Dr. Uhlmann
IWB

Beratender Geowissenschaftler
BDG
Berufsverband Deutscher Geowissenschaftler e.V.
Dr. Wilfried Uhlmann

Für die LMBV mbH
LMBV
Lausitzer und Mitteldeutsche Bergbau-Verwaltungsgesellschaft mbH

Weiterführung der Untersuchungen zur Exfiltration von eisenhaltigem, saurem Grundwasser in die Fließgewässer der Lausitz

Monitoring der Eisenbelastung in der Spree und in der Talsperre Spremberg

Jahresbericht 2021

Talsperre Spremberg: Blick auf das Ostufer. Im Vordergrund die Vogelinsel.
(Foto: Rauhut, April 2021).

Dresden, am 09.03.2022

Für die Lausitzer und Mitteldeutsche Bergbau-Verwaltungsgesellschaft mbH

Lausitzer und Mitteldeutsche Bergbau-Verwaltungsgesellschaft mbH

Weiterführung der Untersuchungen zur Exfiltration von eisenhaltigem, saurem Grundwasser in die Fließgewässer der Lausitz

Monitoring der Eisenbelastung in der Spree und in der Talsperre Spremberg

Jahresbericht 2021

Auftraggeber:	LMBV Lausitzer und Mitteldeutsche Bergbau-Verwaltungsgesellschaft mbH Knappenstraße 1, 01968 Senftenberg
Bestellnummer:	45056251 vom 25.11.2020
Verantwortlicher:	Sven Radigk, Leiter der Projektgruppe Gewässergüte Fließgewässer Lausitz (PG GFL)
Auftragnehmer:	Institut für Wasser und Boden Dr. Uhlmann Lungkwitzer Str. 12, 01259 Dresden
Projektnummer:	25/20 Pos. 620
Bearbeiter:	Dr. Wilfried Uhlmann M. Sc. (Geografie) Robert Hiekel M. Sc. (Wasserwirtschaft) Niklas Giering

Dresden, am 09. März 2022

Dr. Wilfried Uhlmann

Institut für Wasser und Boden Dr. Uhlmann
Lungkwitzer Str. 12, 01259 Dresden
Tel 0351-2709854
Fax 0351-4668800
E-Mail info@iwb-dresden.de

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis 3
Abkürzungsverzeichnis 3
1 Einleitung 4
2 Hydrologie und Wasserbewirtschaftung 6
2.1 Witterungsverlauf 6
2.2 Durchfluss in der Spree und Bewirtschaftung der Talsperre Spremberg . 10
2.3 Wassertemperatur in der Spree 13
3 Eisenbelastung der Spree 14
3.1 Sondermonitoring 14
3.2 Belastungsrelevante Maßnahmen und Ereignisse 17
3.3 Eisenkonzentrationen 20
3.4 Eisenfrachten 24
4 Wasserbehandlung an der Vorsperre Bühlow 29
4.1 Chronologie der Ereignisse 29
4.2 Parameter der Wasserbehandlung 29
4.3 Wirkung der Wasserbehandlung 30
5 Quellenverzeichnis 33

Abkürzungsverzeichnis

DWD ..... Deutscher Wetterdienst
FHM ..... Flockungshilfsmittel
FM ..... Flockungsmittel
GWBA ..... Grubenwasserbehandlungsanlage
IWB ..... Institut für Wasser und Boden Dr. Uhlmann, Dresden
LBGR ..... Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe, Cottbus
LE-B ..... Lausitz Energie Bergbau AG, Cottbus
LfU ..... Landesamt für Umwelt Brandenburg (vormals: LUGV)
LMBV ..... Lausitzer und Mitteldeutsche Bergbau-Verwaltungsgesellschaft mbH, Senftenberg
LTV ..... Landestalsperrenverwaltung Sachsen
LUGV ..... Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (aktuell: LfU)
MWBA ..... Modulare Wasserbehandlungsanlage
Mst. ..... Messstelle
OGewV ..... Oberflächengewässerverordnung
SB ..... Speicherbecken
TA ..... Teilanlage
TS ..... Talsperre
WSS ..... Wasserspeichersystem

Institut für Wasser und Boden Dr. Uhlmann
Lungkwitzer Str. 12, 01259 Dresden
Tel 0351-2709854
Fax 0351-4668800
E-Mail info@iwb-dresden.de

1 Einleitung

Die Talsperre Spremberg erfüllt aufgrund der hohen Eisenbelastung der Spree eine wichtige wassergütewirtschaftliche Funktion. Sie hält beträchtliche Eisenfrachten zurück und verhindert damit zuverlässig die Verfrachtung von Eisen in die stromabwärts an der Spree gelegenen Schutzgüter im Bereich der Stadt Cottbus und in das UNESCO-Biosphärenreservat Spreewald. Die vom Braunkohlenbergbau verursachte Eisenbelastung der Spree wird im Auftrag der Bergbauunternehmen Lausitzer und Mitteldeutsche Bergbau-Verwaltungsgesellschaft mbH (LMBV) und Lausitz Energie Bergbau AG (LE-B) durch ein Monitoring überwacht.

Für einen hochgradigen Eisenrückhalt in der Talsperre Spremberg ist eine ausreichend lange Verweilzeit des Spreewassers (erste Mastervariable) erforderlich. Die Verweilzeit hängt vom Füllstand bzw. Füllvolumen der Talsperre und vom Durchfluss der Spree ab. Die Verweilzeit der Spree in der Talsperre Spremberg lag in den zurückliegenden Jahren überwiegend in einer Spanne zwischen 3 und 30 Tagen. Die kurzen Verweilzeiten gelten für Hochwasser und die längeren für Mittel- und Niedrigwasser.

Aufgrund der Besonderheiten der Hydrochemie des Eisens in Fließgewässern, insbesondere die Oxidation des zweiwertigen Eisens (sogen. Klarwassereisen) zum dreiwertigen Eisen (sogen. Trübungseisen), besteht ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Eisenrückhalt und dem pH-Wert (zweite Mastervariable) sowie zwischen dem Eisenrückhalt und der Wassertemperatur (dritte Mastervariable).

Als Zielwert für die Eisen-gesamt-Konzentration in der Spree in Bräsinchen ist gemäß der Anlage 7 der Oberflächengewässerverordnung [OGewV 2016] ein Wert von ≤ 1,8 mg/L im Jahresmittel anzustreben.

Die seit Mitte 2012 in hoher zeitlicher Dichte vorliegenden Daten zur Eisenbelastung der Spree zeigen, dass bei Verweilzeiten über 12 Tagen im Winter und über 8 Tagen im Sommer eine Eisenkonzentration unter 1,8 mg/L am Ablauf der Talsperre Spremberg jederzeit gewährleistet ist. Kürzere Verweilzeiten ziehen nicht zwangsläufig erhöhte Eisenkonzentrationen am Auslauf der Talsperre nach sich, erhöhen aber das Risiko derselben. Lange Verweilzeiten des Spreewassers in der Talsperre, die für einen hochgradigen Eisenrückhalt zu erstreben wären und durch ein hohes Stauvolumen erreicht werden können, schränken jedoch die Nutzung der Talsperre Spremberg sowohl für die Niedrigwasseraufhöhung als auch für den Hochwasserrückhalt ein. Damit die Freiheitsgrade für die Wassermengenbewirtschaftung der Talsperre Spremberg nicht zu stark eingeschränkt werden, wurden technische Möglichkeiten gesucht, den Eisenrückhalt in der Vorsperre Bühlow zu steigern. Ihre immanente wasserwirtschaftliche Funktion ist der Sedimentrückhalt.

Da das Eisen in der Vorsperre Bühlow nur zögerlich sedimentiert, wird der Eisenrückhalt durch eine chemische Wasserbehandlung befördert. Die Wasserbehandlung erfolgt zweistufig: durch Flockung mit einer Kalksuspension (TA 1 = Teilanlage 1) und durch die Zugabe eines polymeren Flockungshilfsmittels (TA 2 = Teilanlage 2).

Institut für Wasser und Boden Dr. Uhlmann
Lungkwitzer Str. 12, 01259 Dresden
Tel 0351-2709854
Fax 0351-4668800
E-Mail info@iwb-dresden.de

Die Dosierung der Kalkmilch erfolgte bis zur Anlagenrevision im Mai 2021 an der Brücke in Spremberg-Wilhelmsthal (Cantdorfer Brücke) über mehrere Verteilrohre in den Wasserstrom der Spree (Bild 1 links). Im Sommer 2021 wich die Brücke einem Ersatzneubau, dessen Fertigstellung für das Jahr 2022 avisiert ist (Bild 2). Die Kalkdosierung wurde derweil an die östliche Spitze der unterstromig gelegenen Flussinsel verlegt. Die Dosierung des Flockungshilfsmittels erfolgt am Verteilerbauwerk an der Vorsperre Bühlow in die aufgespalteten Teilströme der Spree (Bild 1 rechts). Zwischen beiden Dosierstellen liegt eine Fließstrecke von über 1.000 Meter, die eine gute Einmischung der Kalksuspension in die Spree gewährleistet.

Bild 1: **Wasserbehandlungsanlage an der Spree mit Kalkstation (TA 1, links) und Dosierstelle für das Flockungshilfsmittel am Verteilerbauwerk der Vorsperre Bühlow (TA 2, rechts). (Fotos: Rauhut, März 2018).**

Bild 2: **Abriss der Spreebrücke in Spremberg Wilhelmsthal (links, 13.08.2021) und Vorbereitung des Ersatzneubaus (rechts, 22.09.2021). (Fotos: IWB).**

Institut für Wasser und Boden Dr. Uhlmann
Lungkwitzer Str. 12, 01259 Dresden
Tel 0351-2709854
Fax 0351-4668800
E-Mail info@iwb-dresden.de

Die Wasserbehandlung in der Spree vor der Vorsperre Bühlow ist mit unterschiedlich langen Unterbrechungen seit August 2014 in Betrieb. Ursprünglich war der Betrieb der Wasserbehandlung nur für das Jahr 2014 vorgesehen. Damit sollte ein ausreichender Eisenrückhalt während der Absenkung des Wasserspiegels im Zuge der Sanierung der Staumauer der Talsperre Spremberg gewährleistet werden. Nach Abschluss der Sanierungsarbeiten an der Staumauer der Talsperre Spremberg hatten sich die fachlich Beteiligten verständigt, die Wasserbehandlung an der Vorsperre Bühlow so lange zu betreiben, bis die Maßnahmen des Barrierekonzeptes im Südraum der LMBV ausreichend Wirkung zeigen, siehe dazu [IWB 2012] und [Uhlmann & Zarach 2015].

Zur Eisenbelastung der Spree und zu den Wirkungen der Wasserbehandlung wird seit Juli 2012 ein Sondermonitoring der Wasserbeschaffenheit im Auftrag der LMBV und der LE-B betrieben (Kapitel 3.1). Die Ergebnisse des Sondermonitorings werden in Form von Jahresberichten für die Kalenderjahre zusammengefasst. Der vorliegende Bericht fasst die Ergebnisse des Sondermonitorings für das Kalenderjahr 2021 zusammen.

2 Hydrologie und Wasserbewirtschaftung

2.1 Witterungsverlauf

Die Witterung in der Umgebung der Talsperre Spremberg im Kalenderjahr 2021 kann anhand der Lufttemperatur (Bild 3), des Niederschlags (Bild 4 und Bild 5 unten) und der klimatischen Wasserbilanz (Bild 5 oben) an der DWD-Station Cottbus charakterisiert werden. Die DWD-Station Cottbus kann aufgrund der räumlichen Nähe zum Untersuchungsgebiet im Hinblick auf die Großwetterlagen als ausreichend repräsentativ angenommen werden. In der Tabelle 1 sind die relevanten Eckzahlen der Wetterdaten für das Berichtsjahr und für die Vergleichsperiode von 1992 bis 2021 gegenübergestellt.

Tabelle 1: Eckzahlen der maßgeblichen Wetterdaten für das Kalenderjahr 2021 und für die langjährigen Jahresmittelwerte der Vergleichsperiode 1992 bis 2021 an der DWD-Wetterstation Cottbus.

Klimatische Größe	Einheit	Kalenderjahr 2021	Vergleichsperiode 1992-2021
Jahresniederschlag, korrigiert nach [DWD 1995]	mm/a	592	627
Grasreferenzverdunstung nach [Haude 1954]	mm/a	682	739
Klimatische Wasserbilanz	mm/a	-90	-112
Mittelwert der Sonnenscheindauer	h/d	4,4	4,8
Mittelwert der Lufttemperatur	°C	+9,8	+10,0
Maximum der Lufttemperatur	°C	+35,1	+38,2
Minimum der Lufttemperatur	°C	-17,1	-21,4
Anzahl Eistage (T_{max} < 0 °C)	Tage/Jahr	13	18
Anzahl Frosttage (T_{min} < 0 °C)	Tage/Jahr	89	84
Anzahl Sommertage (T_{max} ≥ 25 °C)	Tage/Jahr	62	57
Anzahl Heiße Tage (T_{max} ≥ 30 °C)	Tage/Jahr	15	16

Institut für Wasser und Boden Dr. Uhlmann
Lungkwitzer Str. 12, 01259 Dresden
Tel 0351-2709854
Fax 0351-4668800
E-Mail info@iwb-dresden.de

Die Lufttemperatur lag im Jahr 2021 mit +9,8 °C im Mittel auf dem Niveau der 30-jährigen Messreihe von 1992 bis 2021. Die Darstellung der Tagesmittelwerte der Lufttemperatur (rote Linie in Bild 3) erfolgt im Vergleich zu den langjährigen Monatsmittelwerten (schwarze Treppe in Bild 3). Im Normalfall schwankt die rote Linie um die schwarze Linie. Die einseitigen Abweichungen zeigen, dass der Februar und der August 2021 etwa 1,5 Grad, der April 2021 ca. 3,5 Grad und der Mai 2021 etwa 2,5 Grad zu kühl waren. Der Juni 2021 war etwa 3 Grad zu warm. Die anderen Monate lagen in der „Norm“. Im Februar 2021 wurde ein 10-tägiger Kälteeinbruch mit acht aufeinanderfolgenden Eistagen mit Tagesmittelwerten bis -11 °C erfasst.

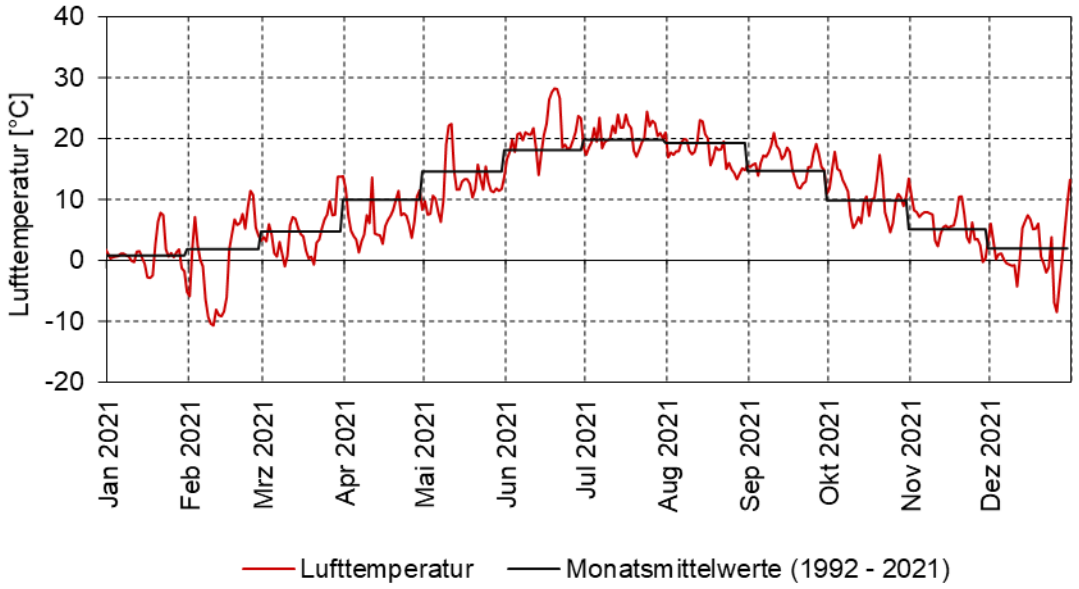

Bild 3: Ganglinie der Tagesmittelwerte der Lufttemperatur im Kalenderjahr 2021 im Vergleich zu den langjährigen Monatsmittelwerten der Lufttemperatur in den Jahren 1992 bis 2021 an der DWD-Wetterstation Cottbus.

Die Monatssummen des Niederschlags basieren auf den unkorrigierten Rohdaten der DWD-Wetterstation Cottbus. Die Niederschlagshöhen werden in Abhängigkeit von der Exposition der Messstation und von der Messmethode durch Wind, Benetzung und Verdunstung systematisch zu niedrig gemessen. Alle nachfolgenden Angaben zur Niederschlagshöhe wurden nach Richter [DWD 1995] standortbezogen um 10 % korrigiert.

Die Niederschlagssumme an der DWD-Wetterstation Cottbus lag im Jahr 2021 mit 592 mm rund 35 mm niedriger als der Mittelwert der 30-jährigen Reihe von 1992 bis 2021 mit 627 mm/a. Der Niederschlag war im ersten Halbjahr 2021 gleichmäßig verteilt. Die Niederschlagsbilanz war nahezu ausgeglichen (Bild 4). Im zweiten Halbjahr 2021 dominierten von September bis Dezember niederschlagsarme bzw. -freie Perioden, die durch kurze ergiebige Niederschlagsereignisse unterbrochen wurden (Bild 5 unten). Die Niederschlagsbilanz für das zweite Halbjahr 2021 war defizitär. Ungewöhnlich war, dass die klimatische Wasserbilanz der hydrologischen Sommermonate Mai und August 2021 im Vergleich zur 30-jährigen Messreihe überschüssig war (Bild 5 oben).

Institut für Wasser und Boden Dr. Uhlmann
Lungkwitzer Str. 12, 01259 Dresden
Tel 0351-2709854
Fax 0351-4668800
E-Mail info@iwb-dresden.de

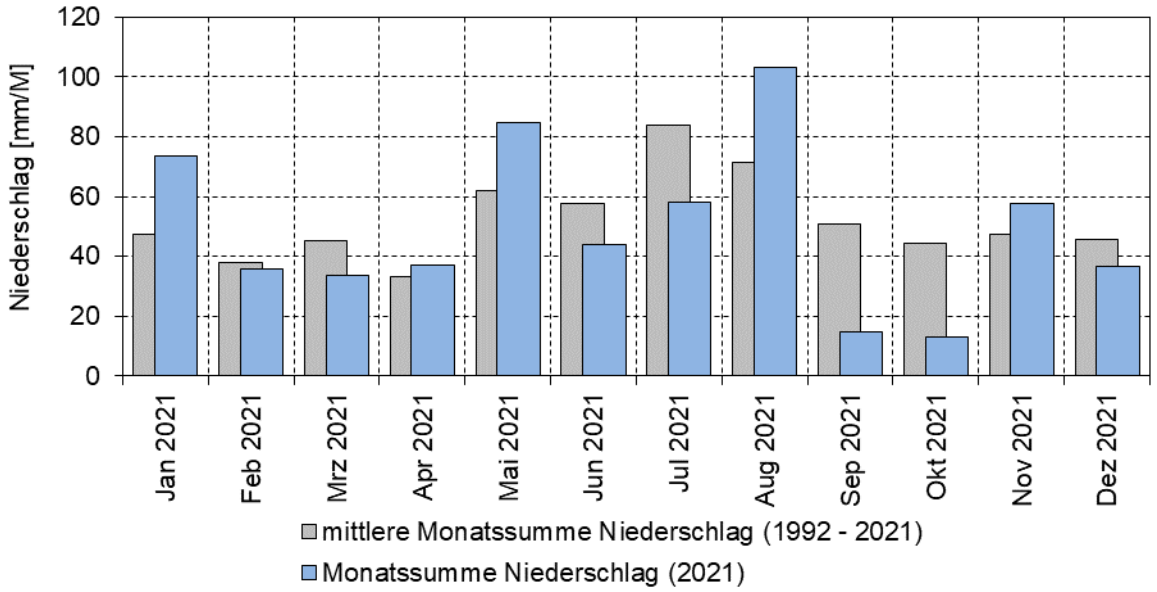

Bild 4: **Monatssummen des Niederschlags im Kalenderjahr 2021 und langjährige mittlere Monatssummen des Niederschlags der Kalenderjahre 1992 bis 2021 an der DWD-Wetterstation Cottbus.**

Institut für Wasser und Boden Dr. Uhlmann
Lungkwitzer Str. 12, 01259 Dresden
Tel 0351-2709854
Fax 0351-4668800
E-Mail info@iwb-dresden.de

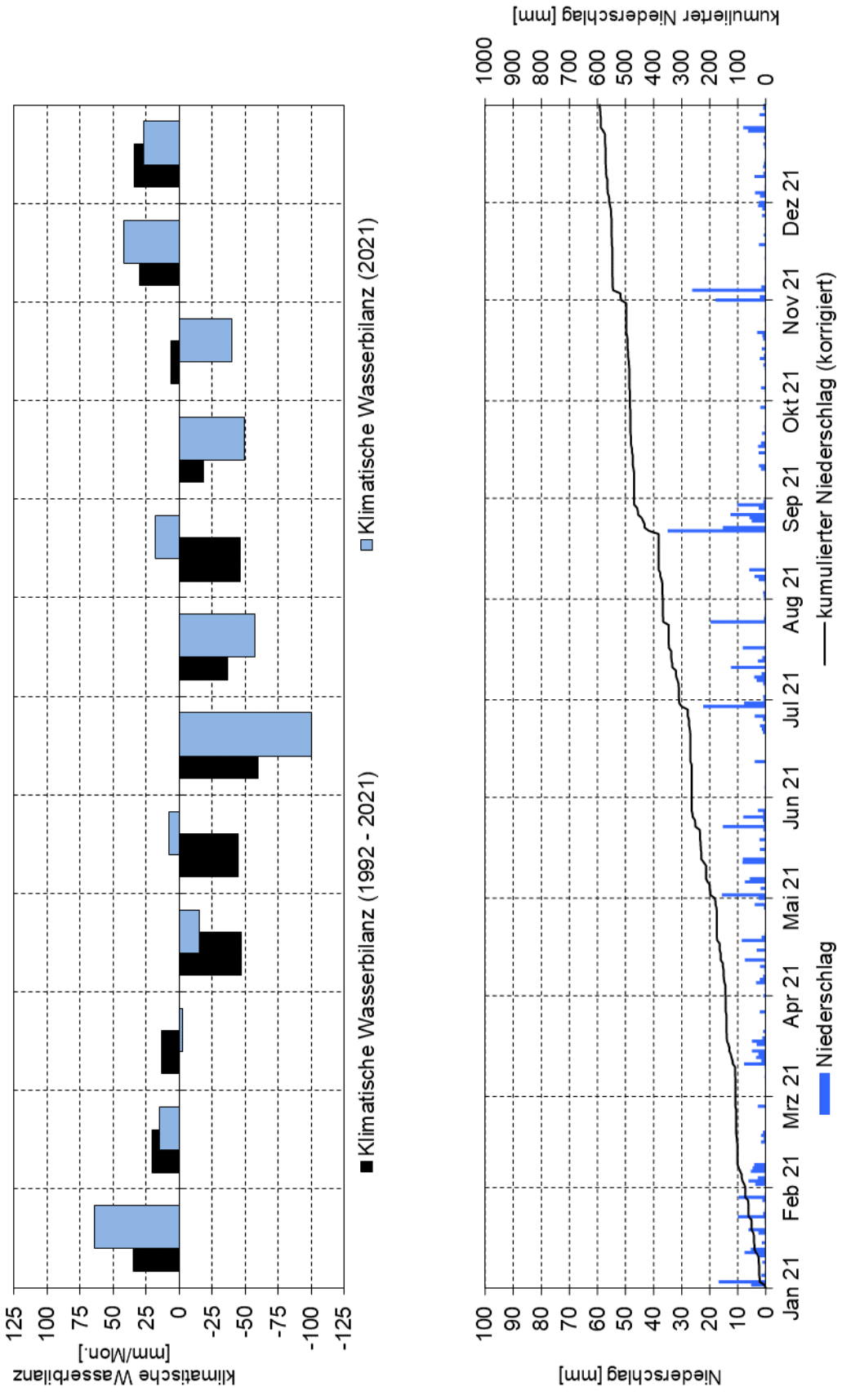

Bild 5: **Monatssummen der klimatischen Wasserbilanz im Kalenderjahr 2021 im Vergleich mit den Mittelwerten der Kalenderjahre 1992 bis 2021 (oben) und Tageswerte der Niederschlagshöhe und kumulative Niederschlagssumme (unten) an der DWD-Station Cottbus im Kalenderjahr 2021.**

Institut für Wasser und Boden Dr. Uhlmann
Lungkwitzer Str. 12, 01259 Dresden
Tel 0351-2709854
Fax 0351-4668800
E-Mail info@iwb-dresden.de

2.2 Durchfluss in der Spree und Bewirtschaftung der Talsperre Spremberg

Der Durchfluss der Spree stromoberhalb der Talsperre Spremberg wird vom LfU Brandenburg am Pegel Spremberg erfasst. In Bild 7 ist die Durchflussganglinie des Pegels Spremberg auf der Grundlage von Tagesmittelwerten dargestellt.

Der Durchfluss der Spree am Pegel Spremberg lag im Jahr 2021 als Tagesmittelwert in einem Band zwischen 6,9 und 22,3 m³/s und betrug im Jahresmittel 9,4 m³/s. Der höchste Durchfluss wurde ereignisbezogen am 19.07.2021 gemessen. Die größten Schwankungen traten witterungsbedingt im ersten Halbjahr 2021 auf. In der trockenen Periode ab September 2021 lag der Durchfluss der Spree meist zwischen 8 und 9 m³/s. Im Berichtszeitraum gab es kein Hochwasser. Der Durchfluss der Spree am Pegel Spremberg lag deutlich niedriger als in der 10-jährigen Vergleichsperiode von 2012 bis 2021 (Bild 8).

Die Wasserführung in der Spree wurde durch Abgaben aus den Talsperren Bautzen und Quitzdorf (Speicher der LTV) mit 2,7 m³/s im Jahresmittel sowie aus dem SB Bärwalde und dem WSS Lohsa II (Speicher der LMBV) mit 1,2 m³/s im Jahresmittel sowie durch die Überleitung von durchschnittlich 0,6 m³/s Neißewasser (LMBV) gestützt. Der hohe Durchfluss Mitte Juli 2021 geht auf eine kurzfristige Erhöhung der Ausleitmenge aus der Talsperre Bautzen von 10,3 m³/s zurück (Bild 7). Durch die kontinuierliche Einleitung behandelter Sümpfungswässer aus den Grubenwasserbehandlungsanlagen Kringelsdorf, Tzschelln und Schwarze Pumpe der LE-B in den Schwarzen Schöps bzw. in die Spree wurde im Jahr 2021 am Pegel Spremberg ein Grundstock von im Mittel 5,1 m³/s des Durchflusses in der Spree gewährleistet.

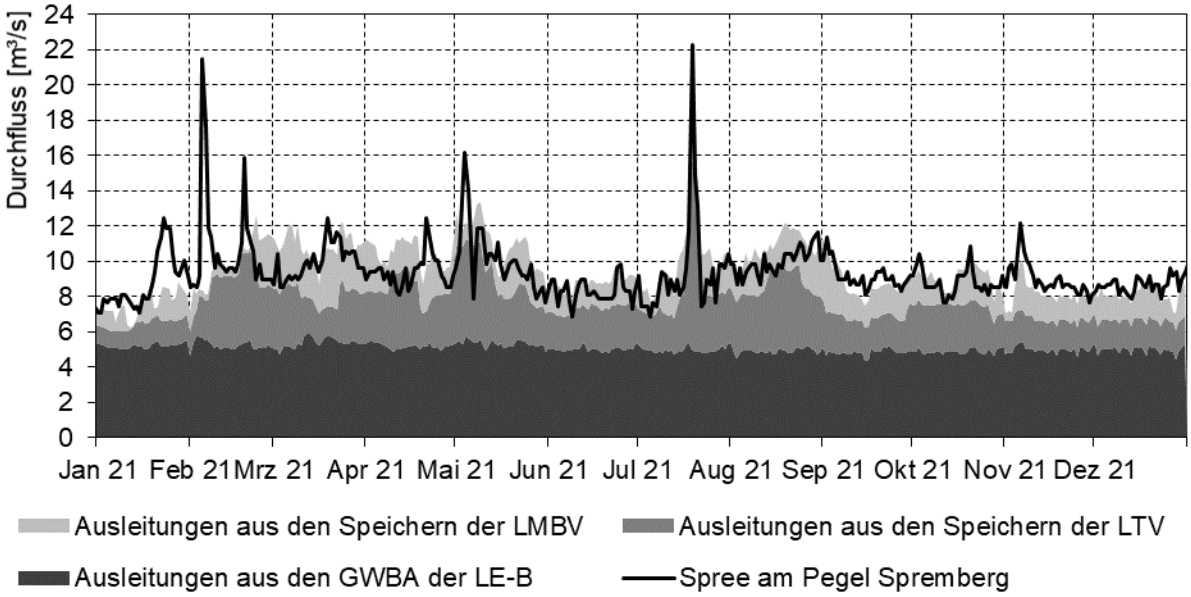

Bild 7: Tagesmittelwerte des Durchflusses der Spree am Pegel Spremberg (schwarze Linie) sowie Ausleitung aus den GWBA der LE-B (dunkelgrau), Ausleitung aus den Speichern der LTV (grau) und Ausleitung aus den Speichern der LMBV (hellgrau) im ersten Halbjahr 2021 (Entnahmen sind nicht dargestellt).

Institut für Wasser und Boden Dr. Uhlmann
Lungkwitzer Str. 12, 01259 Dresden
Tel 0351-2709854
Fax 0351-4668800
E-Mail info@iwb-dresden.de

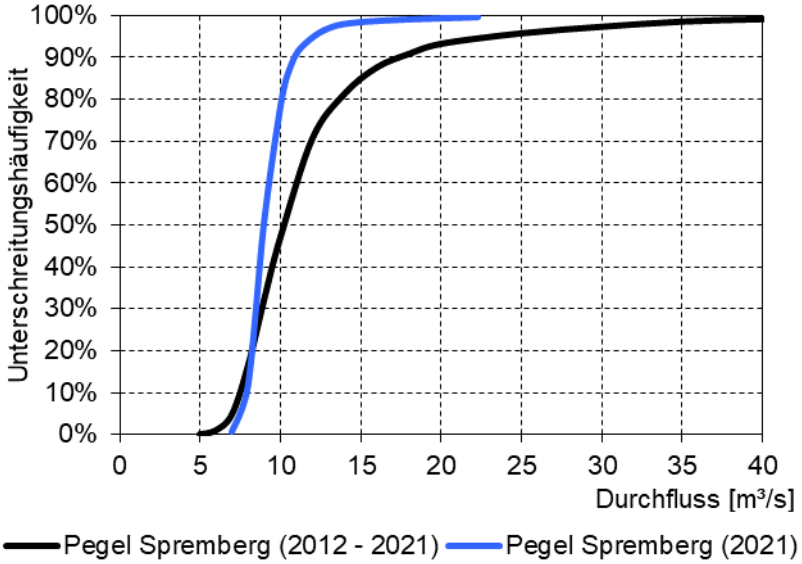

Bild 8: **Dauerlinien der Unterschreitungshäufigkeit des Durchflusses der Spree am Pegel Spremberg im Kalenderjahr 2021 (blau) und im Vergleichszeitraum seit Beginn des täglichen Monitorings an der Talsperre Spremberg von 2012 bis 2021 (schwarz).**

Die Talsperre Spremberg wird entsprechend ihrer regulären Zweckbestimmung als Speicher bewirtschaftet. Ende des Jahres 2020 lag der Wasserspiegel bei ca. +91,3 m NHN (Bild 10). In der aktuellen Berichtsperiode wurde die Talsperre bis Ende März 2021 auf etwa +92,2 m NHN eingestaut und bis Mitte Mai 2021 auf diesem Niveau gehalten. Ab Mitte Mai 2021, zu Beginn des hydrologischen Sommerhalbjahres, und verstärkt im Juni 2021 wurden die gespeicherten Wasserressourcen zur Niedrigwasseraufhöhung in Anspruch genommen. Die Talsperre Spremberg wurde bis Ende August 2021, mit Unterbrechung durch eine 5-tägige Auffüllphase Mitte Juli 2021, sukzessive auf +91,2 m NHN abgesenkt. In dieser Zeit wurden ca. 9,9 Mio. m³ Wasser freigegeben, was einem mittleren Volumenstrom von etwa 1,1 m³/s entspricht. Anschließend wurde der Wasserspiegel bis zur ersten Oktoberdekade zügig auf +92,0 m NHN aufgefüllt und auf diesem Niveau gehalten.

Die Phasen der Speicherfüllung und Speicherfreigabe können annähernd aus der Differenz der Durchflussganglinien der Pegel Spremberg (= Zufluss zum Speicher) und Bräsinchen (= Abfluss aus dem Speicher) in Bild 10 abgelesen werden, wobei hier Zugänge durch Niederschlag sowie Verluste durch Verdunstung und Versickerung nicht mit abgebildet sind.

Institut für Wasser und Boden Dr. Uhlmann
Lungkwitzer Str. 12, 01259 Dresden
Tel 0351-2709854
Fax 0351-4668800
E-Mail info@iwb-dresden.de

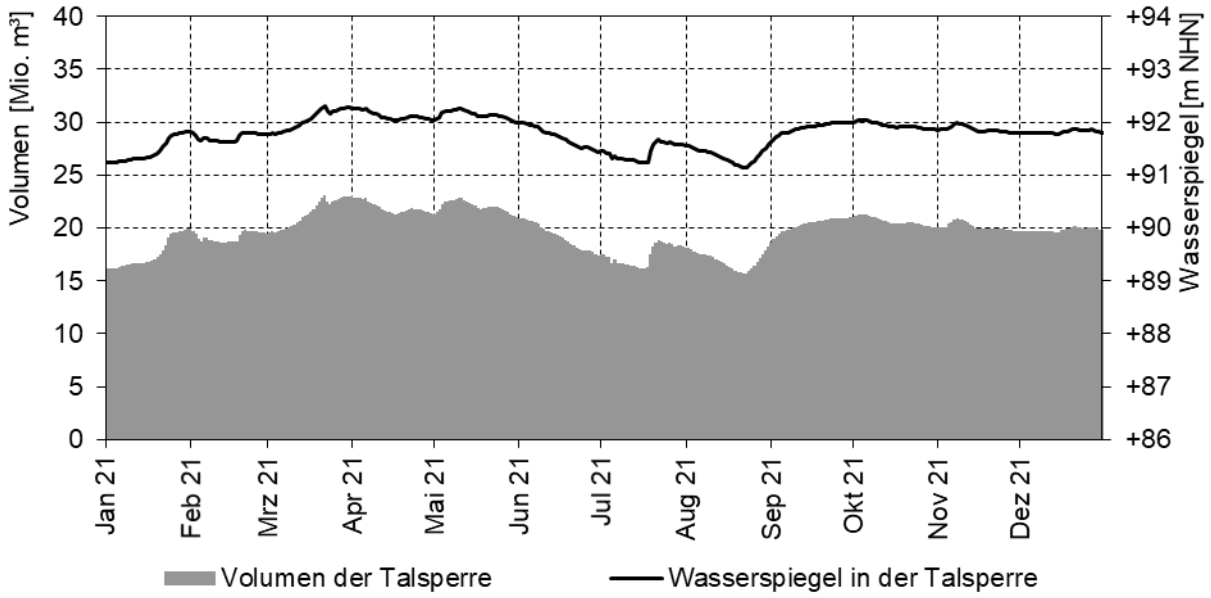

Bild 9: **Wasserstand und Füllvolumen der Talsperre Spremberg im Kalenderjahr 2021, Quelle: LfU Brandenburg.**

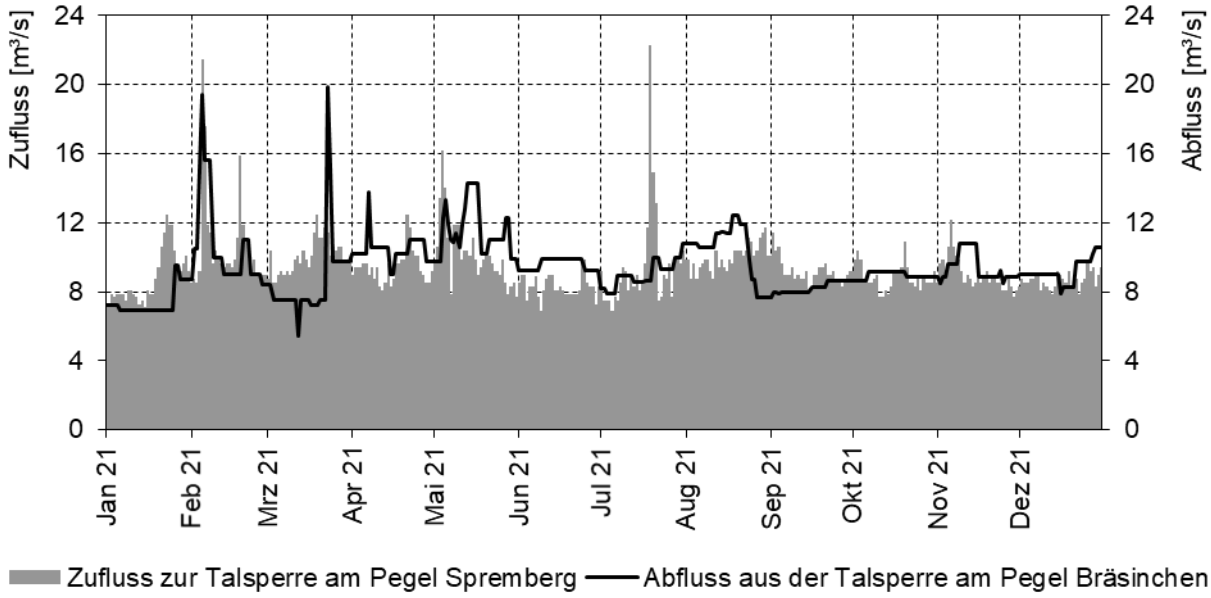

Bild 10: **Durchfluss der Spree in Spremberg (Zulauf zur Talsperre) und in Bräsinchen (Ablauf aus der Talsperre) im Kalenderjahr 2021, unkorrigierte Werte, Quelle: LfU Brandenburg.**

Aus dem Verhältnis zwischen dem veränderlichen Speichervolumen und dem veränderlichen Abfluss aus dem Speicher kann die dynamische Verweilzeit des Spreewassers in der Talsperre Spremberg berechnet werden. Die Verweilzeit ist in Bild 11 als siebentägiges gleitendes Mittel dargestellt. Beim Durchgang hoher Durchflüsse in den Wintermonaten und während der Sommermonate mit geringem Speichervolumen können „Einbrüche“ der Verweilzeit festgestellt werden. Das sind die Phasen, in denen mit höheren Eisenausträgen aus der Talsperre Spremberg zu rechnen wäre, sofern andere Mechanismen des Eisenrückhalts nicht funktionieren.

Institut für Wasser und Boden Dr. Uhlmann
Lungkwitzer Str. 12, 01259 Dresden
Tel 0351-2709854
Fax 0351-4668800
E-Mail info@iwb-dresden.de

Die dynamische Verweilzeit des Spreewassers in der Talsperre Spremberg lag im Jahr 2021 in einer Spanne von 11 bis 44 Tagen. Die lange Verweilzeit enthält hohe Sicherheitsreserven für den Eisenrückhalt in der Talsperre Spremberg.

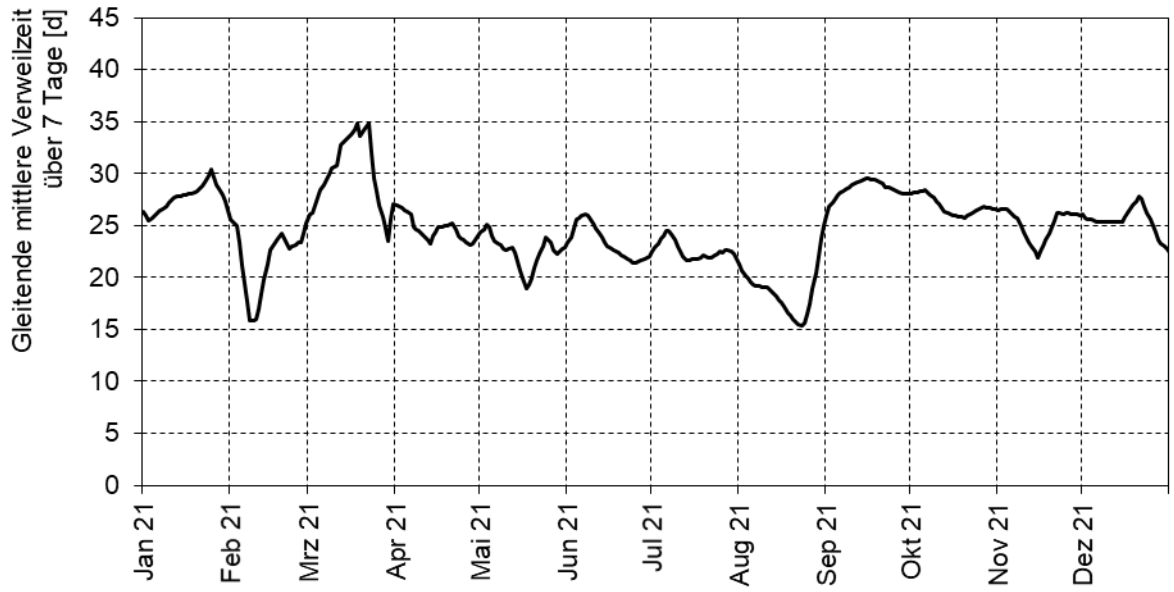

Bild 11: Mittlere Verweilzeit des Wassers der Spree in der Talsperre Spremberg (nur Hauptsperre) im Kalenderjahr 2021 als siebentägiges gleitendes Mittel.

2.3 Wassertemperatur in der Spree

Die Wassertemperatur in der Spree vor der Talsperre in Spremberg-Wilhelmsthal (Mst. 1180) schwankte im Berichtsjahr 2021 zwischen +2 °C im Februar und maximal +24 °C im Juni (Bild 12). Die Temperaturamplitude der Spree spreizt sich beim Durchgang durch die Talsperre Spremberg aufgrund der großen Kontaktfläche mit der Atmosphäre auf. An der Messstelle 1200 in Bräsinchen schwankte die Wassertemperatur zwischen ± 0 °C und + 24 °C. Im Winter kühlt das Wasser in der Talsperre aus und im Sommer erwärmt es sich. Die sommerlich erhöhte Wassertemperatur in der Spree und in der Talsperre Spremberg beschleunigt die Oxidation des zweiwertigen Eisens (Klarwassereisen).

Institut für Wasser und Boden Dr. Uhlmann
Lungkwitzer Str. 12, 01259 Dresden
Tel 0351-2709854
Fax 0351-4668800
E-Mail info@iwb-dresden.de

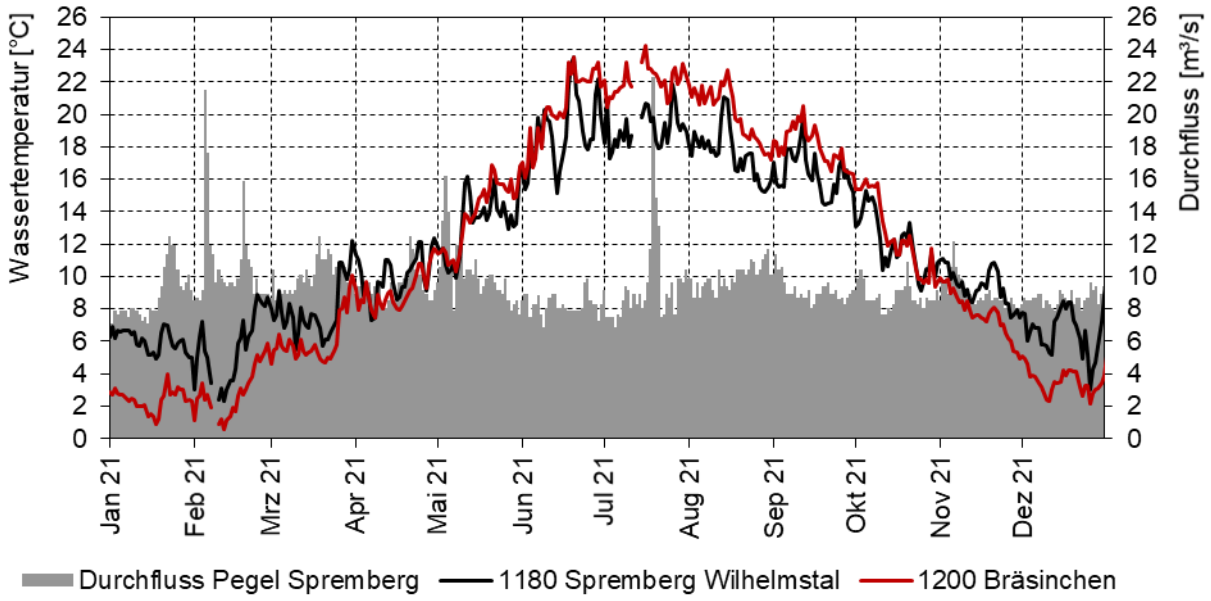

Bild 12: Entwicklung der Wassertemperatur in der Spree im Zulauf zur Talsperre Spremberg (Spremberg-Wilhelmsthal) und nach der Hauptsperre in der Spree in Bräsinchen im Kalenderjahr 2021.

3 Eisenbelastung der Spree

3.1 Sondermonitoring

Die Wasserbeschaffenheit der Spree wird im Rahmen des Sondermonitoring an den drei nachfolgenden Messstellen täglich erfasst (Bild 13).

- Messstelle 1180: Brücke in Spremberg-Wilhelmsthal (Zulauf zur Vorsperre Bühlow),
- Messstelle 1190: Brücke Bühlow/Sellessen (Ablauf der Vorsperre Bühlow) und
- Messstelle 1200: Brücke in Bräsinchen (Ablauf der Hauptsperre).

Die Bauarbeiten an der Spreebrücke in Spremberg-Wilhelmsthal hatten Einfluss auf die Probennahmen an der Messstelle 1180. Ausweichend wird die Spree seit 15. September 2021 an der Ausweichmessstelle am Pegel Spremberg (Bild 13) beprobt. Der Pegel Spremberg liegt etwa 1.500 Meter stromoberhalb der Messstelle 1180. Im vorliegenden Bericht wurden sämtliche Zeitreihen der Messstelle Spremberg-Wilhelmsthal mit den Befunden der Spree am Pegel Spremberg fortgeschrieben.

Die Fotos in Bild 14 bis Bild 16 zeigen markante Zustände an den Messstellen des Sondermonitorings im Kalenderjahr 2021. Die Farbgraduierung kennzeichnet jeweils das Maß der Eisenbelastung der Spree an den entsprechenden Stellen.

Institut für Wasser und Boden Dr. Uhlmann
Lungkwitzer Str. 12, 01259 Dresden
Tel 0351-2709854
Fax 0351-4668800
E-Mail info@iwb-dresden.de

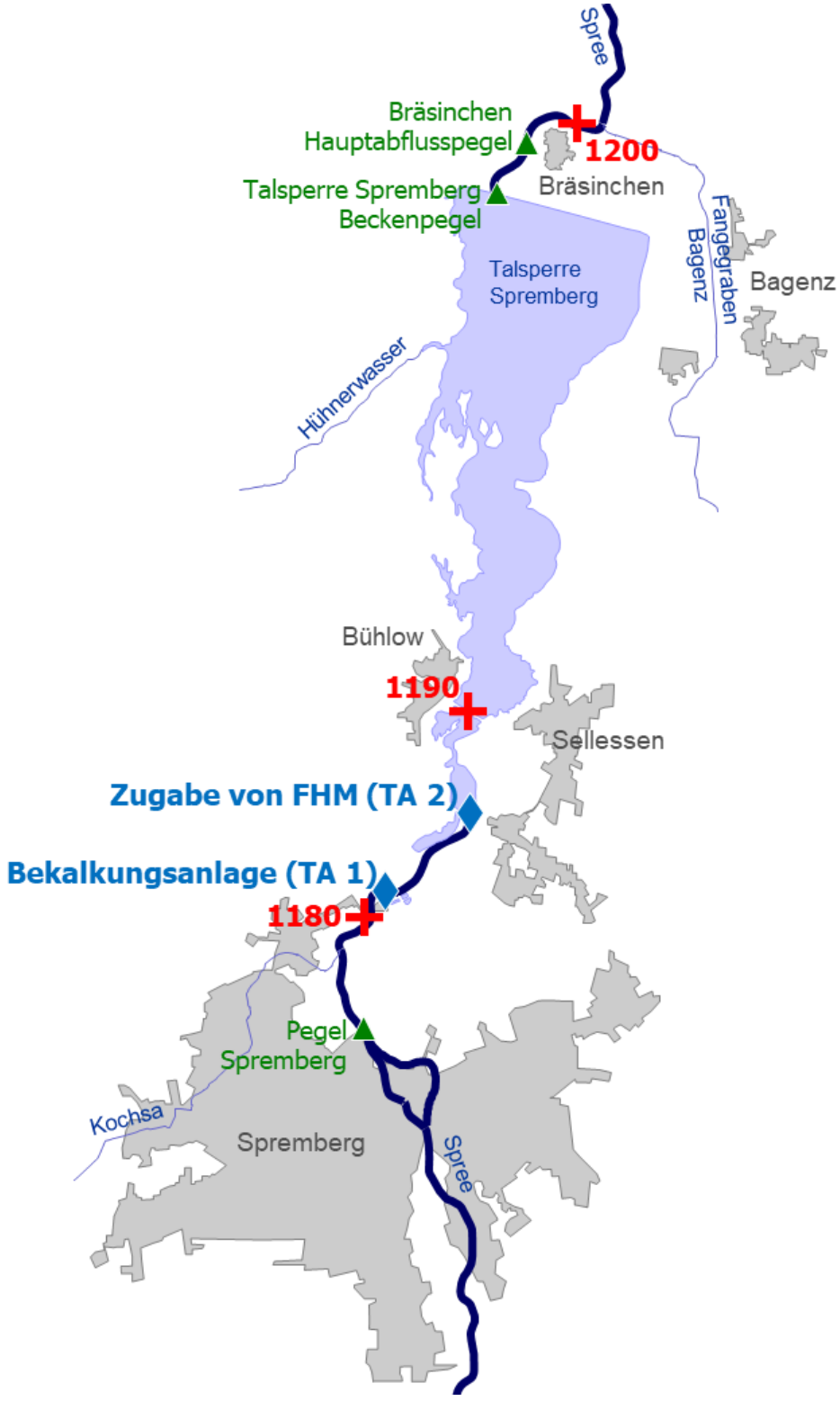

Bild 13: **Lage der Messstellen des Monitorings an der Talsperre Spremberg, der amtlichen Pegel und der Maßnahmen der Wasserbehandlung an der Spree vor der Vorsperre Bühlow.**

Institut für Wasser und Boden Dr. Uhlmann
Lungkwitzer Str. 12, 01259 Dresden
Tel 0351-2709854
Fax 0351-4668800
E-Mail info@iwb-dresden.de

Bild 14: Messstelle 1180 in Spremberg-Wilhelmsthal am 13.07.2021 (Foto: IWB)

- Durchfluss rund 8,3 m³/s
- starke Trübung
- orangebraune Färbung
- Eisen-gesamt = 3,8 mg/L
- Eisen-gelöst = 0,05 mg/L

Hoher Anteil von Trübungseisen bei niedriger Eisen-gesamt-Konzentration. Am Ufer Haufwerke entnommener eisenhaltiger Gewässersedimente.

Bild 15: Messstelle 1190 an der Brücke Bühlow/Sellessen am 13.07.2021 (Foto: IWB)

- Durchfluss rund 8,3 m³/s
- schwache Trübung
- grünlich-bräunliche Färbung
- Eisen-gesamt = 2,7 mg/L
- Eisen-gelöst = 0,05 mg/L

Zustand der Spree nach der Wasserbehandlung in der Vorsperre Bühlow.

Bild 16: Messstelle 1200 an der Brücke in Bräsinchen am 13.07.2021 (Foto: IWB)

- Durchfluss rund 8,6 m³/s
- keine Trübung
- farblos
- Eisen-gesamt = 0,4 mg/L
- Eisen-gelöst = 0,03 mg/L

Zustand der Spree nach der Passage der Talsperre Spremberg.

Die Entnahme der Wasserproben aus der Spree erfolgt als Stichproben (Schöpfproben) aus der Strommitte und als Terminproben zu wechselnden Uhrzeiten. Zur Bestimmung der Eisen-gelöst-Konzentration werden die Teilproben vor Ort filtriert und in präparierte Probenflaschen überführt. Vor Ort wurden des Weiteren die Wassertemperatur, der pH-Wert und die elektrische Leitfähigkeit gemessen.

Institut für Wasser und Boden Dr. Uhlmann
Lungkwitzer Str. 12, 01259 Dresden
Tel 0351-2709854
Fax 0351-4668800
E-Mail info@iwb-dresden.de

Die Wasserproben wurden von der ERGO Umweltinstitut GmbH Dresden chemisch analysiert (Tabelle 2).

Tabelle 2: Kennwerte des Sondermonitorings der Eisen- und Sulfatbelastung der Spree und der Talsperre Spremberg.

Kennwert	Einheit	Vorbehandlung	Methode
Temperatur	°C		DIN 38404 (C4)
pH-Wert	---		EN ISO 105323 (C5)
Elektrische Leitfähigkeit	µS/cm		DIN EN 27888 (C8)
Sulfat	mg/L		DIN EN ISO 10304-1 (D19)
Eisen-gesamt	mg/L		DIN EN ISO 11885 (E22)
Eisen-gelöst	mg/L	Filtration vor Ort	DIN EN ISO 11885 (E22)

Im Kalenderjahr 2021 wurden 361 Beprobungen durchgeführt. Bei 365 Kalendertagen liegen damit ein hoher zeitlicher Deckungsgrad von 99 % und ein statistisch sehr gut gesicherter Datenbestand vor. Er gestattet, solide Aussagen zur Abhängigkeit der Eisenbelastung von der Witterung, vom Durchfluss in der Spree, von der Speicherbewirtschaftung der Talsperre, von der Wasserbehandlung an der Vorsperre Bühlow und von sonstigen Ereignissen und Maßnahmen an der Spree zu treffen. Die Eisenbelastung der Spree kann damit für das Kalenderjahr 2021 sehr zuverlässig charakterisiert und bilanziert werden.

3.2 Belastungsrelevante Maßnahmen und Ereignisse

Im Kalenderjahr 2021 hatten folgende Maßnahmen und Ereignisse Einfluss auf die Eisenbelastung der Spree und der Talsperre Spremberg:

- Der Betrieb von Abwehrmaßnahmen der Eisenbelastung an der Spree und an der Kleinen Spree, insbesondere:
  - der Regelbetrieb der Modularen Wasserbehandlungsanlage (MWBA) am Graben Neustadt,
  - der Regelbetrieb des Abfangriegels am Unterlauf der Kleinen Spree bei Spreewitz, bestehend aus einem 6er Brunnenriegel und einer Horizontaldränage,
  - der Regelbetrieb der Wasserfassung Burgneudorf, bestehend aus einem 10er Brunnenriegel und der MWBA Burgneudorf, an der Kleinen Spree in der Ortslage Burgneudorf sowie
  - der zweimonatige Probebetrieb und der sich im 2. Halbjahr anschließende Einfahrbetrieb der MWBA Ruhlmühle am Altarm der Spree bei Neustadt/Ortsteil Döschko.

- Gewässerunterhaltungsmaßnahmen, insbesondere:
  - Der Ausbau und die Beräumung der Kleinen Spree im Unterlauf auf einer Länge von ca. 4,5 Kilometer zwischen Burghammer und Spreewitz,
  - Die Beräumung des Altarmes der Spree auf einer Länge von 200 Meter im Bereich „Wehr Ruhlmühle“ im 1. Halbjahr

Institut für Wasser und Boden Dr. Uhlmann
Lungkwitzer Str. 12, 01259 Dresden
Tel 0351-2709854
Fax 0351-4668800
E-Mail info@iwb-dresden.de

- Stellhandlungen an den Spreewehren im Stadtgebiet Spremberg, u. a. zur Funktionskontrolle und für den Kanusport,
- die laufende Entschlammung der Vorsperre Bühlow,
- die Unterhaltung der Dränagegräben an der Staumauer,
- gelegentliche Funktionstests am Ablaufbauwerk der Talsperre Spremberg sowie
- Stellhandlungen am Ablaufbauwerk der Talsperre Spremberg.

Während die erste Gruppe der Maßnahmen die Eisenbelastung der Spree im Mittel bereits nachweislich verringert, führt die zweite Gruppe der Maßnahmen zu singulär hohen Stoßbelastungen. Details sind in der Tabelle 3 angegeben.

Tabelle 3: Ereignisse und Maßnahmen im Einzugsgebiet der Spree im Kalenderjahr 2021.

Datum	Objekt	Ereignis
04.02.2021	Stadtmühlenwehr Weißes Wehr	Kontrolle der Anlagen durch das LfU mit Wehrbedienung.
04.02.2021	Ablaufbauwerk der TS Spremberg	Funktionstests an den Grundablässen.
05.02.2021	Stadtmühlenwehr	Wehrbedienung aufgrund des steigenden Wasserstandes in der Spree.
06.02.2021	Stadtmühlenwehr	Wehrbedienung aufgrund des steigenden Wasserstandes in der Spree und Anlagenspülung.
07.02.2021	Stadtmühlenwehr	Wehrbedienung aufgrund des fallenden Wasserstandes in der Spree und Anlagenspülung.
08.02.2021	Stadtmühlenwehr	Wehrbedienung aufgrund des fallenden Wasserstands in der Spree.
17.02.2021	Stadtmühlenwehr	Wehrbedienung aufgrund eines Polizeieinsatzes.
19.02.2021	Stadtmühlenwehr	Wehrregulierung.
16.03.2021	Stadtmühlenwehr	Wehrregulierung.
03.05.2021	Stadtmühlenwehr Weißes Wehr	Wehrbedienung aufgrund erhöhter Abflüsse und Anlagen-spülung.
04.05.2021	Ablaufbauwerk der TS Spremberg	Reinigung der Dränagegräben und Funktionstests an den Schöpfwerken.
06.05.2021	Stadtmühlenwehr	Wehrregulierung.
06.05.2021	Weißes Wehr	Entfernung von Treibgut.
12.05.2021	Stadtmühlenwehr Weißes Wehr	Wehrregulierung.
27.05.2021	Weißes Wehr	Wehrbedienung.
28.05.2021	Konditionierungs-anlage (TA 1)	Außerbetriebnahme der TA 1 der Konditionierungsanlage an der Spree in Spremberg-Wilhelmsthal zur Anlagenrevision.
02.06.2021 bis 09.07.2021	Spree in Wilhelmsthal	Verbau eines Uferabbruchs in Scharlage.
03.06.2021	Weißes Wehr	Kontrolle der Wehranlagen und Wehrbedienung.
07.06.2021	Ablaufbauwerk der TS Spremberg	Beräumung der Dränagegräben.
07.06.2021 bis 21.07.2021	Spree Wilhelmsthal	Uferverbau der Spree.
10.06.2021	Weißes Wehr	Kontrolle der Wehranlagen.

Institut für Wasser und Boden Dr. Uhlmann
Lungkwitzer Str. 12, 01259 Dresden
Tel 0351-2709854
Fax 0351-4668800
E-Mail info@iwb-dresden.de

Datum	Objekt	Ereignis
12.06.2021	Weißes Wehr	Kontrolle der Wehranlagen und Wehrbedienung.
17.06.2021	Weißes Wehr	Kontrolle der Wehranlagen und Wehrbedienung.
21.06.2021 bis 24.06.2021	Spree Wilhelmsthal	Sedimententnahme.
24.06.2021	Weißes Wehr	Kontrolle der Wehranlagen und Wehrbedienung.
08.07.2021	Weißes Wehr	Kontrolle der Wehranlagen und Wehrbedienung.
17.07.2021 bis 23.07.2021	Stadtmühlenwehr	Bedarfsgerechte Wehrbedienung aufgrund kurzfristig erhöhter Durchflüsse.
23.07.2021	Weißes Wehr	Kontrolle der Wehranlagen und Wehrbedienung.
29.07.2021	Weißes Wehr	Kontrolle der Wehranlagen und Wehrbedienung.
05.08.2021	Weißes Wehr	Kontrolle der Wehranlagen und Wehrbedienung.
19.08.2021	Weißes Wehr	Kontrolle der Wehranlagen und Wehrbedienung.
26.08.2021	Weißes Wehr	Kontrolle der Wehranlagen und Wehrbedienung.
02.09.2021	Weißes Wehr	Öffnung des Wehres zu Trainingszwecken der Kanuten.
04.09.2021	Weißes Wehr	Öffnung des Wehres zu Trainingszwecken der Kanuten.
05.09.2021	Weißes Wehr	Öffnung des Wehres zu Trainingszwecken der Kanuten.
09.09.2021	Weißes Wehr	Öffnung des Wehres zu Trainingszwecken der Kanuten.
16.09.2021	Weißes Wehr	Öffnung des Wehres zu Trainingszwecken der Kanuten.
23.09.2021	Weißes Wehr	Öffnung des Wehres zu Trainingszwecken der Kanuten.
30.09.2021	Weißes Wehr	Öffnung des Wehres zu Trainingszwecken der Kanuten.
07.10.2021	Weißes Wehr	Öffnung des Wehres zu Trainingszwecken der Kanuten.
14.10.2021	Stadtmühlenwehr	Kontrolle der Anlagen durch das LfU mit Wehrbedienung.
17.10.2021	Weißes Wehr	Öffnung des Wehres zu Trainingszwecken der Kanuten.
20.10.2021	Weißes Wehr	Öffnung des Wehres zu Trainingszwecken der Kanuten.
21.10.2021	Stadtmühlenwehr	Kontrolle der Anlagen durch das LfU mit Wehrbedienung.
28.10.2021	Stadtmühlenwehr Weißes Wehr	Kontrolle der Anlagen durch das LfU mit Wehrbedienung.
05.11.2021	Stadtmühlenwehr Weißes Wehr	Kontrolle der Anlagen durch das LfU.
11.11.2021	Stadtmühlenwehr Weißes Wehr	Kontrolle der Anlagen durch das LfU.
18.11.2021	Stadtmühlenwehr Weißes Wehr	Kontrolle der Anlagen durch das LfU.
09.12.2021	Stadtmühlenwehr Weißes Wehr	Kontrolle der Anlagen durch das LfU.
16.12.2021	Stadtmühlenwehr Weißes Wehr	Kontrolle der Anlagen durch das LfU.
23.12.2021	Stadtmühlenwehr Weißes Wehr	Kontrolle der Anlagen durch das LfU.

Institut für Wasser und Boden Dr. Uhlmann
Lungkwitzer Str. 12, 01259 Dresden
Tel 0351-2709854
Fax 0351-4668800
E-Mail info@iwb-dresden.de

3.3 Eisenkonzentrationen

Die **Eisen-gesamt-Konzentration** der Spree in **Spremberg-Wilhelmsthal** (Mst. 1180) lag im Kalenderjahr 2021 in einer Bandbreite zwischen 1,4 und 19 mg/L und im arithmetischen Mittel der 361 erfassten Terminwerte bei 4,4 mg/L. Mit Ausnahme von sieben Ereignissen mit hohen Eisen-gesamt-Konzentrationen ≥ 10 mg/L im Januar, Februar, Mai und Oktober (Tabelle 4) wurden die höchsten Eisenkonzentrationen als Terminwerte in den Wintermonaten Januar und Februar 2021 sowie zu Einzelterminen im März und Mai 2021 erfasst (Bild 17). Unter sommerlichen Bedingungen sank die Eisenkonzentration auf Werte um 3,0 mg/L.

Tabelle 4: Terminwerte mit erhöhten Eisenkonzentrationen in der Spree an der Messstelle Spremberg-Wilhelmsthal (Mst. 1180) und termingleicher Durchfluss am Pegel Spremberg im Kalenderjahr 2021.

Nr.	Datum	Eisen-gesamt [mg/L]	Eisen-gelöst [mg/L]	Durchfluss [m³/s]
1	21.01.2021	12,8	0,83	10,6
2	04.02.2021	12,0	0,08	9,2
3	05.02.2021	19,1	0,22	21,5
4	06.02.2021	10,5	0,27	17,6
5	10.02.2021	19,1	0,40	10,4
6	03.05.2021	16,1	0,13	13,4
7	28.10.2021	14,5	0,23	8,5

Die sieben Ereignisse mit erhöhten Eisen-gesamt-Konzentrationen im Kalenderjahr 2021 hatten hydrometeorologische, bewirtschaftungs- oder nutzungsbedingte Ursachen (siehe auch Tabelle 3 in Kapitel 3.2). In manchen Fällen haben sich mehrere Ursachen überlagert.

Die niedrigsten Eisen-gesamt-Konzentrationen wurden während der Sommermonate bei niedrigen Durchflüssen um 8 m³/s in der Spree am Pegel Spremberg beobachtet. Die Ursachen dafür sind:

- Maßnahmen der LMBV zur Verringerung der Eisenbelastung (Kapitel 3.2),
- die Verringerung der Eiseneinträge in den Quellbereichen im Einzugsgebiet der Spree und Kleinen Spree infolge des überjährlich gesunkenen Grundwasserspiegels,
- die verlangsamte Fließgeschwindigkeit und dadurch verlängerte Fließzeit in der Spree infolge verringerter und gleichmäßiger Durchflüsse,
- eine beschleunigte Oxidation des zweiwertigen Eisens zum dreiwertigen Eisen infolge erhöhter Wassertemperaturen,
- ein erhöhter Anteil gut gepufferten Sümpfungswassers aus den Grubenwasserbehandlungsanlagen der LE-B am Durchfluss der Spree und
- die Beimischung eisenarmer Wässer aus den Speichern der LTV und LMBV.

Institut für Wasser und Boden Dr. Uhlmann
Lungkwitzer Str. 12, 01259 Dresden
Tel 0351-2709854
Fax 0351-4668800
E-Mail info@iwb-dresden.de

Die Eisen-gesamt-Konzentration in der Spree nach der **Vorsperre Bühlow** (Mst. 1190) lag zwischen 1,2 und 6,3 mg/L und im arithmetischen Mittel der Tageswerte bei 2,6 mg/L. Die höchste Eisenkonzentration trat im Zusammenhang mit einem erhöhten Durchfluss von 21,5 m³/s am 05.02.2021 auf. Bei Regelbetrieb der Wasserbehandlung im TA 1 (Bekalkung) im Januar 2021 sowie unter hochsommerlichen Verhältnissen im Juni und Juli 2021 wurde der Orientierungswert nach OGewV von 1,8 mg/L bereits nach der Vorsperre gelegentlich unterschritten. Zu rund 80 % der Messtermine im Berichtsjahr lagen die Eisenkonzentrationen zwischen 2 und 3 mg/L.

Die Eisen-gesamt-Konzentration in der Spree in **Bräsinchen** (Mst. 1200) lag im Jahr 2021 zwischen 0,1 und 1,6 mg/L und im arithmetischen Mittel der Tageswerte bei 0,5 mg/L. Das Niveau der Eisen-gesamt-Konzentration am Auslauf der Talsperre Spremberg war im Sommer 2021 mit 0,4 mg/L etwas niedriger als in den Wintermonaten mit 0,6 mg/L. Der winterhalbjährlich verringerte Eisenrückhalt in der Talsperre Spremberg ist bei vergleichbar langer Verweilzeit (vgl. Bild 11) wesentlich von der niedrigen Wassertemperatur (vgl. Bild 12) verursacht. Abweichende Befunde zu Einzelterminen bis 1,6 mg/L können zum Teil mit Funktionsproben oder Stellhandlungen am Ablaufbauwerk und mit der Unterhaltung der Staumauerdränagen der Talsperre Spremberg zeitlich in Verbindung gebracht werden.

Im neutralen Zustand (6,5 < pH < 8,0), wie er in der Spree stabil vorliegt, steht die **Eisen-gelöst-Konzentration** ausschließlich für das zweiwertige reduzierte Eisen (Klarwassereisen). Die Oxidation vom zweiwertigen zum dreiwertigen Eisen, aus dem sich das Eisenhydroxid (Trübungseisen) bildet, ist stark von der Wassertemperatur abhängig. Deshalb ist die Eisen-gelöst-Konzentration in der Spree im Winter systematisch höher als im Sommer (Bild 18). In den Wintereingangsmonaten Januar bis April und in den Winterausgangsmonaten (November und Dezember) des Jahres 2021 lagen die Eisen-gelöst-Konzentrationen in **Spremberg-Wilhelmsthal** im Mittel bei 0,8 mg/L und in den Sommermonaten Mai bis Oktober bei rund 0,2 mg/L.

Die Eisen-gelöst-Konzentration nach der **Vorsperre Bühlow** wird maßgeblich von der Wasserbehandlung beeinflusst. Die Oxidationsgeschwindigkeit des zweiwertigen Eisens ist neben der Wassertemperatur signifikant vom pH-Wert abhängig (siehe Kapitel 1). Durch die Kalkung im TA 1 wird der pH-Wert in der Spree um 0,5 bis 1,0 Einheiten erhöht. Dadurch wird die Oxidation des zweiwertigen Eisens auch bei niedrigen Wassertemperaturen stark beschleunigt. Die Eisen-gelöst-Konzentration schwankte in Abhängigkeit vom Durchfluss und von der Wasserbehandlung im TA 1 zwischen < 0,1 mg/L und 0,8 mg/L. Das arithmetische Mittel der Eisen-gelöst-Konzentration lag sowohl im Sommer- als auch im Winterhalbjahr bei 0,08 mg/L.

In der Talsperre Spremberg wird das zweiwertige Eisen durch die lange Verweilzeit und den erhöhten pH-Wert nahezu vollständig oxidiert. In der Spree in **Bräsinchen** wurden im Jahresmittel 0,04 mg/L Eisen-gelöst gemessen. Der höchste Konzentrationswert von 0,30 mg/L wurde einmalig im Mai 2021 erfasst.

Institut für Wasser und Boden Dr. Uhlmann
Lungkwitzer Str. 12, 01259 Dresden
Tel 0351-2709854
Fax 0351-4668800
E-Mail info@iwb-dresden.de

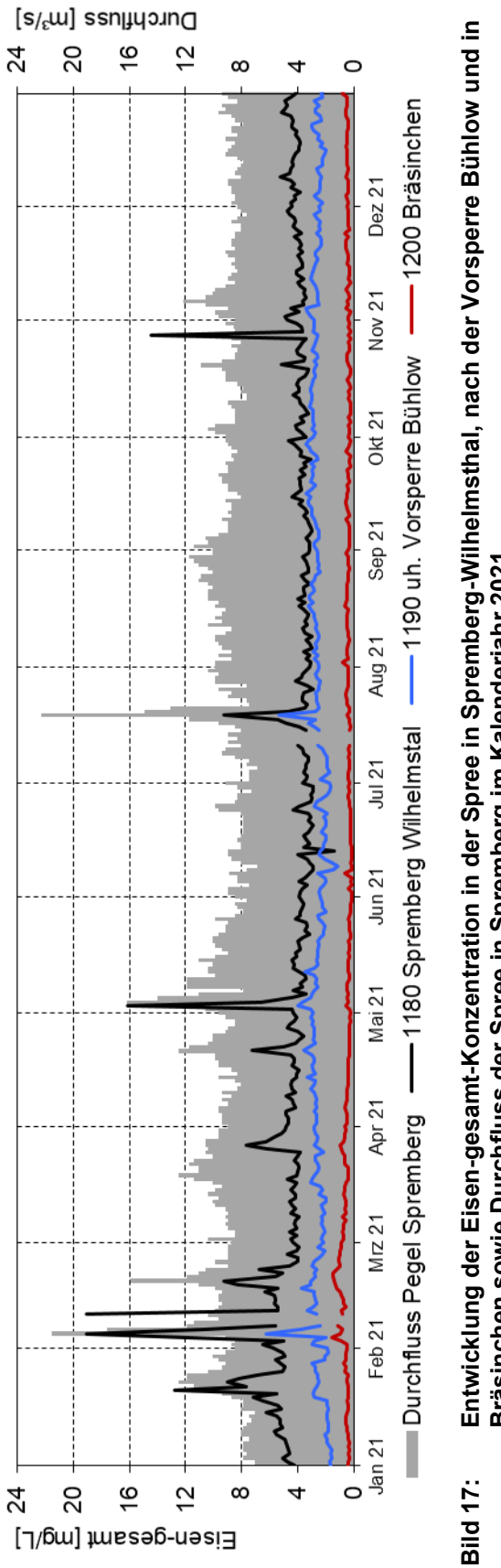

Bild 17: Entwicklung der Eisen-gesamt-Konzentration in der Spree in Spremberg-Wilhelmsthal, nach der Vorsperre Bühlow und in Bräsinchen sowie Durchfluss der Spree in Spremberg im Kalenderjahr 2021.

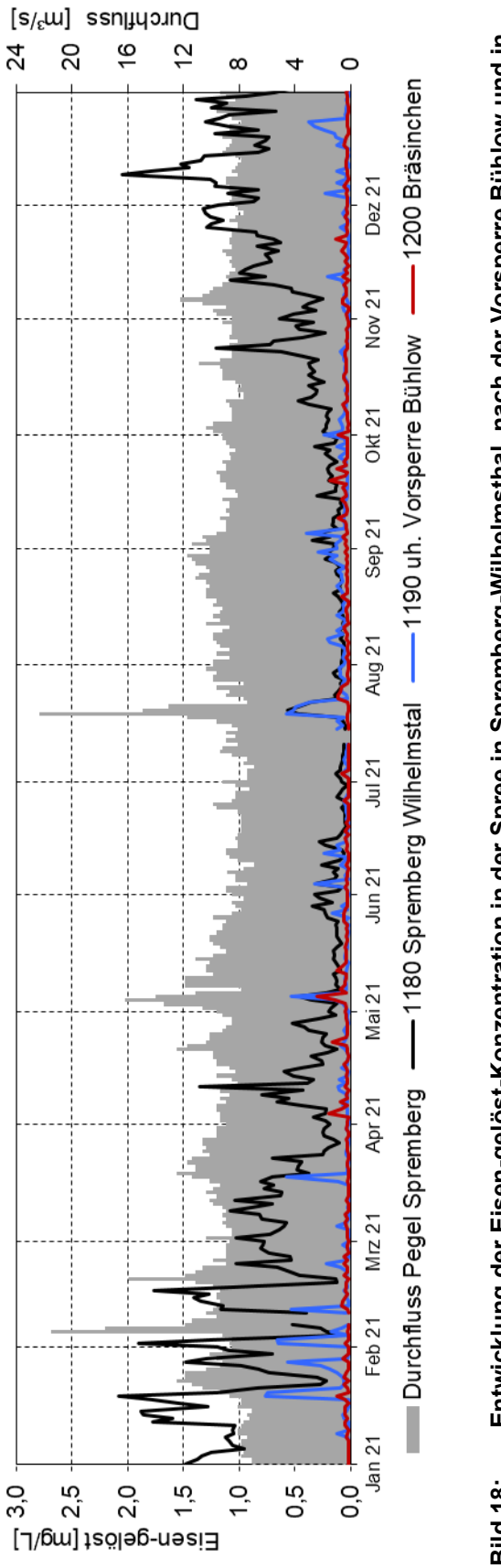

Bild 18: Entwicklung der Eisen-gelöst-Konzentration in der Spree in Spremberg-Wilhelmsthal, nach der Vorsperre Bühlow und in Bräsinchen sowie Durchfluss der Spree in Spremberg im Kalenderjahr 2021.

Institut für Wasser und Boden Dr. Uhlmann
Lungkwitzer Str. 12, 01259 Dresden
Tel 0351-2709854
Fax 0351-4668800
E-Mail info@iwb-dresden.de

Der jahreszeitliche Unterschied der Eisenbelastung kann anhand der statistischen Kennzahlen für das hydrologische Winterhalbjahr 2021[1)] und für das hydrologische Sommerhalbjahr 2021[2)] gekennzeichnet werden (Tabelle 5), wobei die definitionsgemäßen Abweichungen zwischen dem hydrologischen und dem Kalenderjahr zu berücksichtigen sind (siehe Fußnote zur Tabelle 5).

Tabelle 5: **Vergleich der sommerhalbjährlichen und winterhalbjährlichen Konzentrationswerte (in mg/L) und -spannen des Eisens an den Messstellen des Sondermonitorings für das hydrologische Jahr 2021.**

Messstelle	Hydrologisches Winterhalbjahr 2021 [1)]		Hydrologisches Sommerhalbjahr 2021 [2)]	
	Eisen-gesamt	Eisen-gelöst	Eisen-gesamt	Eisen-gelöst
1180 Spremberg-Wilhelmsthal	$\frac{\mathbf{5,4}}{[2{,}1 \dots 19]}\,(179)$	$\frac{\mathbf{0,85}}{[0{,}08 \dots 2{,}1]}\,(179)$	$\frac{\mathbf{3,8}}{[1{,}4 \dots 16]}\,(182)$	$\frac{\mathbf{0,18}}{[0{,}03 \dots 1{,}2]}\,(182)$
1190 Brücke Bühlow-Sellessen	$\frac{\mathbf{2,4}}{[1{,}4 \dots 6{,}3]}\,(179)$	$\frac{\mathbf{0,07}}{[0{,}02 \dots 0{,}77]}\,(179)$	$\frac{\mathbf{2,6}}{[1{,}2 \dots 5{,}3]}\,(182)$	$\frac{\mathbf{0,08}}{[0{,}02 \dots 0{,}58]}\,(182)$
1200 Bräsinchen	$\frac{\mathbf{0,54}}{[0{,}26 \dots 1{,}6]}\,(179)$	$\frac{\mathbf{0,04}}{[0{,}02 \dots 0{,}20]}\,(179)$	$\frac{\mathbf{0,35}}{[0{,}14 \dots 0{,}81]}\,(182)$	$\frac{\mathbf{0,04}}{[0{,}02 \dots 0{,}30]}\,(182)$

1) hydrologisches Winterhalbjahr 2021: 01.11.2020 - 30.04.2021
2) hydrologisches Sommerhalbjahr 2021: 01.05.2021 - 31.10.2021

$\frac{\textbf{arithmetisches Mittel}}{[\text{Minimum} \dots \text{Maximum}]}\,(\text{Anzahl der Messwerte})$

Der Vergleich der Dauerlinien der Tageswerte der Eisen-gelöst- und Eisen-gesamt-Konzentration für das Kalenderjahr 2021 an den Messstellen der Spree in Spremberg-Wilhelmsthal, nach der Vorsperre Bühlow und in Bräsinchen (Bild 19) kennzeichnet mittels der Flächendifferenzen zugleich den Eisenrückhalt in der Vorsperre Bühlow bzw. in der Talsperre Spremberg.

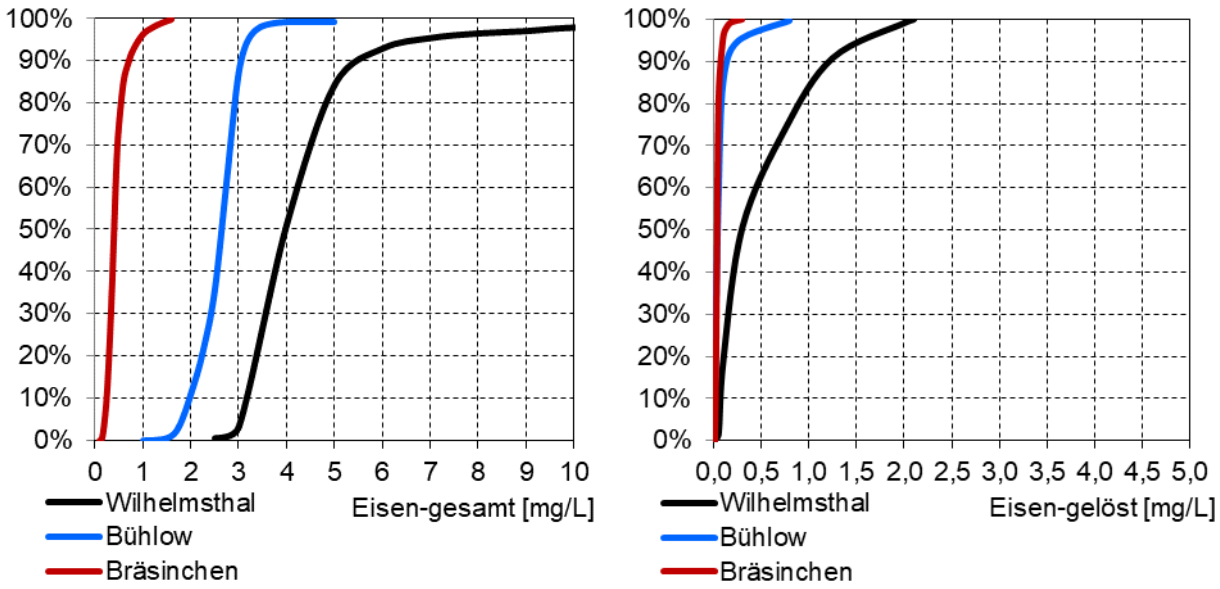

Bild 19: **Dauerlinien der Tageswerte der Eisen-gelöst- (rechts) und der Eisen-gesamt-Konzentration (links) für das Kalenderjahr 2021 an den Messstellen der Spree in Spremberg-Wilhelmsthal (schwarz), nach der Vorsperre Bühlow (blau) und in Bräsinchen (rot).**

Institut für Wasser und Boden Dr. Uhlmann
Lungkwitzer Str. 12, 01259 Dresden
Tel 0351-2709854
Fax 0351-4668800
E-Mail info@iwb-dresden.de

Ein Vergleich der arithmetischen Jahresmittelwerte der Eisen-gesamt- und Eisen-gelöst-Konzentration (schwarze Balken im Bild 20) für die Messstelle Spremberg-Wilhelmsthal zeigte zuletzt nur geringe Veränderungen der Eisenbelastung der Spree. Im aktuellen Berichtsjahr hingegen wurde trotz des höheren Durchflusses in der Spree ein deutlicher Rückgang der Eisen-gesamt- und Eisen-gelöst-Konzentration verzeichnet. Darin zeichnet sich die Wirkung der Abfangmaßnahmen an der Spree und an der Kleinen Spree ab.

Deutlich verringert haben sich im Laufe des neunjährigen Monitorings die Eisen-gelöst-Konzentrationen an der Messstelle Bühlow (blaue Balken im Bild 20) und die Eisen-gesamt-Konzentration in Bräsinchen (rote Balken in Bild 20), d. h. nach der Passage der Vorsperre bzw. der Hauptsperre. Diese vorteilhafte Entwicklung ist des Weiteren auf die Wasserbehandlung an der Vorsperre Bühlow zurückzuführen.

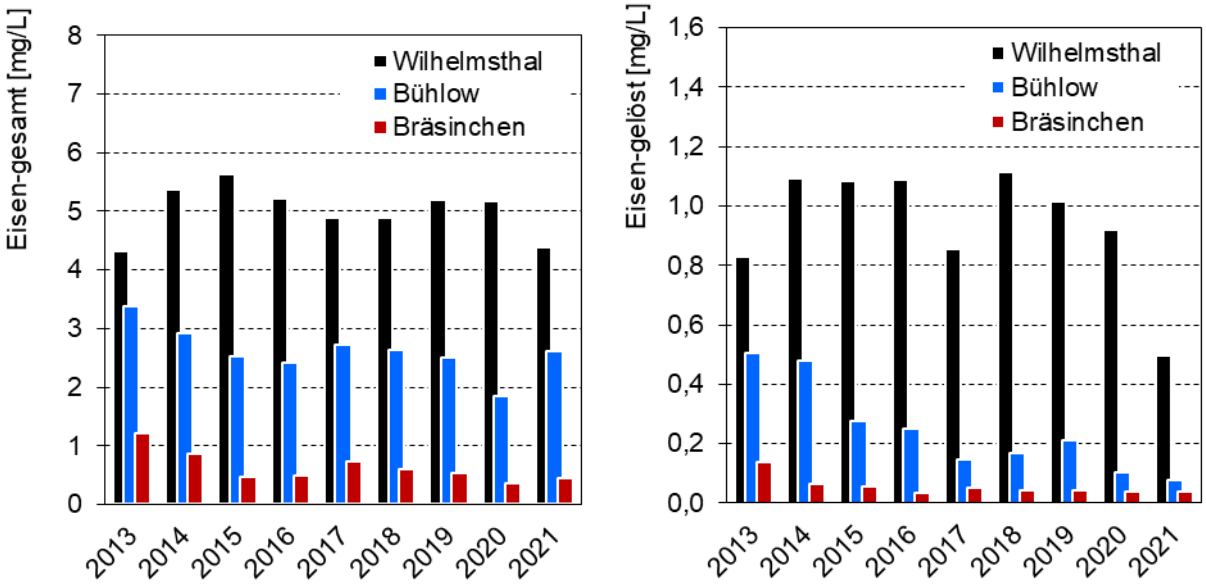

Bild 20: **Mittlere Eisen-gesamt (links) und Eisen-gelöst-Konzentrationen (rechts) an den Messstellen der Spree in Spremberg-Wilhelmsthal (schwarz), nach der Vorsperre Bühlow (blau) und in Bräsinchen (rot) für die Kalenderjahre 2013 bis 2021.**

3.4 Eisenfrachten

Aus den Tageswerten des Durchflusses der Spree an einem Pegel und der Eisen-gesamt-Konzentration an der gleichen Stelle kann die Eisenfracht berechnet werden. Sie wird für Eisen in der Maßeinheit Kilogramm pro Tag (kg/d) ausgewiesen.

In den Wintermonaten am Anfang des Jahres 2021 lag die Eisenfracht der Spree in **Spremberg-Wilhelmsthal** (Mst. 1180) um 4.000 kg/d als Tagesmittelwert (schwarze Linie in Bild 21). Ereignisbezogen betrug die Eisenfracht am 05.02.2021 in der Spitze 35.500 kg/d (Tabelle 4 in Kapitel 3.2 und Bild 21). Ab April 2021 sank die Eisenfracht in der Spree in Spremberg-Wilhelmsthal sukzessive und lag im Sommerhalbjahr in der Regel auf einem niedrigeren Niveau zwischen 2.000 und 3.000 kg/d. In dieser Phase traten ereignisbezogen Eisenfrachten bis 18.000 kg/d auf.

Institut für Wasser und Boden Dr. Uhlmann
Lungkwitzer Str. 12, 01259 Dresden
Tel 0351-2709854
Fax 0351-4668800
E-Mail info@iwb-dresden.de

Die Eisenfracht in der Spree nach der **Vorsperre Bühlow** (Mst. 1190) lag zu Beginn des Kalenderjahres 2021 überwiegend zwischen 1.000 und 3.000 kg/d als Tagesmittelwert (Bild 21). Die Eisenfracht schwankte primär in Abhängigkeit von der Stabilität der Wasserbehandlung im TA 1. Lediglich im Februar und Juli 2021 stieg die Eisenfracht im Zusammenhang mit hohen Durchflüssen in der Spree von 21,5 bzw. 22,3 m³/s und gleichzeitig hohen Eisenfrachten von 35.500 bzw. 18.000 kg/d in Spremberg-Wilhelmsthal nach der Vorsperre Bühlow einmalig auf 11.600 bzw. 10.300 kg/d. Im zweiten Quartal des Jahres 2021 sank die Eisenfracht sukzessive auf etwa 2.000 kg/d und verharrte anschließend auf diesem Niveau. Die ereignisbezogenen Anstiege der Eisenfracht in Spremberg-Wilhelmsthal wurden in der Vorsperre Bühlow so stark gedämpft, dass sie nach der Vorsperre zum Teil nicht mehr zu erkennen waren.

Im Kalenderjahr 2021 betrug die mittlere Eisenfracht am Pegel **Bräsinchen** nach der Passage der Talsperre Spremberg rund 350 kg/d. Im Februar 2021 wurden phasenweise Eisenfrachten um 1.500 kg/d erfasst (Bild 21). In diesen Phasen war der Abfluss aus der Talsperre mit 11,0 bis 19,0 m³/s hoch und die Verweilzeit in der Hauptsperre mit 11 bis 24 Tagen verhältnismäßig kurz. Der höchste Wert von 2.100 kg/d am 04.02.2021 kann außerdem mit den Funktionstests an den Grundablässen des Auslaufbauwerks zeitlich in Verbindung gebracht werden (Tabelle 4 in Kapitel 3.2). Dadurch wurden nicht konsolidierte Eisensedimente aufgewirbelt und aus der Talsperre verfrachtet. Da es sich bereits um suspendiertes Eisenhydroxid handelte, war die Reichweite der Sedimentverschleppung in der Spree kurz.

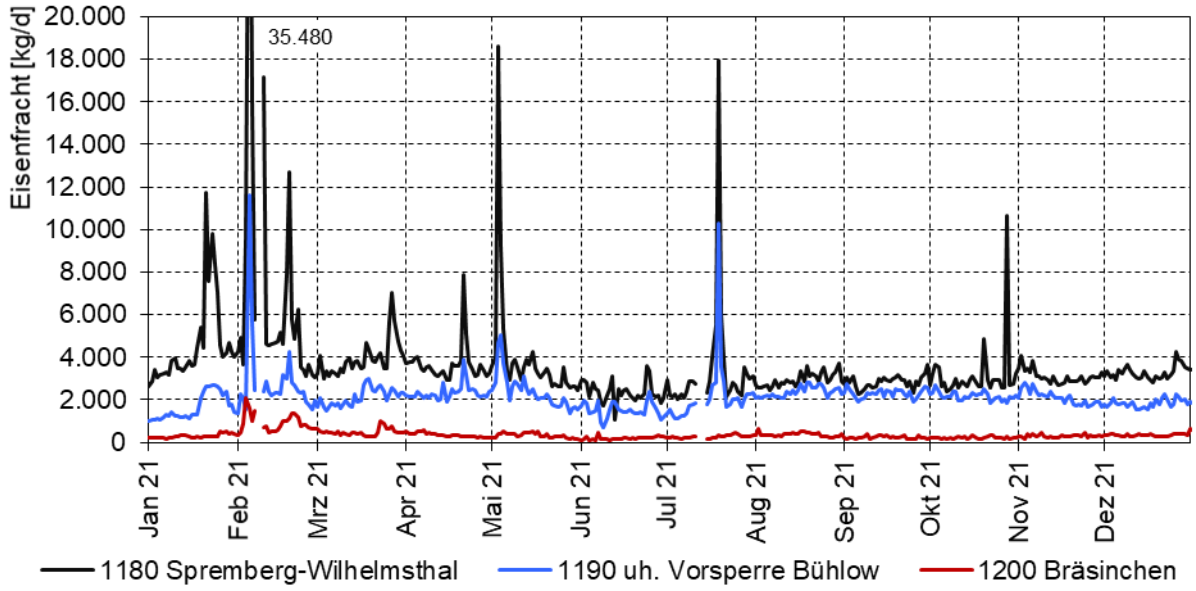

Bild 21: Entwicklung der Eisenfrachten in der Spree in Spremberg-Wilhelmsthal (schwarz), nach der Vorsperre Bühlow (blau) und in Bräsinchen (rot) im Kalenderjahr 2021.

Nachfolgend werden unterschiedliche Bilanzierungsperioden der vorliegenden Messreihe miteinander verglichen, wobei Kalenderjahre mit ähnlichen Eigenschaften zusammengefasst werden. Die Bilanzierungsperioden unterscheiden sich wie folgt (Tabelle 6).

Institut für Wasser und Boden Dr. Uhlmann
Lungkwitzer Str. 12, 01259 Dresden
Tel 0351-2709854
Fax 0351-4668800
E-Mail info@iwb-dresden.de

Tabelle 6: Besonderheiten der Bilanzierungsperioden seit dem Beginn des Sondermonitorings im Jahr 2012.

Bilanzierungsperiode	Besonderheit
2012-2013	Überwiegend ausgeglichene Jahre mit hohen Abflüssen in der Spree und zwei markanten Hochwasserereignissen.
2014	Annähernd mittlere hydrologische Bedingungen. Niedriger Stauspiegel in der Talsperre Spremberg wegen der Sanierung der Staumauer und damit deutlich verkürzte Verweilzeit.
2015-2017	Vergleichbare, annähernd mittlere hydrologische Bedingungen.
2018-2019	Vergleichbare hydrologische Bedingungen mit z. T. langanhaltenden Hitzeperioden mit erheblichem Niederschlagsdefizit. Hydrologische Niedrigwassersituation im gesamten Spreegebiet. Wirksamkeit erster Maßnahmen an der Kleinen Spree (Inbetriebnahme des 6er Brunnenriegels).
2020	Hydrometeorologische Bedingungen vergleichbar mit 2018 und 2019. Hydrologische Niedrigwassersituation im gesamten Spreegebiet. Wirksamkeit bestehender Maßnahmen an der Kleinen Spree (6er Brunnenriegel, Horizontaldränage) und an der Spree (Inbetriebnahme der MWBA Neustadt).
2021	Aktuelles Berichtsjahr Ausgeglichene klimatische Wasserbilanz. Nachlaufende Niedrigwassersituation im gesamten Spreegebiet. Abflussverhältnisse vergleichbar mit 2018 und 2019. Gesteigerte Wirksamkeit bestehender Maßnahmen an der Kleinen Spree (Inbetriebnahme und ganzjähriger Einfahrbetrieb des 10er Brunnenriegels und der MWBA Burgneudorf) und an der Spree (Regelbetrieb der MWBA Neustadt und Inbetriebnahme/Einfahrbetrieb der MWBA Ruhlmühle im 2. Halbjahr).

Für die Bilanzierungsperioden in der Tabelle 7 werden in der Tabelle 8 der Eisenrückhalt in der Vorsperre und in der Talsperre Spremberg sowie in Summe als Fracht und anteilig zum Eintrag aus der Spree in Spremberg-Wilhelmsthal (zweite und dritte Spalte in der Tabelle 7) ausgewiesen.

Tabelle 7: Mittlere Eisenfrachten in der Spree im Kalenderjahr 2021 im Vergleich zu vorhergehenden Bilanzierungsperioden.

Messstelle / Bilanzierungsperiode	1180 Spremberg-Wilhelmsthal			1190 Vorsperre Bühlow		1200 Bräsinchen	
	MQ	Eisenfracht	Anteil	Eisenfracht	Anteil	Eisenfracht	Anteil
	m³/s	kg/d		kg/d		kg/d	
2012-2013	21,7	7.999	100 %	6.546	82 %	2.252	28 %
2014	11,9	5.679	100 %	3.090	54 %	844	15 %
2015-2017	11,7	5.356	100 %	2.666	50 %	619	12 %
2018-2019	9,1	3.995	100 %	2.035	51 %	468	12 %
2020	7,3	3.543	100 %	1.195	34 %	202	6 %
2021	9,4	3.666	100 %	2.148	59 %	351	10 %

Institut für Wasser und Boden Dr. Uhlmann
Lungkwitzer Str. 12, 01259 Dresden
Tel 0351-2709854
Fax 0351-4668800
E-Mail info@iwb-dresden.de

Tabelle 8: Mittlerer Eisenrückhalt in der Vorsperre Bühlow, in der Hauptsperre und in der gesamten Talsperre Spremberg im Kalenderjahr 2021 im Vergleich zu vorhergehenden Bilanzierungsperioden.

Messstelle / Bilanzierungsperiode	Eisen-eintrag	Vorsperre		Hauptsperre		Gesamte Talsperre	
		Eisen-rückhalt	Anteil	Eisen-rückhalt	Anteil	Eisen-rückhalt	Anteil
	kg/d	kg/d		kg/d		kg/d	
2012-2013	7.999	1.453	18 %	4.293	54 %	5.746	72 %
2014	5.679	2.589	46 %	2.246	40 %	4.835	85 %
2015-2017	5.356	2.690	50 %	2.046	38 %	4.736	88 %
2018-2019	3.995	1.960	49 %	1.567	39 %	3.527	88 %
2020	3.543	2.348	66 %	993	28 %	3.341	94 %
2021	3.666	1.518	41 %	1.797	49 %	3.315	90 %

Im Unterschied zur Eisenkonzentration (Bild 20) entwickelte sich die Eisenfracht in der Spree in Spremberg-Wilhelmsthal von 2012/2013 und mit Ausnahme des Jahres 2017 bis zum Jahr 2020 rückläufig (Bild 22). Zudem konnte der Eisenrückhalt in der Vorsperre Bühlow durch die Wasserbehandlung und die Bewirtschaftung anteilig erhöht werden. Gleichzeitig wurde der Eisenrückhalt in der Hauptsperre sowohl anteilig als auch frachtbezogen verringert. Die Gründe dafür sind vielschichtig. Zum einen führten die zuletzt abflussarmen Jahre zu verringerten Stoffeinträgen aus dem Grundwasser und zu einem stärkeren Eisenrückhalt in der Spree. Zum anderen entfalteten die implementierten Maßnahmen des Eisenrückhalts (siehe Kapitel 3.2 und Tabelle 6) an der Spree und an der Kleinen Spree ihre Wirkung. Eine exakte quantitative Zuordnung der einzelnen Effekte auf die Eisenbelastung der Spree am Referenzgütepegel Zerre an der Landesgrenze Sachsen/Brandenburg ist nicht möglich.

Im aktuellen Berichtsjahr 2021 konnten die Wirksamkeit bestehender Maßnahmen an der Spree und an der Kleinen Spree erhöht und weitere Maßnahmen an der Spree (MWBA Ruhlmühle) in Betrieb genommen werden. Die mittlere Eisenfracht der Kleinen Spree lag im Kalenderjahr 2021 rund 600 kg/d niedriger als vor Inbetriebnahme der Maßnahmen. Durch die Abfangmaßnahmen wurde im Jahr 2021 erstmals ein signifikanter Rückgang der Eisenkonzentration in der Spree in Spremberg-Wilhelmsthal erreicht. Modifiziert wird die Belastungssituation jedoch durch unterschiedliche Durchflüsse in den Berichtsjahren. Aufgrund des erhöhten Durchflusses im Jahr 2021 war die mittlere Verweilzeit in der Vorsperre im Berichtsjahr etwa 20 % kürzer als im Vorjahr. Dadurch war der Eisenrückhalt in der Vorsperre trotz niedrigerer Eisenkonzentrationen (siehe Kapitel 3.3) im Berichtsjahr verringert.

Institut für Wasser und Boden Dr. Uhlmann
Lungkwitzer Str. 12, 01259 Dresden
Tel 0351-2709854
Fax 0351-4668800
E-Mail info@iwb-dresden.de

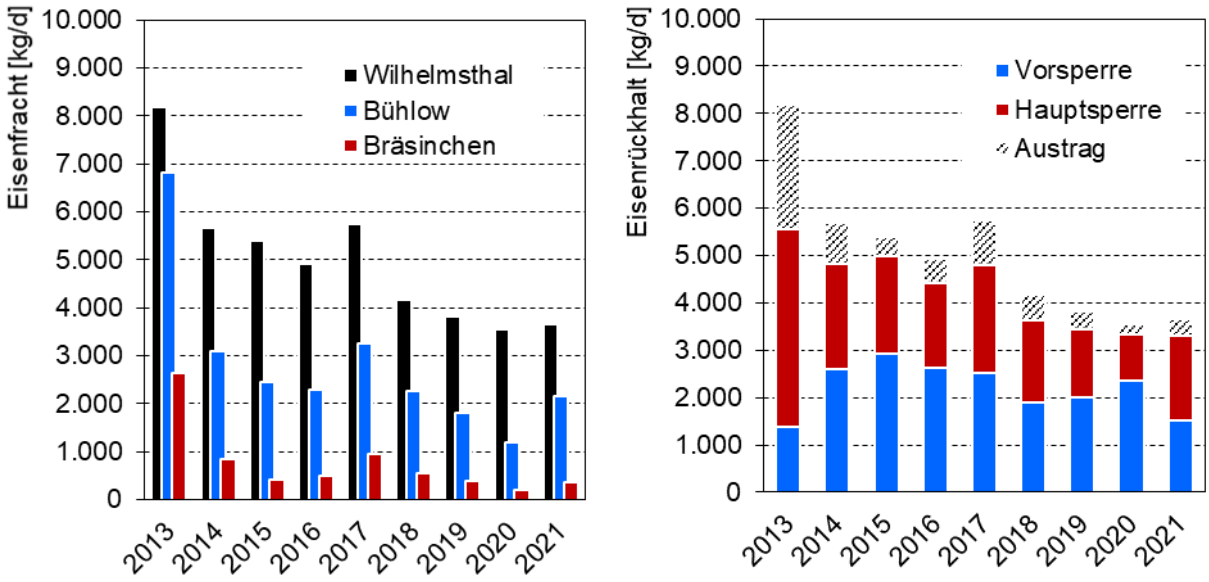

Bild 22: **Mittlere Eisenfrachten an den Messstellen der Spree in Spremberg-Wilhelmsthal (schwarz), nach der Vorsperre Bühlow (blau) und in Bräsinchen (rot) für die Kalenderjahre 2013 bis 2021 und Eisenrückhalt in den Zwischenräumen.**

Institut für Wasser und Boden Dr. Uhlmann
Lungkwitzer Str. 12, 01259 Dresden
Tel 0351-2709854
Fax 0351-4668800
E-Mail info@iwb-dresden.de

4 Wasserbehandlung an der Vorsperre Bühlow

4.1 Chronologie der Ereignisse

In der Tabelle 9 sind die wesentlichen Maßnahmen im Kalenderjahr 2021 im Zusammenhang mit der Wasserbehandlung an der Vorsperre Bühlow chronologisch aufgelistet.

Tabelle 9: Chronologie der Maßnahmen an der Spree und an der Vorsperre Bühlow im Kalenderjahr 2021.

Datum/Zeitraum	Ereignis
25.01.-08.07.2021	Betrieb des Saugspülbaggers auf der Vorsperre und Einspülen in das Sedimentationsbecken II (werktäglich Mo bis Fr jeweils 8 Stunden).
22.01.2021	Unterbrechung der FHM-Dosierung (TA 2).
25.01.-27.01.2021	Unterbrechung der Kalkung (TA 1), Anlage im manuellen Betrieb.
28.01.2021	Unterbrechung der FHM-Dosierung (TA 2).
02.02.2021	Unterbrechung der Kalkung (TA 1), Anlage im manuellen Betrieb.
26.05.2021	Unterbrechung der Kalkung (TA 1).
28.05.- 01.09.2021	Unterbrechung der Kalkung (TA 1) zur Anlagenrevision sowie Umbau der Eintragsleitungen im Zuge des Ersatzneubaues der Cantdorfer Brücke.
10.06.- 31.08.2021	Unterbrechung der FHM-Dosierung (TA 2) zur Anlagenrevision.
28.09.2021	Unterbrechung der Kalkung (TA 1).
30.09.2021	Unterbrechung der FHM-Dosierung (TA 2).
20.12.2021	Unterbrechung der Kalkung (TA 1).
24.12.-28.12.2021	Unterbrechung der FHM-Dosierung (TA 2).

Die Wasserbehandlung an der Vorsperre Bühlow besteht aus räumlich getrennten Anlagen zur Flockung (Kalkung) und zur Dosierung von Flockungshilfsmitteln (siehe Bild 1 und Kapitel 1). Tageweise Unterbrechungen des Anlagenbetriebs hatten meist betriebsbedingte Ursachen (Umrüstungen, Wartung, technische Ausfälle, Wartezeit auf Kalklieferung u. a.). Am 28.05. gingen die TA 1 und am 10.06. die TA 2 planmäßig in den Revisionsbetrieb. Der Revisionsbetrieb wird regelmäßig in den Sommermonaten durchgeführt, wenn die Eisenbelastung der Spree am geringsten und die Bedingungen für den natürlichen Eisenrückhalt in der Vorsperre Bühlow (hohe Wassertemperatur, geringer Durchfluss) am günstigsten sind. Beide Teilanlagen gingen Anfang September 2021 wieder in Betrieb.

4.2 Parameter der Wasserbehandlung

Die Dosierung des Kalkes (= Flockungsmittel) im TA 1 und des Polymers Koaret PA 3230 T (= Flockungshilfsmittel) im TA 2 erfolgte näherungsweise volumenstromspezifisch in Abhängigkeit vom Durchfluss der Spree am Pegel Spremberg. Die Kalkung erfolgte im Kalenderjahr 2021 an 261 von 365 Tagen. Die volumenspezifische Kalkdosierung im TA 1 betrug in der Betriebszeit bis 13 g/m³ und im Mittel 7,0 g/m³ (Bild 23). Die volumenspezifische FHM-Dosierung im TA 2 erfolgte im Kalenderjahr 2021 an 274 von 365 Tagen. Die volumenspezifische FHM-Dosierung im TA 2 betrug in der Betriebszeit bis 0,24 g/m³ und im Mittel 0,18 g/m³.

Institut für Wasser und Boden Dr. Uhlmann
Lungkwitzer Str. 12, 01259 Dresden
Tel 0351-2709854
Fax 0351-4668800
E-Mail info@iwb-dresden.de

4.3 Wirkung der Wasserbehandlung

Aufgrund der natürlichen Schwankungen des Durchflusses und der Eisenkonzentration in der Spree einerseits sowie der Verwendung von Tagesmittelwerten des Durchflusses und von Terminwerten der Eisenkonzentration andererseits, schwanken die berechneten Tageswerte der Eisenfracht und des Eisenrückhaltes beträchtlich. Der Nachteil der stark schwankenden Rechenwerte wird durch eine kumulative Mittelung überwunden. Die kumulative Mittelung erfolgt für definierte Bilanzierungsperioden durch eine fortlaufende Mittelung der Eisenfrachten, beginnend mit dem ersten Tag der gewählten Periode. Je länger die Bilanzierungsperiode ist, desto robuster wird der kumulative Mittelwert.

Als maßgebliche Bilanzierungsperioden für die Wasserbehandlung wurden für das Kalenderjahr 2021 anhand meteorologischer, hydrologischer und bewirtschaftungsbedingter Faktoren jahresübergreifend festgelegt (Tabelle 11):

(1) der Herbst 2020 und Winter 2020/2021 vom 15.10.2020 bis 22.02.2021,

(2) das Frühjahr 2021 vom 23.02. bis 27.05.2021,

(3) die Anlagenrevision im Sommer 2021 vom 28.05. bis 01.09.2021 und Herbst 2021 bis 19.11.2021 sowie

(4) der Winter 2021 vom 20.11. bis vorerst 31.12.2021.

In der Tabelle 10 sind die Mittelwerte der Temperatur, des Durchflusses und der Verweilzeit, die eingangs erwähnten Mastervariablen für den Eisenrückhalt, vor der Vorsperre Bühlow und nach der Hauptsperre der Talsperre in den vier Bilanzierungsperioden des Kalenderjahres 2021 gegenübergestellt.

Tabelle 10: Temperatur, Durchfluss und Verweilzeit als Leitvariablen des Eisenrückhalts vor bzw. in der Vorsperre und in der Hauptsperre Spremberg während einzelner Phasen der Wasserbehandlung im Kalenderjahr 2021.

Bilanzierungsperiode	Temperatur [°C]		Durchfluss [m³/s]		Verweilzeit [d]	
	Vor der Vorsperre Bühlow	Nach der Hauptsperre	Vor der Vorsperre Bühlow	Nach der Hauptsperre	In der Vorsperre Bühlow *)	In der Hauptsperre
15.10.2020 bis 22.02.2021	+7,9	+5,4	8,9	7,9	0,20	25,5
23.02.2021 bis 30.08.2021	+10,1	+9,1	9,9	10,1	0,18	25,8
31.08.2021 bis 19.11.2021	+15,9	+17,4	9,1	9,3	0,19	24,1
20.11.2021 bis 31.12.2021	+7,2	+4,3	8,6	9,1	0,20	25,4

*) unter der Annahme eines mittleren freien Wasservolumens von 150.000 m³

Institut für Wasser und Boden Dr. Uhlmann
Lungkwitzer Str. 12, 01259 Dresden
Tel 0351-2709854
Fax 0351-4668800
E-Mail info@iwb-dresden.de

In der Tabelle 11 sind der mittlere Eiseneintrag sowie der mittlere und anteilige Eisenrückhalt in der Vorsperre Bühlow in den vier Bilanzierungsperioden des Kalenderjahres 2021 gegenübergestellt. In Bild 24 ist der frachtbezogene Eisenrückhalt in der Vorsperre Bühlow als Tageswert und als kumulatives Mittel in den ausgewiesenen Bilanzierungsperioden dargestellt.

Tabelle 11: Eiseneintrag und Eisenrückhalt in der Vorsperre Bühlow während einzelner Phasen der Wasserbehandlung im Kalenderjahr 2021.

Bilanzierungs-periode	Kennzeichnung	Mittlerer Eintrag	Mittlerer Rückhalt	Anteiliger Rückhalt
		kg/d	kg/d	
15.10.2020 bis 22.02.2021	(1) Eisenrückhalt im Herbst 2020 und Winter 2020/2021 bei Betrieb der Wasserbehandlung	6.080	4.170	69 %
23.02.2021 bis 30.08.2021	(2) Wasserbehandlung im Frühjahr und Anlagenrevision im Sommer 2021	3.890	1.590	41 %
31.08.2021 bis 19.11.2021	(3) Eisenrückhalt im Spätsommer und Herbst 2021 bei Betrieb der Wasserbehandlung	2.960	840	28 %
20.11.2021 bis 31.12.2021	(4) Winterlicher Eisenrückhalt bei Betrieb der Wasserbehandlung	3.200	1.370	43 %

Der anteilige Eisenrückhalt in der Vorsperre Bühlow betrug in den Bilanzierungsperiode (1) bei hohen Eingangsfrachten rund 70 %. In den Bilanzierungsperioden (2) und (4) lag er um 40 %. Während der Anlagenrevision bis in den Herbst hinein (3) war der absolute und anteilige Eisenrückhalt in der Vorsperre Bühlow mit 30 % vergleichsweise niedrig, jedoch bei niedrigen Eingangskonzentrationen.

Obwohl die meteorologischen, physikalischen und chemischen Bedingungen für den Eisenrückhalt in der Sommerperiode (3) am günstigsten waren, ist die Bilanz des Eisenrückhalts in der Vorsperre erfahrungsgemäß die ungünstigste. Die Ursache liegt in der Eisenkonzentration an der Messstelle Spremberg-Wilhelmsthal, die für eine effektive Flockung zu niedrig ist. Diese Erkenntnis wird jährlich wiederholt bestätigt und liegt der Entscheidung zugrunde, die Anlagenrevision regelmäßig in der Sommerperiode durchzuführen.

Institut für Wasser und Boden Dr. Uhlmann
Lungkwitzer Str. 12, 01259 Dresden
Tel 0351-2709854
Fax 0351-4668800
E-Mail info@iwb-dresden.de

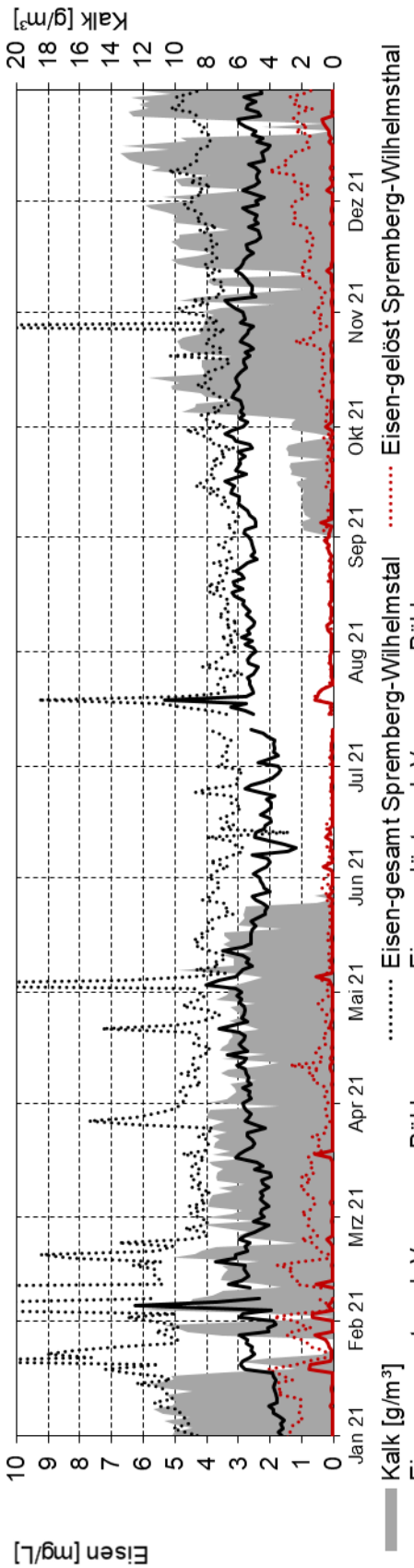

Bild 23: Entwicklung der Eisen-gesamt- und Eisen-gelöst-Konzentration in der Spree in Spremberg-Wilhelmsthal und nach der Vorsperre Bühlow sowie volumenspezifische Einsatzmengen von Kalk im Kalenderjahr 2021.

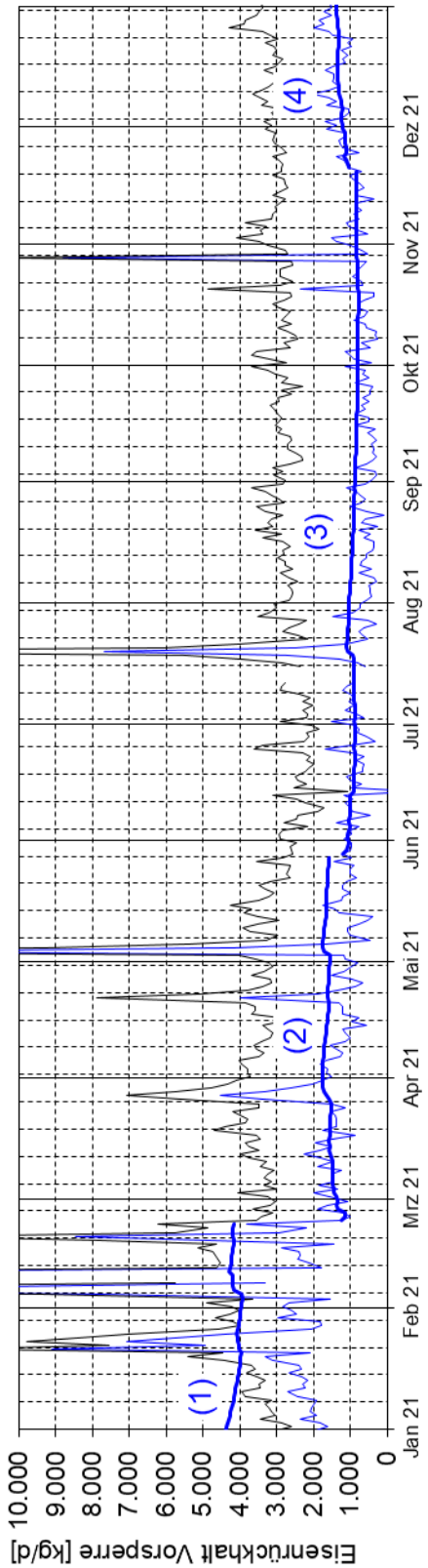

Bild 24: Entwicklung des Eisenrückhalts in der Vorsperre Bühlow als Fracht in kg/d als Tageswerte und als kumulative Mittel über definierte Perioden im Kalenderjahr 2021 (Erläuterung siehe Text und Tabelle 11).

Institut für Wasser und Boden Dr. Uhlmann
Lungkwitzer Str. 12, 01259 Dresden
Tel 0351-2709854
Fax 0351-4668800
E-Mail info@iwb-dresden.de

5 Quellenverzeichnis

[Haude 1954] Haude, W.: Zur praktischen Bestimmung der aktuellen und potentiellen Evaporation und Evapotranspiration. – Mitteilungen des deutschen Wetterdienst, Nr. 8.

[IWB 2012] Weiterführende Untersuchungen zu den hydrochemischen und ökologischen Auswirkungen der Exfiltration von eisenhaltigem, saurem Grundwasser in die Kleine Spree und in die Spree. Projektphase 2: Präzisierung der Ursachen und Quellstärken für die hohe Eisenbelastung des Grundwassers. Teil 1: Erkundung. Auftraggeber: LMBV Lausitzer und Mitteldeutsche Bergbau-Verwaltungsgesellschaft mbH Senftenberg. Institut für Wasser und Boden Dr. Uhlmann, Dresden, 30.09.2012.

[IWB 2013] Fortführung der Studie zur Talsperre Spremberg: Ausführung eines investigativen Monitorings von Eisen im Wasserkörper und im Sediment der Talsperre Spremberg zur Abschätzung der Folgen steigender Eisengehalte in der Spree im Zulauf zur Talsperre infolge des Grundwasserwiederanstieges für die Talsperre und das unterliegende Gewässersystem der Spree sowie Schlussfolgerungen für erforderliche Gegenmaßnahmen. Auftraggeber: LUGV Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz Cottbus. Institut für Wasser und Boden Dr. Uhlmann, Dresden, 20.12.2013.

[IWB 2016] Zusammenfassender Bericht für 2015 zur Eisenbelastung der Spree und der Talsperre Spremberg. Auftraggeber: LMBV Lausitzer und Mitteldeutsche Bergbau-Verwaltungsgesellschaft mbH Senftenberg. Institut für Wasser und Boden Dr. Uhlmann, Dresden, 12.02.2016.

[IWB 2017] Zusammenfassender Bericht für 2016 zur Eisenbelastung der Spree und der Talsperre Spremberg. Auftraggeber: LMBV Lausitzer und Mitteldeutsche Bergbau-Verwaltungsgesellschaft mbH Senftenberg. Institut für Wasser und Boden Dr. Uhlmann, Dresden, 31.01.2017.

[IWB 2018] Zusammenfassender Bericht für 2017 zur Eisenbelastung der Spree und der Talsperre Spremberg. Auftraggeber: LMBV Lausitzer und Mitteldeutsche Bergbau-Verwaltungsgesellschaft mbH Senftenberg. Institut für Wasser und Boden Dr. Uhlmann, Dresden, 04.03.2018.

[IWB 2019] Zusammenfassender Bericht für 2018 zur Eisenbelastung der Spree und der Talsperre Spremberg. Auftraggeber: LMBV Lausitzer und Mitteldeutsche Bergbau-Verwaltungsgesellschaft mbH Senftenberg. Institut für Wasser und Boden Dr. Uhlmann, Dresden, 20.02.2019.

[IWB 2020] Zusammenfassender Bericht für 2019 zur Eisenbelastung der Spree und der Talsperre Spremberg. Auftraggeber: LMBV Lausitzer und Mitteldeutsche Bergbau-Verwaltungsgesellschaft mbH Senftenberg. Institut für Wasser und Boden Dr. Uhlmann, Dresden, 13.03.2020.

[IWB 2021] Zusammenfassender Bericht für 2020 zur Eisenbelastung der Spree und der Talsperre Spremberg. Auftraggeber: LMBV Lausitzer und Mitteldeutsche Bergbau-Verwaltungsgesellschaft mbH Senftenberg. Institut für Wasser und Boden Dr. Uhlmann, Dresden, 26.02.2021.

[DWD 1995] Ergebnisse methodischer Untersuchungen zur Korrektur des systematischen Meßfehlers des Hellmann-Niederschlagmessers.
Berichte des Deutschen Wetterdienstes 194, Offenbach, 1995.

[OGewV 2016] Verordnung zum Schutz der Oberflächengewässer (Oberflächengewässerverordnung – OGewV) vom 20.06.2016 BGBl. I S. 1373 (Nr. 28).

[Uhlmann & Zarach 2015] Uhlmann W. und V. Zarach: Maßnahmen zur Minderung der Eisenbelastungen in der Spree im Südraum des Sanierungsbergbaus der LMBV (Gesamtkonzept Südraum). Proceedings des DGFZ e.V., Heft 51, 2015, Seite 235-248. ISSN 1430-0176.