren für die Fließgewässer und den Spreewald eindämmen. Drucksache 5/6694, Landtag Brandenburg, https://lbgr.brandenburg.de/media_fast/4055/Beschluss%20des%20Lantdtages%20-%20Verockerung%20der%20Spree0001.pdf (aufgerufen am 28.11.2020)
- LBGR (2020) <https://lbgr.brandenburg.de/cms/detail.php/bb1.c.672104.de> (aufgerufen am 03.05.2021)
- LEAG (2020) <https://www.leag.de/de/geschaeftsfelder/bergbau> (aufgerufen 08.11.2020)
- LfULG (2020a) <https://www.klima.sachsen.de/jahresruckblicke-wetter-trifft-klima-12409.html> (aufgerufen am 08.11.2020)
- LfULG (2020b) <https://www.klima.sachsen.de/trockenheit-2018-ist-das-die-zukunft-13084.html> (aufgerufen am 08.11.2020)
- LfULG (2019a) Wasserhaushaltsanalyse - Erstellungskonzept für ein Großraummodell der Lausitz. <https://www.vita-min.sachsen.de/bewertungsgrundlagen-3965.html> (aufgerufen am 08.11.2020)

LfULG (2019b) Prüfung der Notwendigkeit zusätzlicher Stauräume in der Lausitz zur Verbesserung des Gewässermanagements. Auftrag SMUL/R44 vom 24. Januar 2019, unveröffentlicht

LfULG (2018) Dr. Herbst, unveröffentlichte Zuarbeit für das SMUL

LfULG (2016a) Bilanz der verlorengegangenen Fließgewässer und Auen in den Braunkohlenregionen Sachsens. Hrsg. LfULG, <https://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/26997.htm> (aufgerufen am 22.11.2020)

LfULG (2016b) Wasserhaushalt im Wandel von Klima und Landnutzung. LfULG Schriftenreihe, Heft 8/2016, <https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/26146> (aufgerufen am 22.11.2020)

LfULG (2015) Argumentationspapier „Grundwasserbeeinflussung durch den Braunkohlebergbau. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, unveröffentlicht

LfULG (2014) Klimawandel und Wasserhaushalt in Sachsen. Schriftenreihe Heft 32, Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, <https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/23236> (aufgerufen am 08.11.2020)

LMBV (2020a) Wasserwirtschaftlicher Jahresbericht 2019, Lausitzer und Mitteldeutsche Bergbau-Verwaltungsgesellschaft mbH

LMBV (2020b) <https://www.lmbv.de/index.php/Nachrichtenleser/lmbv-flutungszentrale-lausitz-neisse-ermoeeglicht-derzeit-flutung-im-lausitzer-seenland.html> (aufgerufen am 29.11.2020)

LMBV (2019a) LMBV mbH, Protokoll der Ad-hoc-AG-Sitzung am 07.01.2019 (unveröffentlicht)

LMBV (2019b) Wasserwirtschaftlicher Jahresbericht 2018, Lausitzer und Mitteldeutsche Bergbau-Verwaltungsgesellschaft mbH

LMBV (2015) Flutungs-, Wasserbehandlungs- und Nachsorgekonzept Lausitz. Teil 2: Gestaltung von Gewässersystemen in den Bergbaufolgelandschaften der Lausitz. Lausitzer und Mitteldeutsche Bergbau-Verwaltungsgesellschaft mbH Senftenberg, 2015. https://www.lmbv.de/index.php/Wasserbeschaffenheit.html?file=files/LMBV/Publikationen/Publikationen%20Lausitz/Allgemein_L/LMBV_FWbN_Konzept_Teil2.pdf (aufgerufen am 08.11.2020)

LMBV (2009) Studie zur Elbewasserüberleitung. Abschlussbericht, GFI, BTU Cottbus, IWB, TU BAF

LMBV (2006) Braunkohlenbergbau und Sanierung in den Tagebaufeldern Spreetal. Landschaft im Wandel. Hrsg. LMBV, Hoyerswerda, https://www.lmbv.de/files/LMBV/Publikationen/Publikationen%20Lausitz/Historische%20Broschueren%20L/Braunkohlenbergbau_und_Sanierung_in_den_Tagebaufeldern_Spreetal_2006.pdf (aufgerufen am 29.11.2020)

LMBV (2005) Pressemitteilung. <https://www.lmbv.de/index.php/pressemitteilung/888.html> (aufgerufen am 29.11.2020)

LMBV (2001) Nach der Kohle kommt das Wasser. Lausitzer und Mitteldeutsche Bergbau-Verwaltungsgesellschaft mbH

LMBV (1998) Beurteilung der Setzungsfließgefahr und Schutz von Kippen gegen Setzungsfließen. Bericht

- LTV (2020) Landestalsperrenverwaltung des Landes Sachsen, <https://www.ltv.sachsen.de/tmz/tsm/spree.html> (aufgerufen am 06.08.2020)
- MLUK (2021a) <https://mluk.brandenburg.de/mluk/de/umwelt/wasser/bergbaufolgen-fuer-den-wasserhaushalt/wassermengen-wasserguetesteuerung/> (aufgerufen am 07.05.2021)
- MLUK (2021b) Landesniedrigwasserkonzept Brandenburg. <https://mluk.brandenburg.de/sixcms/media.php/9/Landesniedrigwasserkonzept-Brandenburg.pdf>
- MLUK (2020) <https://mluk.brandenburg.de/mluk/de/umwelt/wasser/bergbaufolgen-fuer-den-wasserhaushalt/eintragspfade/> (aufgerufen am 20.11.2020)
- MLUK (2019) Bewirtschaftungserlass Sulfat. <https://mluk.brandenburg.de/sixcms/media.php/9/Bewirtschaftungserlass-Sulfat.pdf>
- Müller, A., Steppuhn, G., Finke, W., Haunschild, A. (2003) Auswirkungen der Oderwasserüberleitung auf die Wasserbewirtschaftung im Berliner Gewässersystem. Hydrologie und Wasserbewirtschaftung 47(4), 136-150
- NEYMO (2015) Hydrologische Daten und Klimaprojektionen, Projekt Lausitzer Neiße/ Nysa Luzycka - Klimatische und hydrologische Modellierung, Analyse und Prognose. Grundwasserneubildungsraten, Projekt Lausitzer Neiße/ Nysa Luzycka - Klimatische und hydrologische Modellierung, Analyse und Prognose, LfULG, https://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/wasser/neymo/downloads_daten.html
- NEYMO-NW (2021) neymo.imgw.pl/de/startseite/ (aufgerufen am 07.05.2021)
- Niemann-Delius, C., Stoll, R.D., Kühner, R., Asmus, S.C., Bönisch, R., Jolas, P., Forkel, C., Rechenberger, B. u. a. (2009) Planung von Braunkohlentagebauen. In: Niemann-Delius, C., Stoll, R.D., Drebenstedt, C., Müllensiefen, K. (Hrsg.) Der Braunkohlentagebau: Bedeutung, Planung, Betrieb, Technik, Umwelt. Springer, Berlin, Heidelberg, ISBN 978-3540784012, 55-199.
- Öko-Institut (2017) Die deutsche Braunkohlenwirtschaft. Historische Entwicklungen, Ressourcen, Technik, wirtschaftliche Strukturen und Umweltauswirkungen. Studie im Auftrag von Agora Energiewende und der European Climate Foundation. https://www.agora-energiewende.de/fileadmin2/Projekte/2017/Deutsche_Braunkohlenwirtschaft/Agora_Die-deutsche-Braunkohlenwirtschaft_WEB.pdf (aufgerufen am 28.11.2020)
- Ostkohle (2020) <http://www.ostkohle.de/html/tagebau.html> (aufgerufen am 21.11.2020)
- Pohle, I. (2014) Analyse der potenziellen Auswirkungen von Klima- und Landnutzungsänderungen auf den natürlichen Wasserhaushalt und die Wassermengenbewirtschaftung der Lausitz. Dissertation, Fak. Umweltwissenschaften, BTU Cottbus
- Pohle, I., Koch, H., Zimmermann, K., Gädeke, A., Claus, T., Uhlmann, W., Kaltofen, M., Redetzky, M., Schramm, M., Müller, F., Schoenheinz, D., Grünewald (2016) Analyse von Wassermenge und Wasserbeschaffenheit für Klima- und Bewirtschaftungsszenarien: Aufbau und Nutzung einer Modellkaskade für das Spreeinzugsgebiet. Hydrologie und Wasserbewirtschaftung 60(3), 176-195, doi:10.5675/HyWa_2016,3_2
- Potzoldt, H. (2009) Technisch-wirtschaftliches Konzept für die Herstellung eines Tunnels zur Elbewasserüberleitung. Diplomarbeit, TU Bergakademie Freiberg
- REKIS (2020) <https://www.klima.sachsen.de/rekis-regionales-klima-informationssystem-sachsen-sachsen-anhalt-und-thuringen-12461.html> (aufgerufen am 10.08.2020)

- RPVO (2017) Beschluss zur weiteren Fortschreibung des Braunkohlenplans Tagebau Nochten. Regionaler Planungsverband Oberlausitz-Niederschlesien. <https://www.rpv-oberlausitz-niederschlesien.de/braunkohlenplanung/braunkohlenplanung/tagebau-nochten/2-fortschreibung-des-braunkohlenplans-tagebau-nochten.html> (aufgerufen am 28.11.2020)
- RPVO (2014) 2. Länderübergreifendes Regionalforum der Regionalen Planungsgemeinschaft Lausitz-Spreewald und des Regionalen Planungsverbandes Oberlausitz-Niederschlesien zur aktuellen Situation der bergbaubedingten Sulfatführung und Eisenhydroxidbelastung in der Spree sowie der Schwarzen Elster. Tagungsband, 17.03.2014, Schleife.
- RPVO (2013) Fortschreibung des Braunkohlenplans Tagebau Nochten. Regionaler Planungsverband Oberlausitz-Niederschlesien. <https://www.rpv-oberlausitz-niederschlesien.de/braunkohlenplanung/braunkohlenplanung/tagebau-nochten/fortschreibung-des-braunkohlenplans-nochten-2014/textteil-und-karten.html> (aufgerufen am 28.11.2020)
- RPVO (2010) Regionaler Planungsverband Oberlausitz-Niederschlesien. <https://www.rpv-oberlausitz-niederschlesien.de/braunkohlenplanung.html> und <https://www.rpv-oberlausitz-niederschlesien.de/publikationen/sanierungsrahmenplaene.html>
- RPVO (1994) Braunkohlenplan Tagebau Nochten. Regionaler Planungsverband Oberlausitz-Niederschlesien. <https://www.rpv-oberlausitz-niederschlesien.de/braunkohlenplanung/braunkohlenplanung/tagebau-nochten/braunkohlenplan-nochten-1994/textteil-und-karten.html> (aufgerufen am 28.11.2020)
- Schapp, A. (2018) Wasserbilanz LEAG 2018, Vortrag am 18.01.2018, LEAG
- SenStadtUm (1994) Gewässerzustand des Spree-Oder-Systems zur Prüfung der Oderwasserüberleitung, Teil II – Hydrobiologische Untersuchungen. AG Senat von Berlin.
- SenStadtUm (2001) Wasserbeschaffenheit der Spree 1997 bis 2000: Dämeritzsee, Gr. Müggelsee, Seddinsee. Hrsg. Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz
- SMUL (2020a) <https://www.wasser.sachsen.de/umsetzung-hwrm-rl-4443.html> (aufgerufen am 20.11.2020)
- SMUL (2020b) <https://www.smul.sachsen.de/Wehre/Index.aspx> (aufgerufen am 10.11.2020)
- SMUL (2019) Auftrag SMUL/R44 vom 24. Januar 2019 zur Prüfung der Notwendigkeit zusätzlicher Stauräume in der Lausitz zur Verbesserung des Gewässermanagements
- Socher, M. (2019) Vortrag, Sächsisches Ministerium für Umwelt und Landwirtschaft, 01.10.2019
- StuBA (2020) Bund-Länder-Geschäftsstelle für die Braunkohlesanierung, <https://www.braunkohlesanierung.de/stuba/> (aufgerufen am 20.11.2020)
- StuBA (2021) Bund-Länder-Geschäftsstelle für die Braunkohlesanierung, <https://www.braunkohlesanierung.de/service/daten-und-fakten/> (aufgerufen am 03.05.2021)
- SZ (2020) „Savanne Lausitz?“ Artikelserie, Sächsische Zeitung, 19.-25.09.2020
- Uhlmann, W., Nitsche, C., Neumann, V., Gunderitz, I., Leßmann, D., Nixdorf, B., Hemm, M. (2001) Tagebauseen: Wasserbeschaffenheit und wassergütemwirtschaftliche Sanierung – Konzeptionelle Vorstellungen und erste Erfahrungen. Studien und Tagungsberichte des Landesumweltamtes Brandenburg 35, 77 S.
- Uhlmann, W., Theiss, S. (2013) Studie zu den Auswirkungen des Grundwasserwiederanstiegs auf die Beschaffenheit der Oberflächengewässer in den Sanierungsgebieten B1

(Seese/Schlabendorf) und B2 (Greifenhain/Gräbendorf) Teil 2: Vertiefung der Untersuchungen zur Präzisierung der Modellgrundlagen und der Bemessungsansätze für Wasserbehandlungsanlagen. Abschlusspräsentation. IWB Dr. Uhlmann, 29.04.2013, <https://www.lmbv.de/files/LMBV/Dokumente/Wassermanagement/Verockerung%20der%20Spree/Praesentationen/Abschlusspraesentation-Eisenstudie-Nordraum-Spree-2013.pdf> (aufgerufen am 03.05.2021)

Vogt, A., Förster, W., Drebenstedt, C., Dorn, H., Keßler, J., Fahle, W., Reichel, G., Grießl, D. u. a. (2014) Wiedernutzbarmachung von Tagebauen und Kippen. In: Braunkohlesanierung. Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg, 131–263.

WBalMo (2021) DHI, <https://www.dhigroup.com/presences/emea/germany/solutions/overview/solution-wbalmo> (aufgerufen am 03.05.2021)

WCL (2021) Wassercluster Lausitz e.V., <https://www.wasser-cluster-lausitz.de>

WEREX (2011) WEREX V: Regionale Klimaprojektionen für Sachsen, LfULG, <https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/25601> (aufgerufen am 03.05.2021)

WHHP (2019) Wasserhaushaltsportal Sachsen, LfULG, <http://whhportal-sachsen.hydro.tu-dresden.de/saeuleA/regio.html> und http://whhportal-sachsen.hydro.tu-dresden.de/saeuleA/index_bilanz_test.html#115,schoenau,253 (aufgerufen am 03.05.2021)

Wichter, L., Kügler, M., Lemke, K. (1999) Untersuchungen zum Setzungsverhalten von Kippen des Lausitzer Braunkohletagebaus beim Wiederanstieg des Grundwasserspiegels. De Gruyter, ISBN 978-3110806441.

WIKI (2020) https://de.wikipedia.org/wiki/Liste_deutscher_Braunkohletagebaue (aufgerufen am 08.11.2020)

WRRL (2020) <https://www.wasser.sachsen.de/wrrl-aufgaben-ziele-10808.html> (aufgerufen am 08.11.2020)

WRRL-B (2020) <https://www.wasser.sachsen.de/wrrl-bewirtschaftungsplaene-10865.html> (aufgerufen am 05.05.2021)