

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



Untersuchung von Prüffällen für OWK zur Bestimmung und Abgrenzung von bergbaubedingten Stoffeinträgen

Stichtagsmessungen in der Schwarzen Elster 2021

Bestellung 2021/045 vom 05.10.2021
Projektnummer: 06/21



Schwarze Elster in Plessa nach Einmündung des Hammergrabens
(Foto: IWB, Dezember 2021)

Dresden, am 30. Juni 2022

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



Untersuchung von Prüffällen für OWK zur Bestimmung und Abgrenzung von bergbaubedingten Stoffeinträgen

Stichtagsmessungen in der Schwarzen Elster 2021

Auftraggeber: LBGR
Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe
Inselstraße 26, 03046 Cottbus

Bestellnummer: 2021/045 vom 05.10.2021

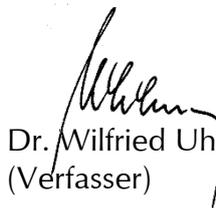
Verantwortliche: Herr Uwe Neumann
Frau Petra Fleischhammel

Auftragnehmer: Institut für Wasser und Boden Dr. Uhlmann
Lungkwitzer Straße 12, 01259 Dresden

Projektnummer: 06/21

Bearbeiter: Dr. Wilfried Uhlmann
Dipl.-Hydrologe Kai Zimmermann
Dr. Yvonne Hillecke
M. Sc. (Geografie) Robert Hiekel

Dresden, am 30. Juni 2022


Dr. Wilfried Uhlmann
(Verfasser)



Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	1
Tabellenverzeichnis	2
Bilderverzeichnis	3
Abkürzungsverzeichnis	6
Zusammenfassung	7
1 Veranlassung	10
2 Aufgabenstellung	11
3 Untersuchungsgebiet	12
4 Untersuchungskonzept	15
4.1 Methodik	15
4.2 Zeitreihe von 2015 bis 2021	15
4.3 Sondermessungen.....	18
4.3.1 Stichtagsmessung 2021	18
4.3.2 Sondermonitoring Schwarze Elster von 2019 bis 2021	23
5 Abflussverhältnisse	24
5.1 Gewässernutzer und hydrologische Zäsuren	24
5.2 Zeitreihe von 2015 bis 2021	25
5.3 Sondermessungen.....	30
5.3.1 Stichtagsmessung 2021	30
5.3.2 Sondermonitoring Schwarze Elster 2019 bis 2021	33
5.4 Ergebnisse.....	36
6 Wasserbeschaffenheit.....	38
6.1 Gewässernutzer und hydrochemische Zäsuren	38
6.2 Zeitreihe von 2015 bis 2021	38
6.2.1 Schwarze Elster zwischen Kleinkoschen und Biehlen	40
6.2.2 Schwarze Elster zwischen Biehlen und Lauchhammer.....	42
6.2.3 Schwarze Elster zwischen Lauchhammer und Elsterwerda	46
6.3 Sondermessungen.....	49
6.3.1 Stichtagsmessung 2021	49
6.3.2 Sondermonitoring Schwarze Elster von 2019 bis 2021	55
6.4 Ergebnisse.....	60
7 Evaluierung des Stoffmengenbilanzmodells	62
7.1 Grundlagen	62
7.2 Methodik	63
7.3 Bilanzknoten an der Mündung des Hammergrabens	65
7.4 Bilanzknoten der Schwarzen Elster in Plessa.....	68
7.5 Bilanzknoten der Schwarzen Elster in Lauchhammer.....	70
7.6 Ergebnisse.....	73
8 Empfehlungen	75
9 Quellenverzeichnis	76



Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Charakterisierung des Flusslaufs der Schwarzen Elster im Untersuchungsgebiet mit Angabe von Zuflüssen, Einleitern, Pegel und Gütemessstellen, Zuflüsse sind blau unterlegt.	12
Tabelle 2:	Beanspruchung der Fließgewässer bzw. ihrer oberirdischen Einzugsgebiete im Untersuchungsabschnitt der Schwarzen Elster zwischen Kleinkoschen und Elsterwerda durch den Braunkohlenbergbau.....	13
Tabelle 3:	Durchfluss- und Beschaffenheitsmessstellen in der Schwarzen Elster im Untersuchungsgebiet zwischen Kleinkoschen und Elsterwerda.	17
Tabelle 4:	Durchfluss- und Beschaffenheitsmessstellen in relevanten Zuflüssen und Einleitern im Untersuchungsgebiet der Schwarzen Elster zwischen Kleinkoschen und Elsterwerda.	18
Tabelle 5:	Durchfluss- und Beschaffenheitsmessstellen der Stichtagsmessungen im Untersuchungsgebiet der Schwarzen Elster. Die Zuflüsse sind blau unterlegt. Weitere Zuflüsse zu den Zuflüssen sind grün unterlegt.	19
Tabelle 6:	Chronologie der durchgeführten Messungen.	20
Tabelle 7:	Mündungsnahе Durchfluss- und Beschaffenheitsmessstellen im Hauptschradengraben und im Großthiemig-Grödener Binnengraben im Rahmen der Untersuchungen zu den Prüffällen 2021 [IWB 2022].	20
Tabelle 8:	Messtermine der Durchfluss- und Beschaffenheitsmessstellen im Hauptschradengraben und im Großthiemig-Grödener Binnengraben.	20
Tabelle 9:	Untersuchungsumfang der Wasserproben für die Messkampagnen und Monitorings im Rahmen der vorliegenden Untersuchungen.	22
Tabelle 10:	Durchfluss- und Beschaffenheitsmessstellen des LMBV-Sondermonitorings zur Schwarzen Elster.	24
Tabelle 11:	Hydrologische und hydrochemische Zäsuren im EZG der Schwarzen Elster (SE) zwischen Kleinkoschen und Elsterwerda zwischen 2012 und 2021.....	25
Tabelle 12:	Gemessene Durchflüsse der SGL mit dem QLiner [m ³ /s] im Vergleich mit den amtlichen Meldedaten des LfU an den drei Stichtagen im Jahr 2021.....	30
Tabelle 13:	Durchfluss [m ³ /s] in der Schwarzen Elster und in den Zuflüssen im Gebiet zwischen Biehlen und Kahla zu drei Stichtagen im Jahr 2021.	32
Tabelle 14:	Durchfluss [m ³ /s] in der Schwarzen Elster und in den Zuflüssen im Gebiet zwischen Lauchhammer und Elsterwerda an sechs Stichtagen im Jahr 2021. Die LfU-Pegelwerte sind Tagesmittelwerte.	33
Tabelle 15:	Statistische Kennwerte des Durchflusses am Bilanzknoten Hammergraben auf der Grundlage monatlicher Terminwerten zwischen 2019 und 2021.	33
Tabelle 16:	Hydrochemische Zäsuren im EZG der Schwarzen Elster zwischen Kleinkoschen und Elsterwerda 2015 bis 2021.	38
Tabelle 17:	Statistische Kennzahlen der Wasserbeschaffenheit der Schwarzen Elster und relevanter Zuflüsse zur Schwarzen Elster. Die Zuflüsse sind blau unterlegt. Daten von 2015 bis 2021. Quelle: LMBV und LfU.	39
Tabelle 18:	Ergebnisse der Stichtagsmessungen 2021 für den pH-Wert und K _{S4,3} im EZG der Schwarzen Elster zwischen Brieske und Kahla; Zuflüsse sind blau unterlegt; Zuflüsse zu Nebenfließen sind grün unterlegt.....	51
Tabelle 19:	Ergebnisse der Stichtagsmessungen 2021 für Eisen-gesamt und Sulfat im EZG der Schwarzen Elster zwischen Brieske und Kahla; Zuflüsse sind blau unterlegt; Zuflüsse zu Nebenfließen sind grün unterlegt.....	51



Tabelle 20:	Ergebnisse der Stichtagsmessungen 2021 für den pH-Wert im Hauptschradengraben und im Großthiemig-Grödener Binnengraben (Die Zuflüsse sind blau unterlegt).	54
Tabelle 21:	Ergebnisse der Stichtagsmessungen 2021 für $K_{S4,3}$ im Hauptschradengraben und im Großthiemig-Grödener Binnengraben (Die Zuflüsse sind blau unterlegt).	55
Tabelle 22:	Ergebnisse der Stichtagsmessungen 2021 für Eisen-gesamt im Hauptschradengraben und im Großthiemig-Grödener Binnengraben (Die Zuflüsse sind blau unterlegt).	55
Tabelle 23:	Ergebnisse der Stichtagsmessungen 2021 für Sulfat im Hauptschradengraben und im Großthiemig-Grödener Binnengraben (Die Zuflüsse sind blau unterlegt).	55
Tabelle 24:	Phasen der Versauerung in der Schwarzen Elster (SE) in Kahla mit pH-Werten $pH < 6$ von 2019 bis 2021 sowie hydrochemische Kennwerte im Hammergraben (HG) (Messstelle 40.539) im entsprechenden Zeitraum.....	56
Tabelle 25:	Statistische Kennzahlen der Wasserbeschaffenheit in der Schwarzen Elster und im Hammergraben und dessen Zuflüsse. Die Zuflüsse zur Schwarzen Elster sind blau unterlegt. Die Zuflüsse zum Hammergraben sind grün hinterlegt. Daten von 2019 bis 2021, Quelle: LMBV und LfU.	58
Tabelle 26:	Eingangssignale des Stoffmengenbilanzmodells der Schwarzen Elster zwischen Kleinkoschen und Plessa.	63
Tabelle 27:	Eingangssignale des Stoffmengenbilanzmodells der Schwarzen Elster den zugeordneten Durchfluss- und Beschaffenheitsmessstellen mit Angaben zur Datendichte.	64
Tabelle 28:	Empfehlungen für Schwellenwerte zur Prognose der Versauerung der Schwarzen Elster.	74

Bilderverzeichnis

Bild 1:	Untersuchungsgebiet der Schwarzen Elster zwischen Kleinkoschen und Elsterwerda mit den relevanten hydrologischen Einzugsgebieten und Beschaffenheitsmessstellen der Schwarzen Elster.	14
Bild 2:	Messstellen und Pegel im EZG der Schwarzen Elster zwischen Kleinkoschen und Elsterwerda zur Auswertung der langjährigen Datenreihen.	16
Bild 3:	Lage der Fließgewässermessstellen in der Schwarzen Elster (rot) und in den Zuflüssen (grün) im Rahmen der Stichtagsmessung 2021.	21
Bild 4:	Lage der Messstellen des Sondermonitorings Schwarzen Elster der LMBV.	23
Bild 5:	Einleitmengen aus der GWRA Rainitz (rot) und aus dem Speicherbecken Niemtsch (grün) in die Schwarze Elster (Darstellung gestapelt) im Vergleich mit den Durchflüssen der Schwarzen Elster am Pegel Kleinkoschen 3 (blaugrau) und am Pegel Biehlen 1 (schwarze Linie) im Zeitraum von 2015 bis 2021.	26
Bild 6:	Durchfluss der Schwarzen Elster am Pegel Biehlen 1 und der Rainitz am Pegel Sedlitz sowie der Anteil der Rainitz am Durchfluss der Schwarzen Elster in Biehlen im Zeitraum von 2015 bis 2021.....	27
Bild 7:	Einleitmengen aus der GWRA Pößnitz, der Kläranlage BASF und aus dem RL 28 in die Schwarze Elster (Darstellung gestapelt) sowie Durchfluss der Schwarzen Elster am Pegel Biehlen 1 im Vergleich mit dem Durchfluss der Schwarzen Elster am Pegel Lauchhammer im Zeitraum von 2015 bis 2021.	27
Bild 8:	Durchfluss der Schwarzen Elster am Pegel Lauchhammer und der Pößnitz am Pegel Schwarzheide Ost sowie Anteil der Pößnitz am Durchfluss in Lauchhammer im Zeitraum von 2015 bis 2021.....	28
Bild 9:	Durchfluss der Schwarzen Elster am Pegel Lauchhammer und des Hammergrabens am Pegel Plessa 2 (Darstellung gestapelt) im Zeitraum von 2015 bis 2021.	29



Bild 10:	Durchfluss der Schwarzen Elster am Pegel Lauchhammer und des Hammergrabens am Pegel Plessa 2 sowie der Anteil des Hammergrabens am Durchfluss in Kahla im Zeitraum von 2015 bis 2021.	29
Bild 11:	Schwarze Elster in Lauchhammer (links) und in Kahla (rechts) am 31.08.2021, Foto: IWB Dresden.....	31
Bild 12:	Monatliche Terminwerte des Durchflusses im Hammergraben an der Elstermühle (Mst. 40.509) und der Zuflüsse aus dem Hammergraben im Oberlauf (Mst. 40.518), dem Floßgraben (Mst. 40.511) und dem Plessa-Dolsthaidaer Binnengraben (Mst. 40.519) (gestapelt) in den Jahren 2019 bis 2021.	34
Bild 13:	Gemessener Durchfluss im Hammergraben an der Elstermühle (Mst. 40.509) und des Floßgrabens in Plessa (Mst. 40.511) sowie rechnerisch ermittelter Anteil des Floßgrabens am Durchfluss im Hammergraben an der Elstermühle auf der Grundlage wöchentlicher Terminwerte im Zeitraum von 2019 bis 2021.	35
Bild 14:	Vergleich der an der LMBV-Messstelle 40.509 als Terminwerte gemessenen und der am LfU-Pegel Plessa 2 termingleich aufgezeichneten Tagesmittelwerte der Durchflusswerte im Hammergraben an der Elstermühle. Wöchentliche Terminwerte 2021.....	36
Bild 15:	pH-Wert in der Schwarzen Elster in Kleinkoschen und in Biehlen, in der Rainitzta und im Ableiter Senftenberger See sowie Durchfluss der Schwarzen Elster an den Pegeln Kleinkoschen 3 (UP) und Biehlen 1.	40
Bild 16:	Alkalinität als $K_{S4,3}$ in der Schwarzen Elster in Kleinkoschen und in Biehlen, in der Rainitzta und im Ableiter Senftenberger See sowie Durchfluss der Schwarzen Elster an den Pegeln Kleinkoschen 3 (UP) und Biehlen 1.....	40
Bild 17:	Sulfatkonzentration in der Schwarzen Elster in Kleinkoschen und in Biehlen, in der Rainitzta und im Ableiter Senftenberger See sowie Durchfluss in der Schwarzen Elster am Pegel Kleinkoschen 3 (UP) und Biehlen 1.....	41
Bild 18:	pH-Wert in der Schwarzen Elster in Schwarzheide und Ruhland, in der Pößnitz und am Ableiter der Kläranlage BASF Schwarzheide sowie der Durchfluss der Schwarzen Elster am Pegel Lauchhammer.....	43
Bild 19:	Alkalinität $K_{S4,3}$ in der Schwarzen Elster in Schwarzheide und Ruhland, in der Pößnitz sowie Durchfluss der Schwarzen Elster am Pegel Lauchhammer. Die $K_{S4,3}$ wird in der Kläranlage BASF Schwarzheide nicht erhoben.....	43
Bild 20:	Sulfatkonzentration in der Schwarzen Elster in Schwarzheide und Ruhland, in der Pößnitz und im Ableiter der Kläranlage BASF Schwarzheide sowie Durchfluss der Schwarzen Elster am Pegel Lauchhammer.....	44
Bild 21:	Eisen-gesamt in der Schwarzen Elster zwischen Schwarzheide und Ruhland, in der Pößnitz und der Kläranlage BASF Schwarzheide sowie Durchfluss der Schwarzen Elster am Pegel Lauchhammer.....	44
Bild 22:	pH-Wert in der Schwarzen Elster in Ruhland und Lauchhammer sowie im Ausleiter RL 28 und im Ruhlander Schwarzwasser sowie Durchfluss der Schwarzen Elster am Pegel Lauchhammer.	45
Bild 23:	Alkalinität $K_{S4,3}$ in der Schwarzen Elster in Ruhland und Lauchhammer sowie im Ausleiter RL 28 und im Ruhlander Schwarzwasser sowie Durchfluss der Schwarzen Elster am Pegel Lauchhammer.	46
Bild 24:	Sulfatkonzentration in der Schwarzen Elster in Ruhland und Lauchhammer sowie im Ausleiter RL 28 und im Ruhlander Schwarzwasser sowie Durchfluss der Schwarzen Elster am Pegel Lauchhammer.....	46
Bild 25:	pH-Wert in der Schwarzen Elster in Lauchhammer und in Elsterwerda, im Hammergraben, im Hauptschradengraben, im Großthiemig-Grödener Binnengraben sowie Durchfluss der Schwarzen Elster am Pegel Lauchhammer.	47



Bild 26:	Alkalinität als $K_{S4,3}$ in der Schwarzen Elster in Lauchhammer und Elsterwerda, im Hammergraben, im Hauptschradengraben, im Großthiemig-Grödener Binnengraben sowie Durchfluss der Schwarzen Elster am Pegel Lauchhammer.	47
Bild 27:	Sulfatkonzentration in der Schwarzen Elster in Lauchhammer und Elsterwerda, im Hammergraben, im Hauptschradengraben, im Großthiemig-Grödener Binnengraben sowie Durchfluss der Schwarzen Elster am Pegel Lauchhammer.	48
Bild 28:	Eisen-gesamt in der Schwarzen Elster in Lauchhammer und Elsterwerda sowie Durchfluss der Schwarzen Elster am Pegel Lauchhammer. Eisen-gesamt im Hammergraben. Im Hauptschradengraben und im Großthiemig-Grödener Binnengraben wird Eisen nicht erhoben.	49
Bild 29:	Längsprofil des pH-Wertes im Untersuchungsabschnitt der Schwarzen Elster zu den Stichtagsmessungen.	52
Bild 30:	Längsprofil der Säurekapazität $K_{S4,3}$ im Untersuchungsabschnitt der Schwarzen Elster zu den Stichtagsmessungen.	53
Bild 31:	Längsprofil der Eisen-gesamt-Konzentration im Untersuchungsabschnitt der Schwarzen Elster zu den Stichtagsmessungen.	53
Bild 32:	Längsprofil der Sulfatkonzentration im Untersuchungsabschnitt der Schwarzen Elster zu den Stichtagsmessungen.	54
Bild 33:	pH-Wert im Hammergraben an der Elstermühle, im Floßgraben, im Plessa-Dolsthaidaer Binnengraben und im Oberlauf des Hammergrabens sowie Durchfluss im Hammergraben am Pegel Plessa 2.	56
Bild 34:	$K_{S4,3}/K_{B4,3}$ im Hammergraben an der Elstermühle, im Floßgraben, im Plessa-Dolsthaidaer Binnengraben und im Oberlauf des Hammergrabens sowie Durchfluss im Hammergraben am Pegel Plessa 2.	57
Bild 35:	Sulfat im Hammergraben an der Elstermühle, im Floßgraben, im Plessa-Dolsthaidaer Binnengraben und im Oberlauf des Hammergrabens sowie Durchfluss im Hammergraben am Pegel Plessa 2.	57
Bild 36:	pH-Wert in der Schwarzen Elster an der Elstermühle und in Kahla, im Hammergraben und Floßgraben in Plessa sowie anteiliger Durchfluss des Hammergrabens am Durchfluss der Schwarzen Elster in Kahla.	59
Bild 37:	Säurekapazität in der Schwarzen Elster an der Elstermühle und in Kahla, im Hammergraben und Floßgraben in Plessa sowie anteiliger Durchfluss des Hammergrabens am Durchfluss der Schwarzen Elster in Kahla. Die gestrichelten Linien sind Schwellenwerte im jeweiligen Fließ, deren Unterschreitung zur Versauerung der Schwarzen Elster in Kahla führt.	59
Bild 38:	Sulfat in der Schwarzen Elster an der Elstermühle und in Kahla, im Hammergraben und Floßgraben in Plessa sowie anteiliger Durchfluss des Hammergrabens am Durchfluss der Schwarzen Elster in Kahla.	60
Bild 39:	Eisen-gesamt in der Schwarzen Elster an der Elstermühle und in Kahla, im Hammergraben und im Floßgraben in Plessa sowie anteiliger Durchfluss des Hammergrabens am Durchfluss der Schwarzen Elster in Kahla.	60
Bild 40:	Struktur des Stoffmengenbilanzmodells der Schwarzen Elster zwischen Kleinkoschen und Plessa.	62
Bild 41:	Schema des Bilanzknotens „Mündung Hammergraben“ mit den zugeordneten Durchflussmessstellen (blau) und Beschaffenheitsmessstellen (grün) (Beschreibung der Messstellen siehe Tabelle 27).	66
Bild 42:	Vergleich der gemessenen und der bilanzierten Werte des Durchflusses (oben links), der Sulfatkonzentration (oben rechts), der Eisen-II-Konzentration (unten links) und der Säure-/Basenkapazität bei pH=4,3 (unten rechts) am Bilanzknoten „Mündung Hammergraben“ (die Basenkapazität $K_{B4,3}$ wird negativ dargestellt).	67



Bild 43:	Schema des Bilanzknotens „Schwarze Elster in Plessa“ mit den Eingangssignalen und den zugeordneten Durchflussmessstellen (blau) und Beschaffenheitsmessstellen (grün). Beschreibung der Messstellen in der Tabelle 27.	68
Bild 44:	Vergleich der gemessenen und bilanzierten Werte der Sulfatkonzentration (oben rechts), der Eisen-II-Konzentration (unten links) und der Säure- bzw. Basenkapazität bei pH=4,3 (unten rechts) am Bilanzknoten „Schwarze Elster in Plessa“ (die Basenkapazität $K_{B4,3}$ wird negativ dargestellt).	69
Bild 45:	Schema des Bilanzknotens „Schwarze Elster in Lauchhammer“ mit den Eingangssignalen und den zugeordneten Durchflussmessstellen (blau) und Beschaffenheitsmessstellen (grün). Beschreibung der Messstellen in der Tabelle 27.	71
Bild 46:	Vergleich der gemessenen und bilanzierten Werte des Durchflusses (oben links), der Sulfatkonzentration (oben rechts), der Eisen-II-Konzentration (unten links) und der Säure- bzw. Basenkapazität bei pH=4,3 (unten rechts) am Bilanzknoten „Schwarze Elster in Lauchhammer“. Die Basenkapazität $K_{B4,3}$ wird mit negativem Vorzeichen dargestellt.	73

Abkürzungsverzeichnis

ADC	Acoustic Digital Current Meter
BASF	BASF Schwarzheide GmbH, 100-prozentiges Tochterunternehmen der BASF SE Ludwigshafen am Rhein (Badische Anilin- und Soda-fabrik)
EUGAL	European Gas Pipeline Link
EZG	Einzugsgebiet
FiBr	Filterbrunnen
gIR	Gerstgraser Ingenieurbüro für Renaturierung, Cottbus
GWRA	Grubenwasserreinigungsanlage
HG	Hammergraben
HW	Hochwasser
IWB.....	Institut für Wasser und Boden Dr. Uhlmann, Dresden
KA.....	Kläranlage
LBGR.....	Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe
LfU.....	Landesamt für Umwelt Brandenburg
LMBV.....	Lausitzer und Mitteldeutsche Bergbau-Verwaltungsgesellschaft mbH
MHM.....	Montanhydrologisches Monitoring, Werkstandard der LMBV
MW	Mittelwasser
NW	Niedrigwasser
OWK.....	Oberflächenwasserkörper, Begriff nach WHG
RL.....	Restloch
SE.....	Schwarze Elster
SGL	Spezial- und Bergbau-Servicegesellschaft Lauchhammer mbH
STM.....	Stichtagsmessung
UP	Unterpegel
WH	Wasserhaltung
WHG.....	Wasserhaushaltsgesetz



Zusammenfassung

- (1) Die hydrochemische Situation in der Schwarzen Elster im Mündungsbereich des Hammergrabens bei Plessa ist weiterhin kritisch. In der Schwarzen Elster sind in den vergangenen drei Jahren wiederholt Versauerungsschübe mit ökologischen Schädwirkungen bis hin zu Fischsterben aufgetreten. Als wesentliche Ursache der Versauerungsschübe wurden die sauren Zuflüsse aus dem Sanierungsbergbau der LMBV über den Floß- und Hammergraben identifiziert.
- (2) Von der LMBV wurden zahlreiche Maßnahmen geprüft, um weitere Versauerungsschübe zu vermeiden. Dazu gehörten ein zeitweiliger Wasserrückhalt im System der Kleinen Restlochkette zur Überbrückung von Niedrigwassersituationen in der Schwarzen Elster, eine Teilneutralisation des Floßgrabens durch eine Inlake-Wasserbehandlung im RL 112, ein Sondermonitoring zur Schwarzen Elster und ein einfaches bilanzierendes Prognosetool auf der Basis von Microsoft EXCEL. Alle Maßnahmen erwiesen sich als begrenzt tauglich.
- (3) Zur Erfassung weiterer, bisher nicht erkannter Einflüsse auf die Schwarze Elster zwischen Biehlen und Plessa/Kahla wurden im Rahmen der vorliegenden Bearbeitung eine vertiefende Gebietserkundung und Stichtagsmessungen durchgeführt, Sondermonitorings der LMBV und Datenreihen des LfU zum Durchfluss und zur Wasserbeschaffenheit der Schwarzen Elster zwischen Kleinkoschen und Elsterwerda ausgewertet und das bestehende Stoffmengenbilanzmodell für verschiedene Bilanzknoten getestet.
- (4) Die Schwarze Elster ist im Abschnitt zwischen Kleinkoschen und der Einmündung des Hammergrabens nicht versauerungsdisponiert. Die Einmündung aus dem Speicher Niemtsch, aus der GWRA Rainitz, aus der GWRA Pößnitz und aus dem RL 28 wirken zwar alkalinitätsmindernd, aber nicht versauernd.
- (5) Die zeitweise Versauerung der Schwarzen Elster ist auf den Abschnitt stromunterhalb der Einmündung des Hammergrabens begrenzt. Vor der Inbetriebnahme der Wasserbehandlung im RL 112 im Juli 2020 war die Schwarze Elster während der Sommermonate von längeren Versauerungsphasen betroffen. Die Versauerung drang bis Elsterwerda vor und lies sich auf ein ungünstiges Mischungsverhältnis der Schwarzen Elster und des Hammergrabens Plessa zurückführen. Seit der Inbetriebnahme der Wasserbehandlung im RL 112 treten die Versauerungsschübe nur noch kurzzeitig auf und reichen nur noch bis Kahla.
- (6) Vor Elsterwerda mündet der Hauptschradengraben in die Schwarze Elster. Das Fließ ist schwach sauer und versauert während der Sommermonate regelmäßig. Der Hauptschradengraben wirkt auf die Schwarze Elster im Gewässerabschnitt zwischen Lauchhammer und Elsterwerda zusätzlich alkalinitätsmindernd.
- (7) Die Versauerungsschübe in der Schwarzen Elster stehen in erster Linie in Verbindung mit hohen Aciditäten $K_{B4,3} > 1,5$ mmol/L im Hammergraben in Plessa bzw. $K_{B4,3} > 3,0$ mmol/L im Unterlauf des Floßgrabens nach Ausmündung aus dem RL 112. Die Einleitung des Wassers aus der Bauwasserhaltung der WBA Plessa ist vom Mengenverhältnis her nicht relevant.



- (8) Im Ergebnis von drei Stichtagsmessungen des Durchflusses in der Schwarzen Elster ergaben sich Differenzen des Durchflusses zwischen dem Pegel Lauchhammer und der Messstelle in Kahla. Der gemessene Durchfluss in Kahla war systematisch etwa $0,7 \text{ m}^3/\text{s}$ niedriger als der bilanzierte. Die Abweichung konnte bislang nicht aufgeklärt werden.
- (9) Im Rahmen des Sondermonitorings Schwarze Elster der LMBV wird der Durchfluss am Pegel Plessa 2 im Hammergraben wöchentlich gemessen. Der Vergleich mit den entsprechenden Tagesmittelwerten des LfU zeigte teilweise beträchtliche Abweichungen bis 30 % in beide Richtungen.
- (10) Auftragsgemäß wurde geprüft, inwieweit das im Jahr 2019 entwickelte konservative Stoffmengenbilanzmodell für die Prognose der Versauerung der Schwarzen Elster geeignet ist. Zu diesem Zweck wurden die Wassermengen- und Stoffmengenbilanzen an den drei Bilanzknoten Hammergraben in Plessa, Schwarze Elster in Lauchhammer und Schwarze Elster in Kahla auf der Grundlage der verfügbaren Messdaten ermittelt und bewertet.
- (11) Der Bilanzknoten Hammergraben in Plessa vereint die Volumen- und Stoffströme aus dem Oberlauf des Hammergrabens, dem Floßgraben und dem Plessa-Dolsthaidaer Binnengraben. Für die Modellprüfung wurden die taggleichen Messdaten des Sondermonitorings der LMBV verwendet. Die mit dem Modell für die Mündung des Hammergrabens bilanzierten Durchflüsse und Stoffkonzentrationen stimmen gut mit den Messwerten überein.
- (12) Der Bilanzknoten Kahla an der Schwarzen Elster vereint die Volumen- und Stoffströme aus dem Oberstrom der Schwarzen Elster, die durch den Pegel Lauchhammer gekennzeichnet werden können, sowie dem Hammergraben, siehe These (11). Bei Verwendung der taggleichen Messwerte des Sondermonitorings der LMBV kann die gemessene Wasserbeschaffenheit der Schwarzen Elster mit ausreichender Genauigkeit bilanziert werden. Die Versauerung der Schwarzen Elster wird, bedingt durch einen vereinfachten hydrochemischen Bilanzierungsansatz, allerdings geringfügig unterschätzt.
- (13) Der Bilanzknoten Lauchhammer an der Schwarzen Elster vereint die Volumen- und Stoffströme aus dem Oberstrom der Schwarzen Elster am Wehr Kleinkoschen zuzüglich der Einmündungen bzw. Einleitungen aus der Raintza, dem Speicher Niemtsch, der Pößnitz, dem Biehlener Binnengraben, dem Ruhlander Schwarzwasser und dem RL 28. Im Unterscheid zu den Bilanzknoten Hammergraben in Plessa und Schwarze Elster in Kahla lagen für den Bilanzknoten der Schwarzen Elster in Lauchhammer keine taggleichen Messwerte vor. Die Eingangssignale des Bilanzknotens wurden nach verschiedenen Methoden aus den verfügbaren Monitoringdaten näherungsweise abgeleitet. Die Modellergebnisse weisen aufgrund der ungünstigen Datenlage entsprechend große Unschärfen auf. Die derzeitige Datenlage ist nicht geeignet, valide Sensitivitätsbetrachtungen im Einzugsgebiet der Schwarzen Elster zum Zweck der Steuerung der Wasserbeschaffenheit am Pegel Lauchhammer durchzuführen.



- (14) Die Versauerung der Schwarzen Elster nach der Einmündung des Hammergrabens kann mit dem Stoffmengenbilanzmodell für den Bilanzknoten Schwarze Elster in Plessa nur bei Vorliegen taggleicher Messwerte der beteiligten Bilanzglieder hinreichend genau prognostiziert werden. Mit dem Stoffmengenbilanzmodell wurden unter Berücksichtigung der Unschärfe der Eingangsdaten Schwellenwerte für die Versauerungsprognose der Schwarzen Elster abgeleitet. Zu diesem Zweck müssen das wöchentliche zeitsynchrone Sondermonitoring Schwarze Elster und das monatliche Monitoring am Bilanzknoten Hammergraben fortgeführt werden.
- (15) Zur Verbesserung der Modellprognose empfiehlt der Gutachter die Aufklärung der Diskrepanzen bei den Durchflussmessungen in der Schwarzen Elster am Pegel Lauchhammer, These (8), sowie im Hammergraben am Pegel Plessa 2, These (9).
- (16) Für die strategische Prüfung von Steuerungsoptionen zur Verhinderung bzw. Minderung der Versauerung der Schwarzen Elster mit dem Stoffmengenbilanzmodell sind für den Bilanzknoten Lauchhammer konsistente Datensätze erforderlich. Der Gutachter empfiehlt dazu zeitsynchrone Stichtagsmessungen bzw. ein systematisches monatliches Monitoring unter Einbeziehung aller relevanten Zuflüsse und Einleiter im Untersuchungsgebiet.

1 Veranlassung

Die hydrochemische Situation in der Schwarzen Elster im Mündungsbereich des Hammergrabens bei Plessa ist weiterhin kritisch. In der Schwarzen Elster sind in den vergangenen drei Jahren wiederholt Versauerungsschübe mit ökologischen Schädwirkungen bis hin zu Fischsterben aufgetreten. Aus dem Gebiet der Kleinen Restlochkeite fließt der Schwarzen Elster über den Floßgraben und den Hammergraben ein bergbaulich stark geprägtes Wasser zu. Diese Zuflüsse wurden als wesentliche Ursache der Versauerungsschübe identifiziert [IWB 2019]. Die Dynamik der Versauerungsschübe bzw. die ihnen zugrundeliegende hydrologische und hydrochemische Konstellation sind bislang nicht ausreichend erkannt. Entsprechend sind die Vorhersagen ungenau.

Der erste Versauerungsschub in der Schwarzen Elster wurde im Sommer 2019 stromunterhalb der Einmündung des Hammergrabens registriert. Über mehrere Kilometer traten Versauerungserscheinungen auf, die zu einem Fischsterben in der Schwarzen Elster führten. Aufgrund des zeitlichen Zusammenhanges mit dem Bau der EUGAL in der Elsteraue, für den umfangreiche Grundwasserhaltungen erforderlich waren, wurde zunächst hier die Ursache vermutet. Untersuchungen ergaben jedoch, dass der Eintrag von sauren und eisenreichen Wasser aus dem Sanierungsbergbau der LMBV im Revier Lauchhammer/Plessa in der Kombination mit Niedrigwasserdurchflüssen in der Schwarzen Elster hierfür verantwortlich zeigte.

Daraufhin wurden von der LMBV zahlreiche Maßnahmen geprüft, wie weitere Versauerungsschübe vermieden werden können. Zu den Maßnahmen gehörten unter anderem ein zeitweiliger Wasserrückhalt im System der Kleinen Restlochkeite zur Überbrückung von Niedrigwassersituationen in der Schwarzen Elster, eine Teilneutralisation des stark sauren Abflusses im Floßgraben durch eine Inlake-Wasserbehandlung im RL 112, ein Sondermonitoring zur Schwarzen Elster und ein einfaches bilanzierendes Prognosetool auf der Basis von Microsoft EXCEL. Alle Maßnahmen erwiesen sich als begrenzt tauglich.

Durch die anhaltende Niedrigwassersituation in der Schwarzen Elster traten erneut Versauerungsschübe auf. Dabei wurde insbesondere die Genauigkeit des Prognosetools auf den Prüfstand gestellt.

Zum Schutz der Schwarzen Elster vor einer bergbaulichen Beeinflussung durch saures und eisenreiches Wasser wird das RL 112 der Kleinen Restlochkeite seit Juli 2020 mit Kalkprodukten teilneutralisiert. Dabei werden die Basenkapazität $K_{B4,3}$ des Seewassers von durchschnittlich 9 mmol/L auf Werte ≤ 3 mmol/L und in der Folge auch die Eisenkonzentration im Floßgraben verringert. Die Konditionierung erfolgt nicht kontinuierlich, sondern im Regelbetrieb an 3 bis 4 Tagen und maximal an 6 Tagen in der Woche.

Die Konditionierung wird so gesteuert, dass in der Schwarzen Elster an der Messstelle Kahla (etwa 1 km unterhalb der Mündung des Hammergrabens in die Schwarze Elster) ein pH-Wert von $\text{pH} \geq 6$ eingehalten wird. Die LMBV überwacht die Wasserbeschaffenheit vor Ort wöchentlich an repräsentativen Messstellen im RL 112, im Floßgraben, im Hammergraben und in der Schwarzen Elster (Lauchhammer und Kahla).



Der Erfolg der Maßnahme hängt neben den hydrochemischen Zielen der Wasserbehandlung maßgeblich vom Verhältnis der Volumenströme im Hammergraben und in der Schwarzen Elster ab. Die Durchflussverhältnisse in der Schwarzen Elster liegen seit etwa drei Jahren anhaltend im Niedrigwasserbereich. Das Wassermengenverhältnis zwischen der Schwarzen Elster und dem Hammergraben war nicht immer ausreichend, um das notwendige Mischungsverhältnis herzustellen. Hinzu kommt eine veränderliche Alkalinität der Schwarzen Elster. Aufgrund der nicht beeinflussbaren Bedingungen der Witterung und des Wasserdargebots liegt die steuerbare Größe in der Konditionierung des RL 112. Hier sind die Potentiale jedoch weitgehend ausgeschöpft.

In Anbetracht dieser Situation war es erforderlich, die Eingangsdaten des Prognosetools zu prüfen. Fragen traten unter anderem bezüglich der Aktualität, der Variabilität und der Genauigkeit einzelner Eingangsgrößen auf. Das Ziel der vorliegenden Untersuchungen bestand darin, Lücken, Schwankungen und Ungenauigkeiten der Eingangsdaten zu erkennen und auf diese Weise die Zuverlässigkeit der Prognosen zu verbessern.

2 Aufgabenstellung

Um weitere, bisher nicht erkannte Beeinflussungen der Schwarzen Elster zwischen Biehlen und Plessa/Kahla zu erfassen, waren eine vertiefende Gebietserkundung und Stichtagsmessungen erforderlich. Dabei sollten relevante Zuflüsse zur Schwarzen Elster erkannt sowie deren Durchflussmengen und Wasserbeschaffenheit bestimmt werden. Neben den In-situ-Kennwerten Temperatur, pH-Wert, Sauerstoff, Leitfähigkeit und Redoxpotential waren im Labor der pH-Wert, die elektrische Leitfähigkeit, die Basen- und Säurekapazität, Eisen-gesamt, Eisen-gelöst, Eisen-II-gelöst, Sulfat, Chlorid und abfiltrierbare Stoffe zu bestimmen.

Die Untersuchungen beruhten auf einem Nachtragsangebot des Instituts für Wasser und Boden Dr. Uhlmann vom 08.10.2021 zum Auftrag 2021/045 des LBGR Landesamtes für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Cottbus zur Untersuchung von Prüffällen für OWK zur Bestimmung und Abgrenzung von bergbaubedingten Stoffeinträgen.

Die Aufgabenstellung des Nachtrages beinhaltete:

1. Stichtagsmessungen in der Schwarzen Elster und in maßgeblichen Zuflüssen,
2. die Recherche und Auswertung langjähriger sachbezogener hydrologischer und hydrochemischer Daten im Untersuchungsgebiet sowie
3. die Evaluation des Excel-Stoffbilanzmodells auf Grundlage der gewonnenen Erkenntnisse.

Die inhaltliche Bearbeitung erfolgte im Kalenderjahr 2021.

3 Untersuchungsgebiet

Als Untersuchungsgebiet wurde der Abschnitt der Schwarzen Elster zwischen Kleinkoschen und Elsterwerda festgelegt. Die Schwarze Elster hat hier eine Länge von 42 km (Tabelle 1 und Bild 1). Im Untersuchungsabschnitt überwindet die Schwarze Elster einen Höhenunterschied von 16,2 Meter. Das mittlere Gefälle beträgt 0,39 ‰. Die wesentlichen Zuflüsse 2. Ordnung zur Schwarze Elster im Untersuchungsabschnitt sind die Rainitz, der Ausleiter aus dem Speicher Niemtsch, die Pößnitz, das Ruhlander Schwarzwasser, der Sieggraben Arnsdorf, der Hammergraben Plessa und der Hauptschradengraben (Tabelle 1). Die Einzugsgebietsfläche im Untersuchungsabschnitt der Schwarzen Elster beträgt rund 1.050 km². Das entspricht ca. 18 % des gesamten Einzugsgebietes der Schwarzen Elster.

Tabelle 1: Charakterisierung des Flusslaufs der Schwarzen Elster im Untersuchungsgebiet mit Angabe von Zuflüssen, Einleitern, Pegel und Gütemessstellen, Zuflüsse sind blau unterlegt.

Fluss- km	Einmündung in Schwarze Elster von	Sohlhöhe	Beschreibung	LfU-Messstelle in der Schwarzen Elster
		m NHN		
114+160		+103,0	Pegel Kleinkoschen 3, unterhalb Verteilerwehr Kleinkoschen	SE_0015
109+650	rechts	+99,0	Mündung Rainitz	
108+570			Senftenberg Amtsmühle	SE_0020
103+550	links	+96,9	Mündung Ausleiter RL Niemtsch	
103+420		+96,5	Pegel Biehlen 1	SE_0025
98+830			Schwarzheide oh. Pößnitz	SE_0030
98+600	rechts	+94,8	Einleitung KA BASF Schwarzheide	
98+100	rechts	+94,4	Mündung Pößnitz	
97+010			Ruhland	SE_0040
94+980	rechts	+93,3	Einleitung aus RL 28	
93+190	links	+92,8	Mündung Ruhlander Schwarzwasser (vereinigt mit Biehlener Binnengraben)	
93+060	links	+92,7	Mündung Sieggraben Arnsdorf	
87+870			Pegel Lauchhammer	SE_0050
79+720	rechts	+89,0	Mündung Hammergraben (vereinigt mit Floßgraben bzw. Ablauf RL 112)	
74+830			Brücke in Kahla	
73+750	links	+87,2	Einmündung Hauptschradengraben (vereinigt mit Großthiemig-Grödener Binnengraben)	
72+590		+86,8	Elsterwerda	SE_0070

Die auf den Wasserhaushalt der Fließgewässer bzw. deren oberirdische Einzugsgebiete wirkenden bergbaulichen Einflussfaktoren sind in der Tabelle 2 charakterisiert und waren bereits Gegenstand früherer Untersuchungen im Auftrag der LMBV, siehe [IWB 2013] und [IWB 2015].

Tabelle 2: Beanspruchung der Fließgewässer bzw. ihrer oberirdischen Einzugsgebiete im Untersuchungsabschnitt der Schwarzen Elster zwischen Kleinkoschen und Elsterwerda durch den Braunkohlenbergbau.

Fließ- gewässer	Art der Inanspruchnahme			
	Durchfluss	Flusslauf	Grundwasser- absenkung	Einzugsgebiet
Schwarze Elster	Entnahme und Einleitung von Wasser zur Bewirtschaftung des Speichers Niemtsch	Verlegung zwischen Kleinkoschen und Brieske auf 8 km Länge in das Bett der ursprünglich nördlich fließenden Sornoer Elster	Im Bereich der Horizontalfilterbrunnen Senftenberg und Brieske wirksam	Umgestaltung des gesamten oberen Einzugsgebietes
Rainitza	Derzeit: künstliche Speisung im Oberlauf aus der GWRA Rainitza Künftig: Ableitung der Abflüsse aus der Erweiterten Restloch-kette.	Stark verändert, verläuft teilweise über Kippengelände	Im gesamten Flusslauf wirksam	Großflächige Inanspruchnahme, Umgestaltung der Morphologie und der Landnutzung
Pößnitz	Im Oberlauf überwiegend Nutzung als Grubenwasser-ableiter (FiBr Kostebrau, WH RL Westmarkscheide)	Im Ober- und Mittellauf: weitgehend unverändert, Im Unterlauf: verlegt	Vorrangig im Oberlauf wirksam	Großflächige Inanspruchnahme, Umgestaltung der Morphologie und der Landnutzung
Wolschinka	Minderung des Durchflusses durch Wirkung der Horizontalfilterbrunnen in Brieske	Begradigt und vertieft zur Melioration und Landnutzung	Nur lokal im Bereich der Horizontalfilterbrunnen wirksam	Geringfügige Inanspruchnahme
Ruhlander Schwarzwasser	keine	keine	keine	keine
Sieggraben Arnsdorf	keine	keine	keine	keine
Plessa-Dolsthaidaer Binnen-graben	keine	keine (Künstlich angelegt zur Melioration und Landnutzung)	keine	keine
Hammer-graben	Hauptvorflut des Sanierungsgebietes Lauchhammer/ Plessa Zuflüsse aus den Restseen der Kleinen Restloch-kette	Stark verändert, begradigt, verläuft teilweise über Kippengelände	Vorrangig im Oberlauf wirksam	Großflächige Inanspruchnahme, Umgestaltung der Morphologie und der Landnutzung
Haupt-schraden-graben	keine	Künstlich angelegt zur Melioration und Landnutzung	keine	keine

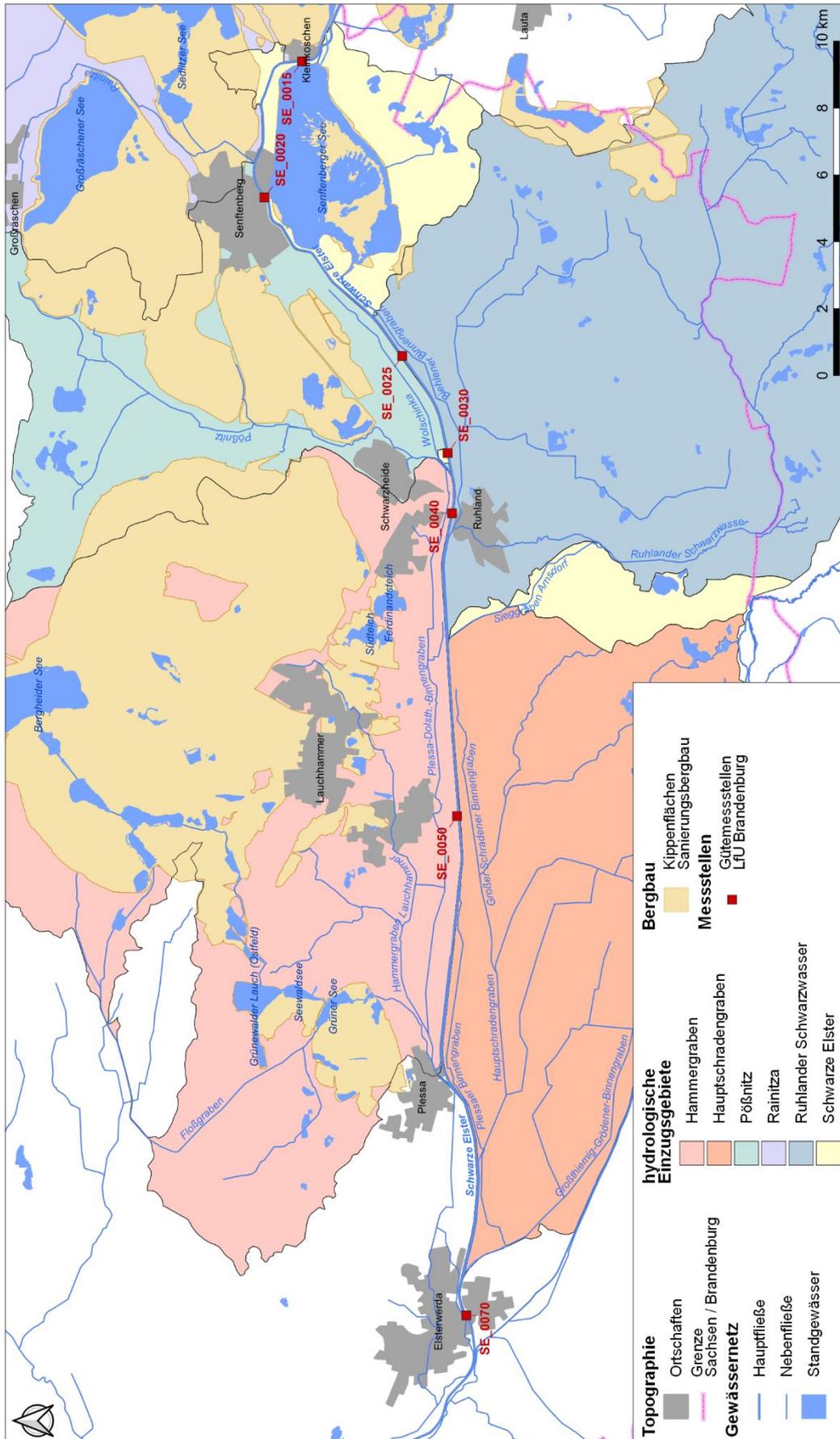


Bild 1: Untersuchungsgebiet der Schwarzen Elster zwischen Kleinkoschen und Elsterwerda mit den relevanten hydrologischen Einzugsgebieten und Beschaffenheitsmessstellen der Schwarzen Elster.

4 Untersuchungskonzept

4.1 Methodik

Um die bergbauliche Beeinflussung der Schwarzen Elster im Untersuchungsgebiet aufzuzeigen und von anderen Einflüssen abzugrenzen, wurden langjährige Zeitreihen hydrologischer und hydrochemischer Daten recherchiert und ausgewertet. Ergänzt wurden diese Untersuchungen durch aktuelle Stichtagsmessungen der Durchflüsse und der Wasserbeschaffenheit. Im Weiteren wurden die Ergebnisse des Sondermonitorings Schwarze Elster der LMBV in die Untersuchungen einbezogen.

Mit Hilfe der langjährigen Zeitreihen werden relevante Belastungsmuster in verschiedenen Teilabschnitten der Schwarzen Elster herausgearbeitet. Zudem werden auf der Grundlage der behördlichen Pegelraten Mengenbilanzen als Voraussetzung für die Berechnung von Stoffmengenbilanzen für einzelne Teilabschnitte in der Schwarzen Elster gebildet. Als Untersuchungszeitraum waren ursprünglich die Jahre von 2019 bis 2021 vorgesehen, der Zeitraum, in dem die Versauerungsschübe auftraten. Da diese Jahre von Niedrigwasserverhältnissen geprägt waren, wurde der Untersuchungszeitraum auf die Jahre von 2015 bis 2021 ausgeweitet (siehe Abschnitt 4.2). Die Daten wurden in eine Projektdatenbank zusammengeführt.

Im Rahmen von drei Stichtagsmessungen 2021 wurden taggleich an verschiedenen Messpunkten im Untersuchungsgebiet die Durchflüsse und die Wasserbeschaffenheit in den Fließgewässern erfasst. Damit sind Mengenbilanz- und Stoffmengenbilanzbetrachtungen möglich. Zudem wurden zusätzliche Messstellen in ausgewählten Fließgewässern festgelegt, für die bisher keine Messwerte vorlagen. Im Rahmen dieser Untersuchungen erfolgten Vergleichsmessungen des Durchflusses an drei Bilanzprofilen in der Schwarzen Elster, um der Frage nach der Genauigkeit der ereignisbezogenen behördlichen Pegelraten nachzugehen.

Seit dem ersten Versauerungsschub in der Schwarzen Elster im Juli 2019 wird von der LMBV ein verdichtetes Sondermonitoring im Hammergraben und in der Schwarzen Elster durchgeführt. Das Sondermonitoring der LMBV beinhaltet wöchentliche Messungen an vier Messstellen und monatliche Messungen an weiteren sechs Messstellen. Die Ergebnisse des Sondermonitorings aus den Jahren 2019 bis 2021 wurden in Hinblick auf das weitere Prozessverständnis ausgewertet (siehe Abschnitt 4.3.1).

4.2 Zeitreihe von 2015 bis 2021

Im Untersuchungsgebiet der Schwarzen Elster zwischen Kleinkoschen und Elsterwerda standen langjährige Zeitreihen von Messstellen des LfU, der LMBV und der BASF Schwarzheide zur Verfügung (Bild 2, Tabelle 3 und Tabelle 4). Zur Kennzeichnung der Einleiter wurden bevorzugt die mündungsnahen Messstellen verwendet. Die Beschaffenheit des Biehleiner Binnengrabens sowie des Sieggrabens Arnsdorf werden im Rahmen des behördlichen Messprogramms nicht erfasst. Im Rahmen der Stichtagsmessungen 2021 wurden diese Fließgewässer untersucht (siehe Abschnitt 4.3.1).

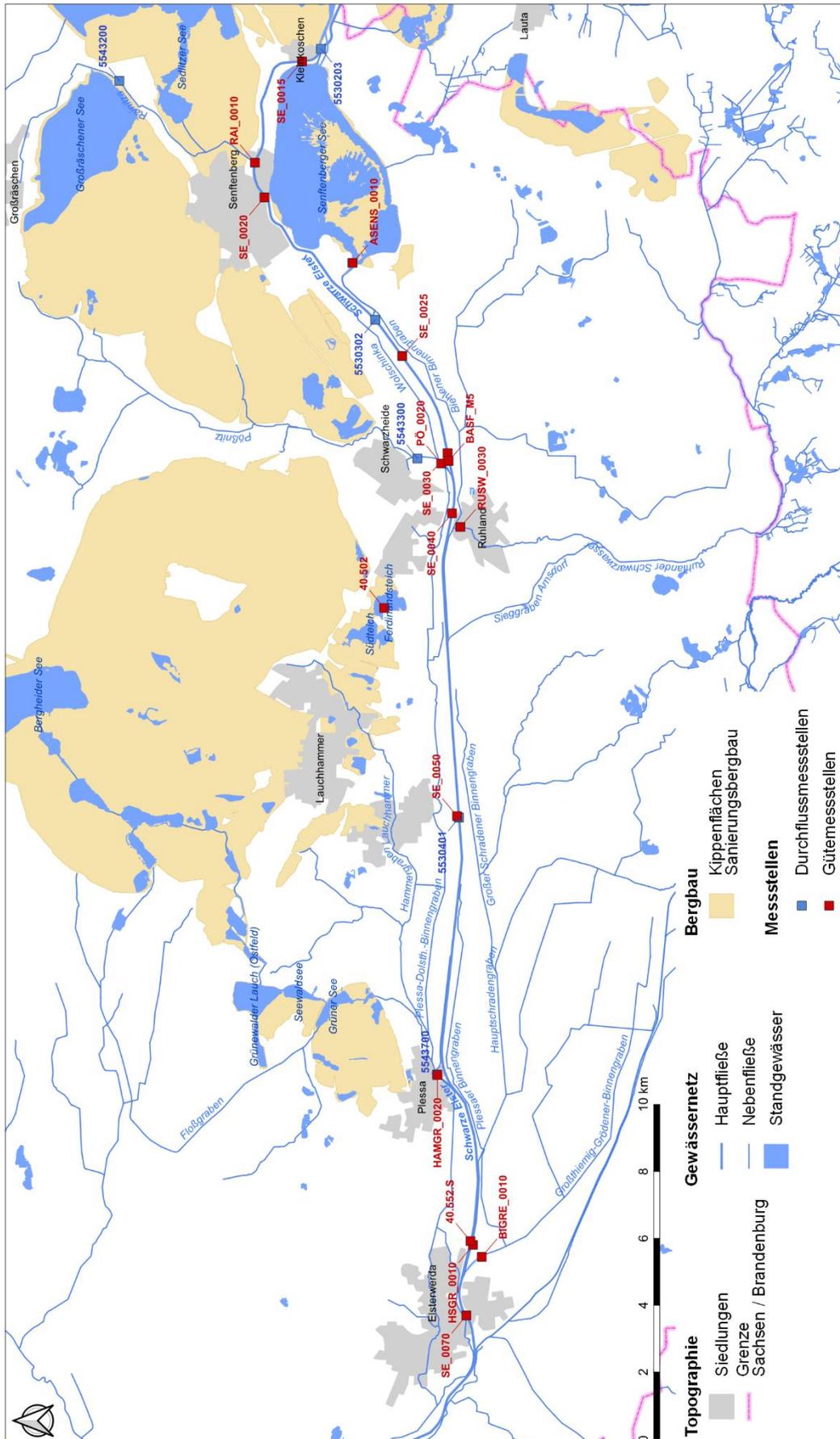


Bild 2: Messstellen und Pegel im EZG der Schwarzen Elster zwischen Kleinkoschen und Elsterwerda zur Auswertung der langjährigen Datenreihen.

Der Durchfluss im untersuchten Abschnitt der Schwarzen Elster wird an den drei LfU-Pegeln Kleinkoschen 3 (UP), Biehlen 1 und Lauchhammer erfasst (Tabelle 3). Für die Rainitz, die Pößnitz und den Hammergraben standen ebenfalls die Durchflusswerte an mündungsnahen Pegeln zur Verfügung (Tabelle 4). Die Durchflüsse stehen hier als Tagesmittelwerte zur Verfügung. Für die hydrologischen Jahre von 2015 bis 2021 standen die korrigierten Durchflusswerte zur Verfügung.

Tabelle 3: Durchfluss- und Beschaffenheitsmessstellen in der Schwarzen Elster im Untersuchungsgebiet zwischen Kleinkoschen und Elsterwerda.

Fließ-gewässer	Mess-stelle	Betrei-ber	Pro-gramm	Lage		Turnus	Mess-größe
				HW RW	Beschreibung		
Schwarze Elster	SE_0015	LfU	BÜ	5706371 435023	Kleinkoschen	M	C
	Pegel 5530203	LfU	BÜ	5705756 435559	Pegel Kleinkoschen 3 Unterpegel	D	Q
	SE_0020	LfU	BÜ	5707470 430987	Senftenberg, Amtsmühle	M	C
	SE_0025	LfU	BÜ	5703410 426202	Biehlen	M	C
	Pegel 5530302	LfU	BÜ	5704176 427312	Pegel Biehlen 1	D	Q
	SE_0030	LfU	BÜ	5702050 423300	Schwarzheide oh. Pößnitz	M	C
	SE_0040	LfU	BÜ	5701913 421485	Ruhland	M	C
	SE_0050	LfU	BÜ	5701712 412433	Lauchhammer	M	C
	Pegel 5530401	LfU	BÜ	5701727 412408	Pegel Lauchhammer	D	Q
	40.552.S	LMBV	MHM	5701224 400715	Kahla	W	C
	SE_0070	LfU	BÜ	5701498 397512	Elsterwerda	M	C

Erläuterung zu den Abkürzungen:

Überwachungs-programm	BÜ	Behördliche Überwachung des LfU
	MHM	Montanhydrologisches Monitoring der LMBV
	AÜ	Anlagenüberwachung des Betreibers
Turnus	D	Täglich (Mittelwerte)
	W	Wöchentlich (Terminwerte)
	M	Monatlich (Terminwerte)
Messgrößen	Q	Durchfluss
	C	Wasserbeschaffenheit

Tabelle 4: Durchfluss- und Beschaffenheitsmessstellen in relevanten Zuflüssen und Einleitern im Untersuchungsgebiet der Schwarzen Elster zwischen Kleinkoschen und Elsterwerda.

Fließgewässer	Messstelle	Betreiber	Programm	Lage		Turnus	Messgröße
				HW RW	Beschreibung		
Rainitz	RAI-0010	LfU	BÜ	5707765 431990	Mündung in die Schwarze Elster	M	C
	Pegel 5543200	LfU	BÜ	5711793 434429	Pegel Sedlitz	D	Q
Speicher Niemtsch	ASENS_0010	LfU	BÜ	5704869 428991	Ausleiter Speicher Niemtsch	M	C
KA BASF Schwarzheide	BASF_M5	BASF	AÜ	5702013 423123	Am Klärwerk	D/W	Q C
Pößnitz	PÖ_0020	LfU	BÜ	5702381 423129	Oberhalb Mündung Wolschinka	M	C
	Pegel 5543300	LfU	BÜ	5702947 423154	Pegel Schwarzheide-Ost	D	C
RL 28 (Ferdinandsteich)	40.502 40.574.S	LMBV	MHM	5703933 418671	Seemessstelle	W	C
Ruhlander Schwarzwasser	RUSW_0030	LfU	BÜ	5701669 421095	Oberhalb Mündung Biehlener Binnengraben	M	C
Hammergraben	HAMGR_0020	LfU	BÜ	5702370 404722	Mündung in die Schwarze Elster (in Plessa bei der Elstermühle)	M	C
	Pegel Plessa 2	LfU	BÜ	5702387 404741		D	Q
Hauptschradengraben	HSGR_0010	LfU	BÜ	5701331 399645	Mündung in die Schwarze Elster	M	C
Großthiemig-Grödener Binnengraben	BIGRE_0010	LfU	BÜ	5701041 399272	Mündung in den Hauptschradengraben	M	C

Erläuterung zu den Abkürzungen siehe Tabelle 3.

4.3 Sondermessungen

4.3.1 Stichtagsmessung 2021

Vor der Ausführung der beauftragten Stichtagsmessungen wurden ein problem-spezifisches Monitoringkonzept erarbeitet und nach Aktenlage Durchfluss- und Probennahmestellen festgelegt. Durch eine Ortsbegehung wurden die Zugänglichkeit und die Relevanz der Messstellen geprüft. Zur Absicherung der Befunde wurden die Stichtagsmessungen zu drei Terminen im Spätsommer/Herbst 2021 durchgeführt. Die Stichtagsmessungen erfolgten zwischen August und November 2021 an insgesamt dreizehn Messstellen (Tabelle 5 und Tabelle 6). Davon wurden in der Schwarzen Elster sechs Messstellen und an relevanten Einleitern im Untersuchungsgebiet sieben Messstellen mündungsnah untersucht (Bild 3).

In den Zuflüssen zur Schwarzen Elster wurde, sofern kein Pegel vorhanden war, der Durchfluss mit einem OTT ADC gemessen. An vier Messstellen erfolgte die Durchfluss-

messung mittels ADC zeitgleich mit der Probennahme (Tabelle 5). Die taggleichen Durchflusswerte zu den drei verfügbaren Pegeln wurden beim LfU erfragt.

An drei Bilanzprofilen in der Schwarzen Elster (Biehlen, Lauchhammer und Kahla) wurden Kontrollmessungen des Durchflusses zu drei Terminen durchgeführt, um die taggleichen Pegelraten des LfU in der Schwarzen Elster zu verifizieren (Tabelle 6). Die Abweichungen zwischen den Mess- und Pegelwerten werden insbesondere hinsichtlich der Relevanz für die Mengen- und Stoffbilanzierungen diskutiert (Abschnitt 7). Die Durchflussmessungen in der Schwarzen Elster wurden von der SGL mit einem OTT Qliner durchgeführt.

Tabelle 5: Durchfluss- und Beschaffenheitsmessstellen der Stichtagsmessungen im Untersuchungsgebiet der Schwarzen Elster. Die Zuflüsse sind blau unterlegt. Weitere Zuflüsse zu den Zuflüssen sind grün unterlegt.

Fließgewässer	Mess- stelle	Mess- größe	Lage	
			HW RW	Beschreibung
Schwarze Elster	SE 020	C	5706011 429220	Brieske
Speicher Niemtsch	AS 10	C	5704338 427665	Ausleiter Speicher Niemtsch
Schwarze Elster	SE 030	C	5702046 423302	oh. Schwarzheide
Wolschinka	30.152.S	Q C	5702473 423718	oh. der Mündung in die Pößnitz
Pößnitz	30.132.S	C	5702663 423181	Schwarzheide-Ost
Schwarze Elster	SE 040	C	5701916 421486	Ruhland
Biehlener Binnengraben	BBGr 20	Q C	5701706 421354	oh. der Mündung in das Ruhlander Schwarzwasser
Ruhlander Schwarzwasser	RSW 20	Q C	5701540 421072	oh. Einmündung in den Biehlener Binnengraben
Sieggraben Arnsdorf	SGA 10	Q C	5701841 417898	oh. der Mündung in die Schwarze Elster
Schwarze Elster	SE 050	C	5701894 414952	Lauchhammer
Schwarze Elster	SE 051	C	5702146 404846	oh. der Einmündung des Hammergrabens
Hammergraben	40.539.S	C	5702362 404725	oh. der Mündung in die Schwarze Elster
Schwarze Elster	SE 055	C	5701369 399667	Kahla

Erläuterung zu den Abkürzungen siehe Tabelle 3.

Tabelle 6: Chronologie der durchgeführten Messungen.

Messtermin	Stichtagsmessung an 13 Messstellen entsprechend der Tabelle 5	Vergleichsmessung des Durchflusses an drei Bilanzprofilen mittels QLiner
31.08.2021	■	
24.09.2021		■
06.10.2021	■	
07.10.2021		■
22.10.2021		■
11.11.2021	■	

Der Hauptschradengraben ist ein Zufluss links zur Schwarzen Elster. Er mündet vor Elsterwerda ein. Der Großthiemig-Grödener Binnengraben mündet kurz davor in den Hauptschradengraben. An beiden Messstellen wird vom LfU die Wasserbeschaffenheit im monatlichen Turnus erfasst (Tabelle 4). Eine Messung des Durchflusses erfolgt nicht. Im Rahmen des Projektes zur Untersuchung der Prüffälle für OWK zur Bestimmung und Abgrenzung von bergbaubedingten Stoffeinträgen [IWB 2022] wurden an den Messstellen in der Tabelle 7 zwischen Juni und November 2021 monatlich der Durchfluss und die Wasserbeschaffenheit erfasst (Tabelle 8). Die Ergebnisse dieser Stichtagsmessungen wurden in die vorliegenden Untersuchungen einbezogen.

Tabelle 7: Mündungsnaher Durchfluss- und Beschaffenheitsmessstellen im Hauptschradengraben und im Großthiemig-Grödener Binnengraben im Rahmen der Untersuchungen zu den Prüffällen 2021 [IWB 2022].

Fließgewässer	Messstelle	Messgröße	Lage	
			HW RW	Beschreibung
Hauptschradengraben	HSGr 10	Q C	5701331 399645	Hauptschradengraben vor der Einmündung in die Schwarze Elster
Großthiemig-Grödener Binnengraben	GtBGr 10	Q C	5701041 399272	Großthiemig-Grödener Binnengraben vor dem Hochwasserschöpfwerk Krauschütz

Erläuterung zu den Abkürzungen siehe Tabelle 3.

Tabelle 8: Messtermine der Durchfluss- und Beschaffenheitsmessstellen im Hauptschradengraben und im Großthiemig-Grödener Binnengraben.

Messtermin	Untersuchung	
	HSGr 10	GtBGr 10
02.06.2021	■	■
08.07.2021	■	■
04.08.2021	■	■
02.09.2021	■	■
05.10.2021	■	■
03.11.2021	■	■

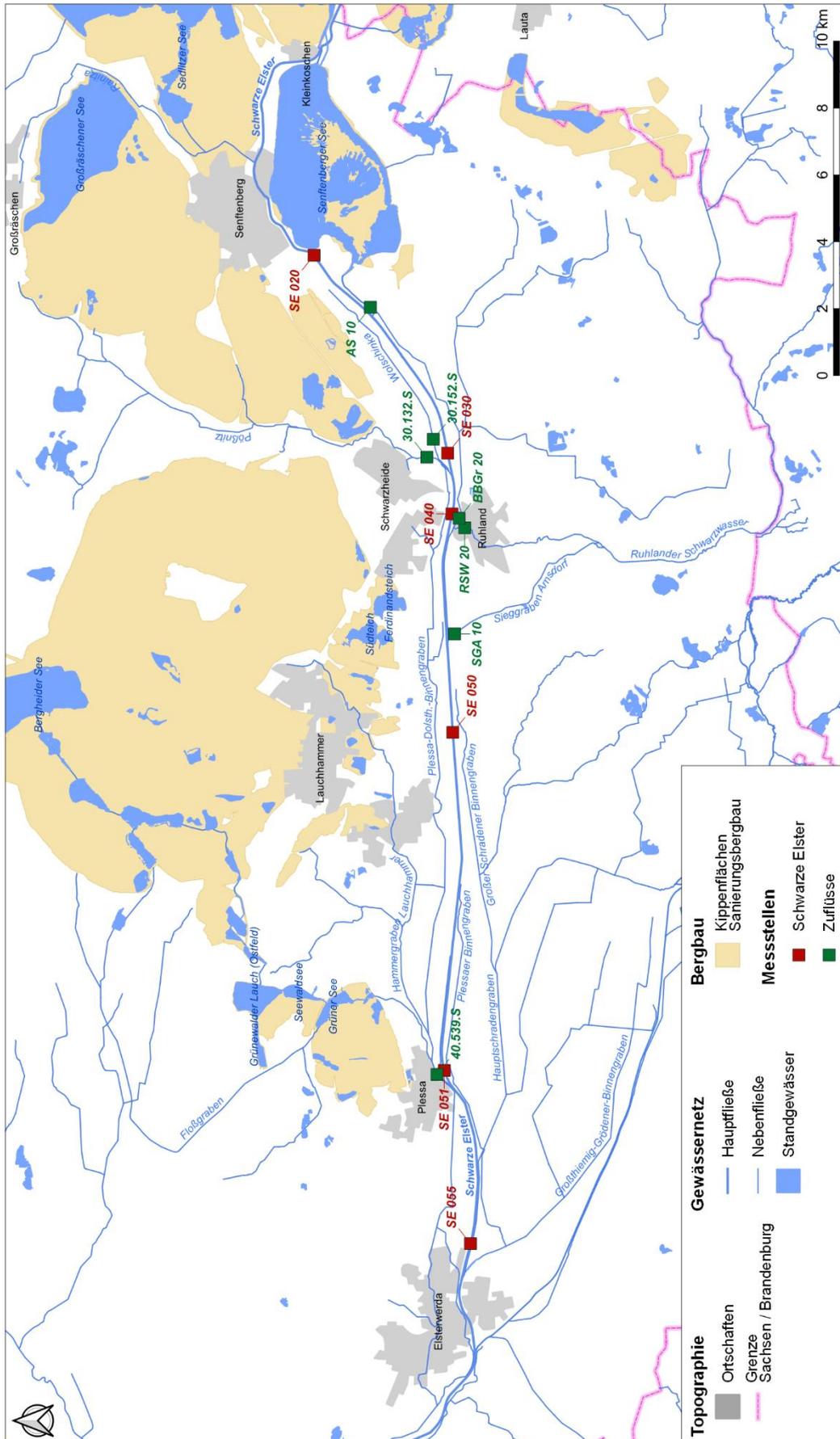


Bild 3: Lage der Fließgewässermessstellen in der Schwarzen Elster (rot) und in den Zuflüssen (grün) im Rahmen der Stichtagsmessung 2021.

Der Kennwerteumfang für die hydrochemischen Untersuchungen wurde entsprechend der Tabelle 9 festgelegt. Der Analysenumfang leitete sich aus den Anforderungen ab, um die Genauigkeit der Wasseranalysen mittels Ionenbilanzen und verschiedene Arbeitshypothesen bzgl. der hydrochemischen Prozesse in der Schwarzen Elster, die ggf. zu einem Verlust an Pufferkapazität führen, prüfen zu können.

Tabelle 9: Untersuchungsumfang der Wasserproben für die Messkampagnen und Monitorings im Rahmen der vorliegenden Untersuchungen.

Kennwert	Verfahren/Methode	Bemerkung
Vor Ort		
Wassertemperatur	DIN 38404-4:1976-12	
pH-Wert	DIN EN ISO 10523:2012-04	
Elektrische Leitfähigkeit	DIN EN 27888:1993-11	
Sauerstoffkonzentration	DIN EN ISO 5814:2013-02	
Sauerstoffsättigung	DIN EN ISO 5814:2013-02	
Redoxspannung	DIN 38404-6:1984-05	
Trübung	DIN EN ISO 7027-1:2016	
Labor		
pH-Wert	DIN EN ISO 10523 (C5):2012-04	
Elektrische Leitfähigkeit	DIN EN 27888 (C 8):1993-11	
Säurekapazität $K_{S4,3}$ oder $K_{S8,2}$	DIN 38409 (H7):2005-12	
Basenkapazität $K_{B4,3}$ oder $K_{B8,2}$	DIN 38409 (H7):2005-12	
Natrium	DIN EN ISO 11885 (E22):2009-09 (ICP)	
Kalium	DIN EN ISO 11885 (E22):2009-09 (ICP)	
Calcium	DIN EN ISO 11885 (E22):2009-09 (ICP)	
Magnesium	DIN EN ISO 11885 (E22):2009-09 (ICP)	
Sulfat	DIN EN ISO 10304-1 (D20):2009-07	
Chlorid	DIN EN ISO 10304-1:2009-07	
Ammonium-N	DIN EN ISO 11732:2005-05 (FIA)	
Eisen gesamt	DIN EN ISO 11885 (E22):2009-09 (ICP)	
Eisen gelöst	DIN EN ISO 11885 (E22):2009-09 (ICP)	Feinfiltration 0,45 µm
Eisen (II) gelöst	DIN 38406-1:1983-05	Feinfiltration 0,45 µm
Mangan	DIN EN ISO 11885 (E22):2009-09 (ICP)	
Aluminium, gelöst	DIN EN ISO 11885 (E22):2009-09 (ICP)	Feinfiltration 0,45 µm
Zink	DIN EN ISO 11885 (E22):2009-09 (ICP)	
Nickel	DIN EN ISO 11885 (E22):2009-09 (ICP)	
Arsen	DIN EN ISO 11885 (E22):2009-09 (ICP)	
Kobalt	DIN EN ISO 11885 (E22):2009-09 (ICP)	
Abfiltrierbare Stoffe	DIN EN 872 (H 33):2005-04	
Gelöster organischer Kohlenstoff (DOC)	DIN EN 1484 (H 3):2019-04	nur zu 1. STM
Nitrat (als N)	DIN EN ISO 10304-1 (D 20):2009-07	nur zu 1. STM

4.3.2 Sondermonitoring Schwarze Elster von 2019 bis 2021

Im Rahmen des LMBV-Sondermonitorings zur Schwarzen Elster werden seit Juli 2019 wöchentlich vier Messstellen im Mündungsbereich des Hammergrabens in die Schwarze Elster untersucht (Bild 4 und Tabelle 10 mit Markierung W). Zudem erfolgen monatlich Untersuchungen am Bilanzknoten des Hammergrabens kurz vor der Einmündung in die Schwarze Elster, der die Zuflüsse des Floßgrabens, des Hammergrabens und des Plessa-Dolsthaidauer Binnengrabens erfasst (Bild 4 und Tabelle 10 mit Markierung M).

Seit Juni 2020 wird aus der Bauwasserhaltung der WBA Plessa (Bauherr: LMBV) Wasser in den Hammergraben abgeschlagen. Der Abschlag wird kontinuierlich erfasst. Vom Auftraggeber LBGR wurden die gemeldeten Tagesmittelwerte der abgeschlagenen Wassermengen sowie Angaben zur Wasserbeschaffenheit zur Verfügung gestellt.

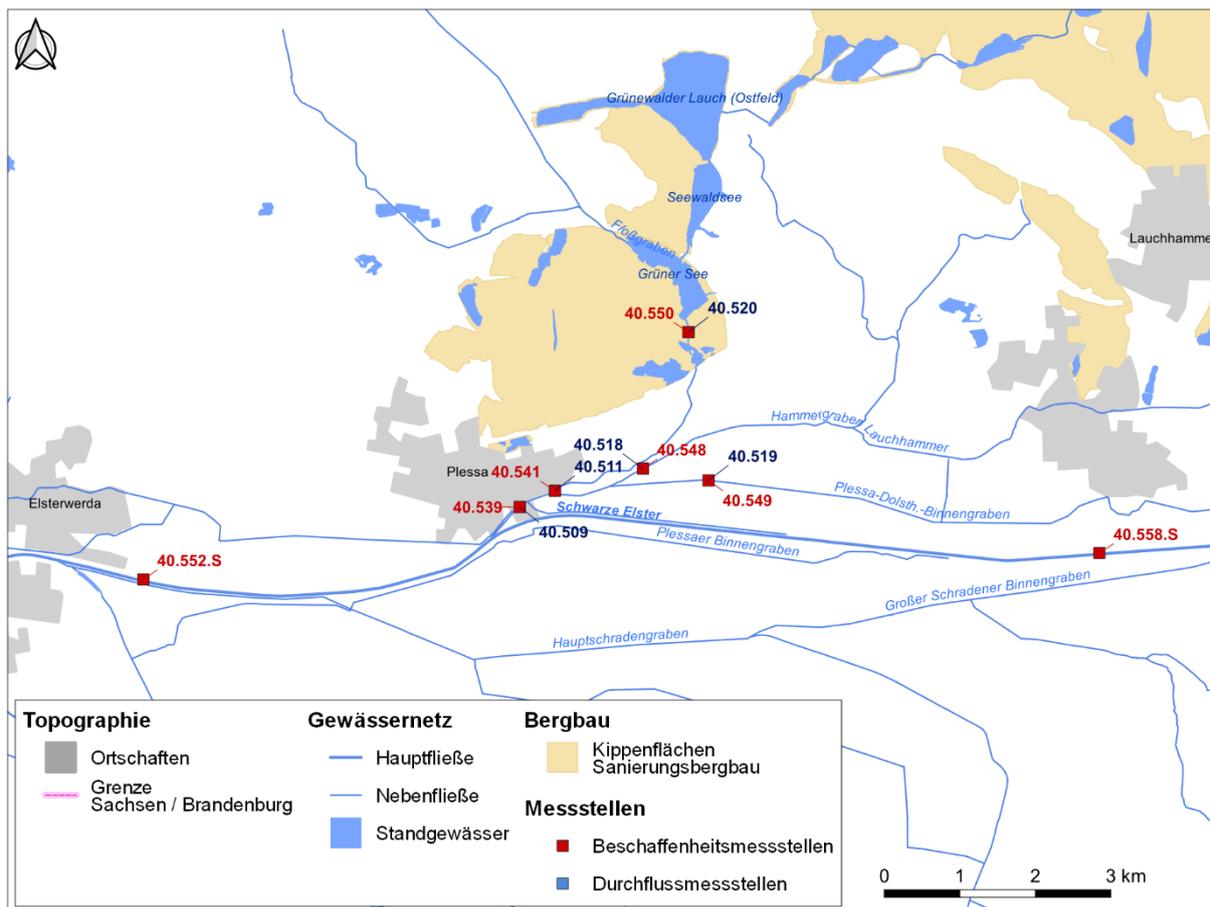


Bild 4: Lage der Messstellen des Sondermonitorings Schwarzen Elster der LMBV.

Tabelle 10: Durchfluss- und Beschaffenheitsmessstellen des LMBV-Sondermonitorings zur Schwarzen Elster.

Fließgewässer	Mess- stelle	Mess- turnus	Pro- gramm	Lage	
				HW RW	Beschreibung
Schwarze Elster	40.558.S	W	C	5701894 414952	Am Pegel Lauchhammer
Hammergraben	40.548 40.518	M	Q C	5702853 406358	Vor der Einmündung des Binnengrabens
Hammergraben	40.539 40.509	W, M	Q C	5702362 404725	Oh. der Mündung in die Schwarze Elster
Binnengraben	40.549 40.519	M	Q C	5702694 407227	Vor der Einmündung in den Hammergraben
Floßgraben	40.550 40.520	W *)	Q C	5704671 406961	Ablauf des RL 112
Floßgraben	40.541 40.511	W	Q C	5702556 405194	Vor der Einmündung in den Hammergraben
Schwarze Elster	40.552.S	W	C	5701224 400715	Kahla

*) Betriebsmonitoring zur Inlake-Neutralisation im RL112

Erläuterung zu den Abkürzungen:

Turnus	W	Wöchentlich (Terminwerte)
	M	Monatlich (Terminwerte)
Programm	Q	Durchfluss
	C	Wasserbeschaffenheit

5 Abflussverhältnisse

5.1 Gewässernutzer und hydrologische Zäsuren

Der Wasserhaushalt der Schwarzen Elster im Untersuchungsabschnitt zwischen Kleinkoschen und Elsterwerda ist von zahlreichen anthropogenen Einflüssen, davon in großer Zahl von bergbaulichen Einflüssen, geprägt:

- die Flutung der Bergbaufolgeseen der LMBV in den Bereichen Spreetal-Bluno und der Restlochekette Sedlitz-Skado-Koschen,
- die Bewirtschaftung des Speichers Niemtsch durch das LfU Brandenburg,
- die Einleitung behandelten Grubenwassers aus der GWRA Rainitz der LMBV in die Rainitz und nachfolgend in die Schwarze Elster,
- die Einleitung von behandeltem Grundwasser und Abwasser aus der Kläranlage BASF Schwarzheide in die Schwarze Elster,
- die Einleitung behandelten Grubenwassers aus der GWRA Pößnitz der LMBV in die Pößnitz und von hier in die Schwarze Elster,
- die Einleitung von behandeltem Wasser aus dem RL 28/29 durch die LMBV in die Schwarze Elster sowie
- dem Zufluss aus dem Hammergraben, der seinerseits den Floßgraben und den Plessa-Dolsthaidauer Binnengraben fasst. Der Floßgraben führt den Abfluss aus dem Sanierungsgebiet Klettwitz/Lauchhammer ab.

Im Zeitraum von 2015 bis 2021 wirkten die in der Tabelle 11 aufgeführten hydrologischen und hydrochemischen Zäsuren auf den Durchfluss der jeweiligen Fließe.

Tabelle 11: Hydrologische und hydrochemische Zäsuren im EZG der Schwarzen Elster (SE) zwischen Kleinkoschen und Elsterwerda zwischen 2012 und 2021.

Fließ	Zeitraum	Ereignis	Betrifft Messstelle
SE und Nebenfließe	2018 bis 2020	Witterungsbedingte Trockenwettersituation.	SE ab Kleinkoschen
	2019	Bauwasserhaltung der EUGAL an verschiedenen Straßen-, Bahn- und Gewässerdurchörterungen in der Elsteraue.	SE ab Ruhland
SE	seit 11/2012	Beginn der Ausleitung aus dem RL 28 in die SE ohne Wasserbehandlung.	Pegel Lauchhammer
	seit 11/2015	Kontinuierliche Ausleitung aus dem RL 28 nach der Inlake-Wasserbehandlung.	
Hammergraben	Juli 2019	Versauerungsschübe in der Schwarzen Elster: Einstellung diverser Wasserhaltungen und Wasserrückhalt im Gebiet der Kleinen Restlochreihe. Verringerung des Durchflusses im Hammergraben.	Pegel Plessa 2
Rainitza	2014/2015	Inbetriebnahme der Horizontalfilterbrunnen in Senftenberg. Wasserbehandlung in der GWRA Rainitza und Abschlag des Reinwassers in die Rainitza.	Pegel Sedlitz
Pößnitz	2017/2018	Inbetriebnahme der Horizontalfilterbrunnen in Brieske. Wasserbehandlung in der GWRA Pößnitz und Abschlag des Reinwassers in die Pößnitz.	Pegel Schwarzheide
	Mitte 2021	Außerbetriebnahme der Filterbrunnen Kostebrau. Verringerung des Durchflusses in der Pößnitz.	Pegel Schwarzheide

5.2 Zeitreihe von 2015 bis 2021

Im Untersuchungsabschnitt vom Pegel Kleinkoschen bis zum Pegel Biehlen ergibt sich der Durchfluss im Wesentlichen durch den Abschlag am Wehr Kleinkoschen aus der Schwarzen Elster, dem Zufluss der Rainitza und durch die Ausleitung aus dem Senftenberger See (Speicher Niemtsch). Weitere relevante Gebietszuflüsse sind in diesem Abschnitt nicht vorhanden (Bild 5). Im Gegenteil, es gab Phasen jeweils im Herbst 2015, 2018, 2019 und 2020, in denen der Durchfluss am Pegel Biehlen kleiner war als die Summe der einzelnen Zuflüsse. Im Gewässerabschnitt zwischen dem Pegel Kleinkoschen und dem Pegel Biehlen versickert Wasser aus der Schwarzen Elster in das Grundwasser [UBV 2020]. Die Schwarze Elster zwischen Kleinkoschen und Brieske wurde auf einer Strecke von 8 km in das Bett der ursprünglich nördlich fließenden Sornoer Elster verlegt. Auf diesem Gewässerabschnitt besteht keine Grundwasseranbindung. Zwischen dem Wehr Kleinkoschen und der Mündung der Rainitza fällt die Schwarze Elster deshalb häufig trocken. Der Gewässerabschnitt zwischen der Einmündung der Rainitza und Brieske liegt zudem im Einflussbereich der Horizontalfilterbrunnen in Senftenberg und Brieske.

Sowohl das Absenckziel der Horizontalfilterbrunnen Senftenberg von +98,0 m NHN als auch der untere Grenzwasserstand im Senftenberger See von +98,3 m NHN bedingen, dass der Grundwasserstand in diesem Gewässerabschnitt unter der Sohle der Schwarzen Elster liegt. Der Versickerungsverlust der Schwarzen Elster liegt gemäß [UBV 2020] zwischen 1,99 (HW-Situation) und 2,63 m³/min (MW-Situation) bzw. 33 und 44 L/s. Für die NW-Situation, wie im Jahr 2019, wird ein Versickerungsverlust aus der Schwarzen Elster von 2,02 m³/min bzw. 34 L/s angegeben.

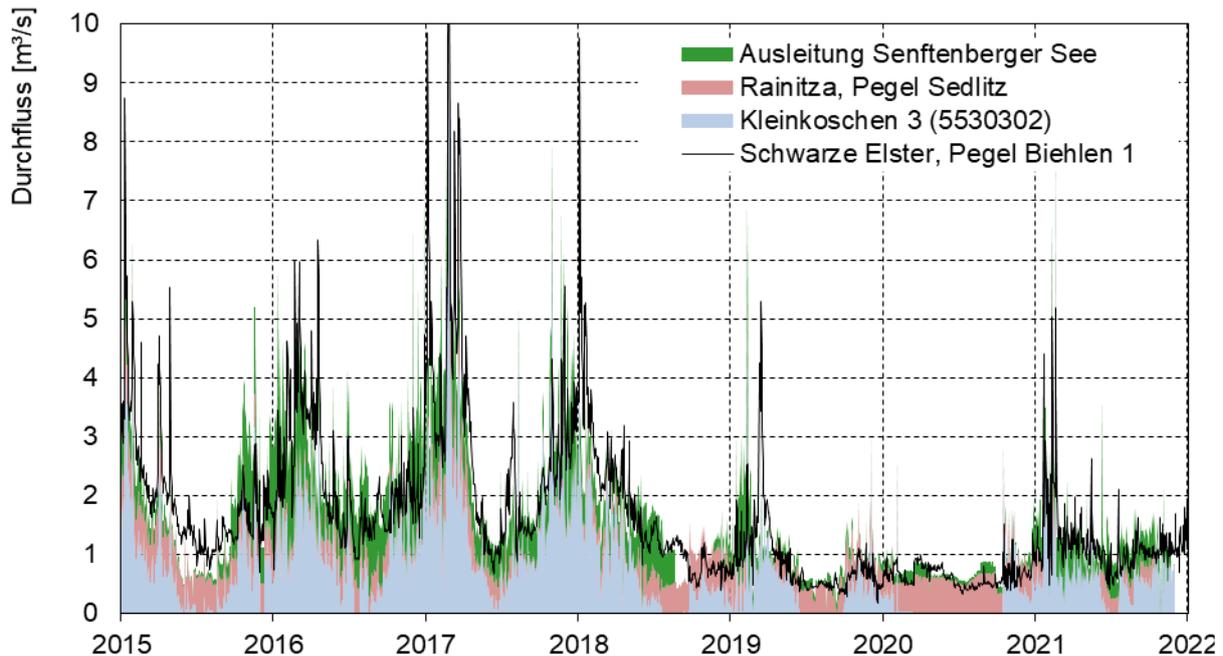


Bild 5: Einleitmengen aus der GWRA Rainitza (rot) und aus dem Speicherbecken Niemtsch (grün) in die Schwarze Elster (Darstellung gestapelt) im Vergleich mit den Durchflüssen der Schwarzen Elster am Pegel Kleinkoschen 3 (blaugrau) und am Pegel Biehlen 1 (schwarze Linie) im Zeitraum von 2015 bis 2021.

Während der Sommermonate und insbesondere während der Niedrigwassersituation in den Jahren von 2018 bis 2020 dominierte der Abfluss aus der Rainitza den Durchfluss in der Schwarzen Elster in Senftenberg bis zu einem Anteil von 100 % (Bild 6). Der anteilige Durchfluss (rote Linie in Bild 6) ist hier und in folgenden Bildern als gleitendes 13-Tage-Mittel, das als Zentraldifferenz¹ gebildet wird, angegeben. Die Schwarze Elster lag in dieser Zeit zwischen dem Wehr Kleinkoschen und dem Neuen Wehr in Senftenberg trocken.

Im Untersuchungsabschnitt vom Pegel Biehlen bis zum Pegel Lauchhammer setzt sich der Durchfluss im Wesentlichen aus dem Oberstrom am Pegel Biehlen, der Ausleitung aus der GWRA Pößnitz, dem Zufluss aus der Wolschinka, der Einleitung der Kläranlage der BASF Schwarzheide und der Ausleitung aus dem RL 28 (Bild 7), dem Ruhlander Schwarzwasser und dem Biehleiner Binnengraben zusammen.

¹ Der Wert wird als arithmetischer Mittelwert aus dem aktuellen Tageswert sowie den sechs vorhergehenden und den sechs nachfolgenden Werten des Durchflusses berechnet. Die Methode dient der optischen Glättung der Kurve, ohne ihre grundlegenden Eigenschaften zu verändern.

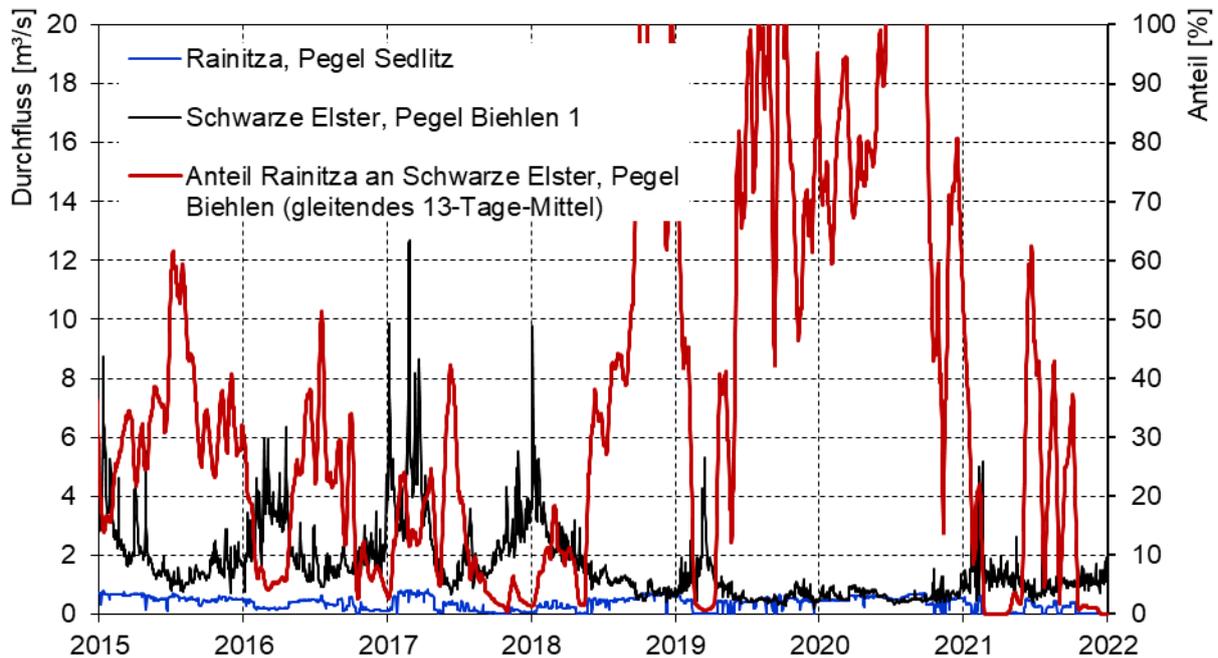


Bild 6: Durchfluss der Schwarzen Elster am Pegel Biehlen 1 und der Rainitz am Pegel Sedlitz sowie der Anteil der Rainitz am Durchfluss der Schwarzen Elster in Biehlen im Zeitraum von 2015 bis 2021.

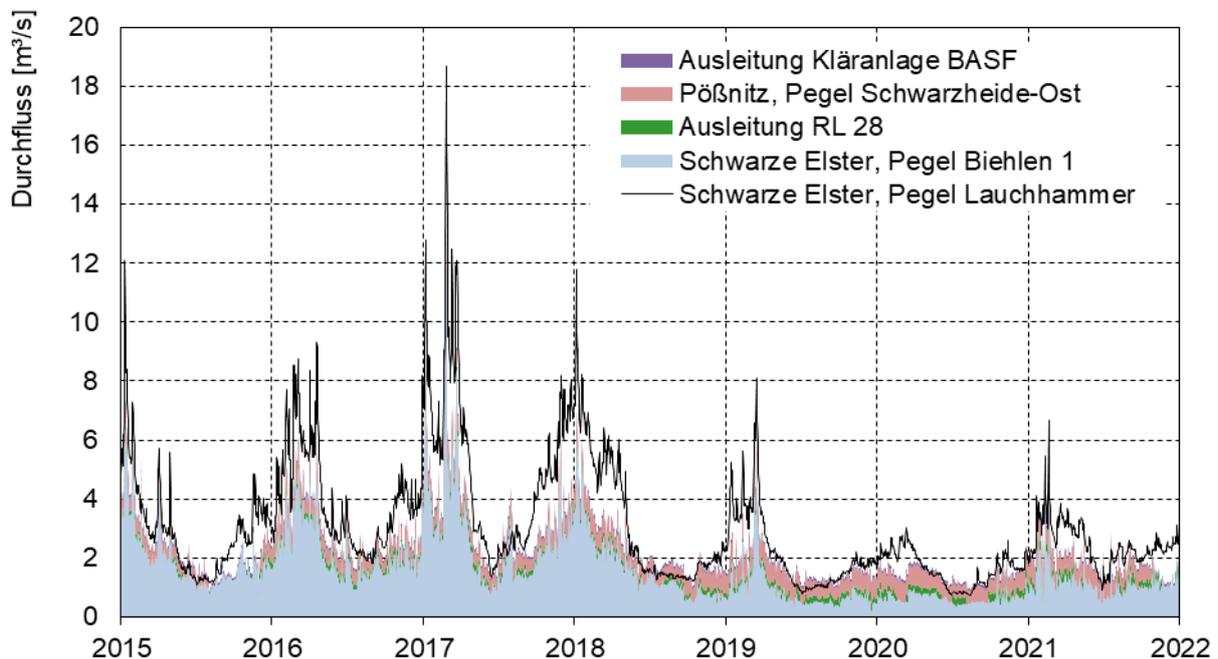


Bild 7: Einleitmengen aus der GWRA Pößnitz, der Kläranlage BASF und aus dem RL 28 in die Schwarze Elster (Darstellung gestapelt) sowie Durchfluss der Schwarzen Elster am Pegel Biehlen 1 im Vergleich mit dem Durchfluss der Schwarzen Elster am Pegel Lauchhammer im Zeitraum von 2015 bis 2021.

Mit der Inbetriebnahme der Horizontalfilterbrunnen in Brieske in den Jahren 2017/2018 hatten sich der Durchfluss in der **Pößnitz** und damit auch deren prozentualer Anteil am Durchfluss der Schwarzen Elster dauerhaft erhöht (Bild 8). Vor 2018 lag der Anteil

der Pößnitz am Durchfluss der Schwarzen Elster während der abflussreichen Jahreszeit noch unter 10 %. Seit der Inbetriebnahme der Horizontalfilterbrunnen Brieske liegt dieser Anteil bei 10 % bis 30 %. Bei einem Durchfluss unter 3 m³/s in der Schwarzen Elster am Pegel Lauchhammer stieg der Anteil der Pößnitz am Durchfluss der Schwarzen Elster während der Sommermonate 2019 und 2020 sogar bis auf 70 %. Durch den dauerhaft erhöhten Abfluss der Pößnitz seit 2017/2018 bleibt der erhöhte Durchflussanteil im Jahresverlauf länger erhalten.

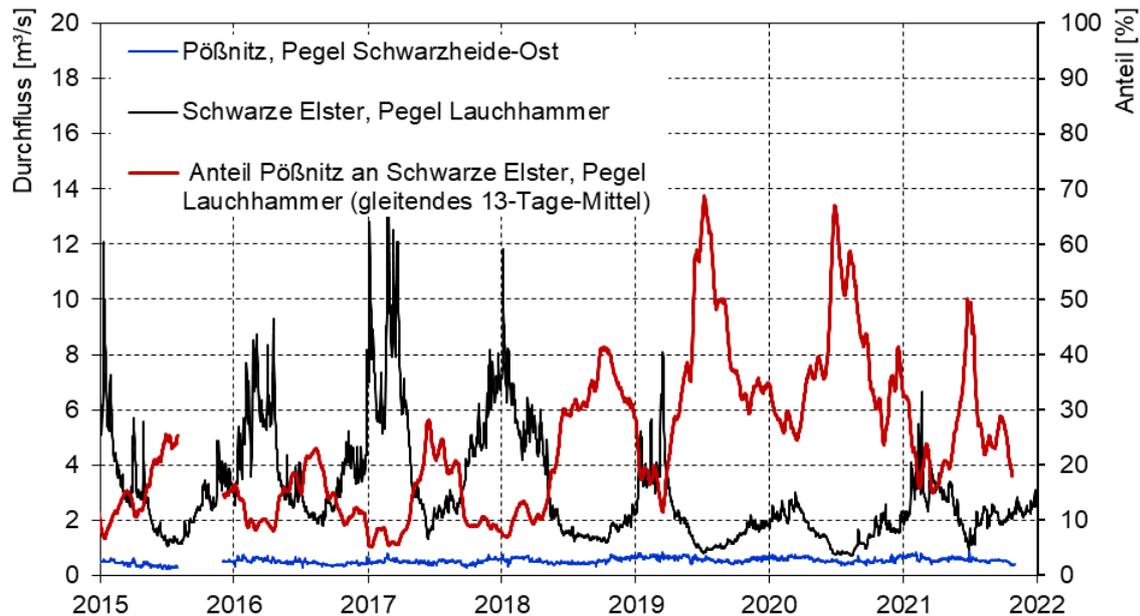


Bild 8: Durchfluss der Schwarzen Elster am Pegel Lauchhammer und der Pößnitz am Pegel Schwarzheide Ost sowie Anteil der Pößnitz am Durchfluss in Lauchhammer im Zeitraum von 2015 bis 2021.

Die **Kläranlage der BASF Schwarzheide** leitet kontinuierlich gereinigtes Industrieabwasser von rund 0,09 m³/s in die Schwarze Elster ein.

Die **Ausleitung aus dem RL 28** betrug zwischen 2015 und 2021 im Mittel 0,13 m³/s und maximal 0,62 m³/s im August 2021. Seit der ersten Inlake-Wasserbehandlung im Herbst 2015 wird bis auf kurzzeitige Unterbrechungen während der Versauerungsphasen kontinuierlich Wasser aus dem RL 28 in die Schwarze Elster abgeschlagen.

Die Durchflüsse im **Ruhlander Schwarzwasser** und im **Biehleiner Binnengraben** werden vom LfU nicht gemessen. Im Rahmen der Stichtagsmessungen wurde der Durchfluss zu drei Terminen erfasst (Abschnitt 5.3.1). Der diffuse Gebietszufluss ergibt sich in Bild 7 aus der Differenz zwischen dem Durchfluss am Pegel Lauchhammer und der Summe der gemessenen Zuflüsse. In den abflussreichen Winterhalbjahren, z. B. 2016/2017 und 2017/2018, war der Anteil der Gebietszuflüsse erhöht.

Im Gewässerabschnitt zwischen dem Pegel Lauchhammer und der Brücke bei Kahla mündet der Hammergraben in die Schwarze Elster (Bild 9). Der Volumenstrom des Hammergrabens betrug rund 15 % bis 20 % und in den Sommermonaten temporär 25 % am Durchfluss der Schwarzen Elster in Kahla (Bild 10). Von Mai bis Juli 2019 stieg der Anteil auf über 40 % und führte zur Versauerung der Schwarzen Elster

[IWB 2019]. Durch gezielten Wasserrückhalt im Gebiet der Kleinen Restlochekette wurde der Durchfluss im Hammergraben und damit auch sein Anteil in der Schwarzen Elster bis Jahresende 2019 deutlich verringert. Im Juli 2021 stieg der Anteil erneut über 40 %. Durch die Teilneutralisation des RL 112 konnte ein erneuter Versauerungsschub in der Schwarzen Elster jedoch verhindert werden (siehe Abschnitt 0).

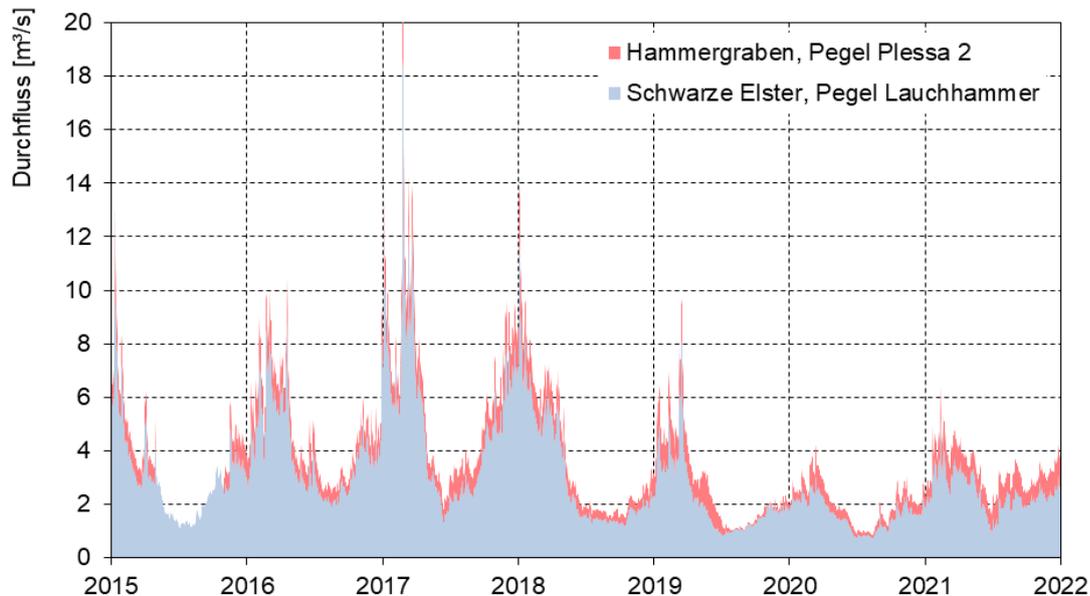


Bild 9: Durchfluss der Schwarzen Elster am Pegel Lauchhammer und des Hammergrabens am Pegel Plessa 2 (Darstellung gestapelt) im Zeitraum von 2015 bis 2021.

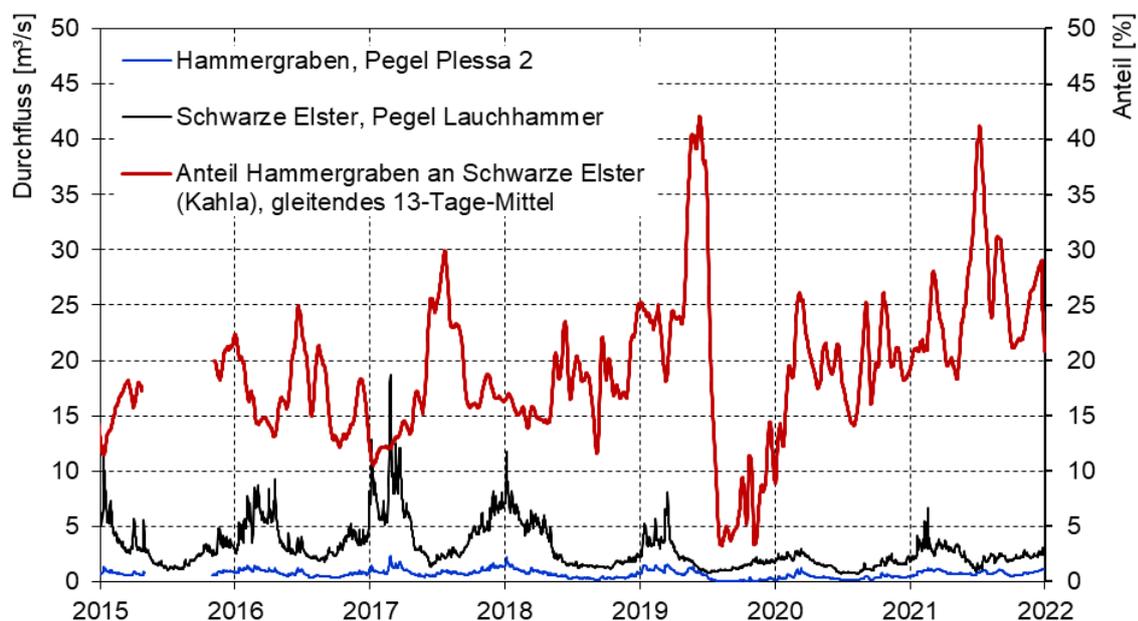


Bild 10: Durchfluss der Schwarzen Elster am Pegel Lauchhammer und des Hammergrabens am Pegel Plessa 2 sowie der Anteil des Hammergrabens am Durchfluss in Kahla im Zeitraum von 2015 bis 2021.

Durch die konstant hohen Einleitmengen aus den GWRA Rainitz und aus der GWRA Pößnitz haben diese insbesondere während der Sommermonate einen hohen

Mischungsanteil in der Schwarzen Elster. Der Hammergraben führt aus der Kleinen Restlochkette und aus dem Plessa-Dolsthaidaaer Binnengraben ganzjährig saures Wasser in die Schwarze Elster (siehe Abschnitt 5.3.1). Der Mischungsanteil des Hammergrabens am Durchfluss der Schwarzen Elster in Kahla lag im Jahr 2021 zwischen 20 % und 40 % (Bild 10).

5.3 Sondermessungen

5.3.1 Stichtagsmessung 2021

Im Zeitraum der Vergleichsmessungen an den drei Bilanzprofilen in der Schwarzen Elster lag der Durchfluss in der Schwarzen Elster am Pegel Lauchhammer zwischen 1,0 und 2,7 m³/s und damit im Niedrigwasserbereich (Tabelle 12).

Tabelle 12: Gemessene Durchflüsse der SGL mit dem QLiner [m³/s] im Vergleich mit den amtlichen Meldedaten des LfU an den drei Stichtagen im Jahr 2021.

Gewässer	Pegel	24.09.2021		07.10.2021		22.10.2021	
		SGL	LfU	SGL	LfU	SGL	LfU
Schwarze Elster	Biehlen 1	1,28 100 %	1,00 78 %	1,25 100 %	1,07 86 %	1,06 100 %	0,93 88 %
Schwarze Elster	Lauchhammer	2,23 100 %	1,90 85 %	2,45 100 %	1,98 81 %	2,58 100 %	2,11 82 %
Hammergraben	Pegel Plessa 2	---	0,61	0,59	0,54	0,72	0,61
Schwarze Elster	Plessa (Kahla)	2,16	---	2,30	---	2,65	---
Differenz auf der Fließstrecke zwischen Lauchhammer und Kahla		(-0,68)		-0,74		-0,65	

Nachdem zum ersten Messtermin am 24.09.2021 ein unplausibel niedriger Durchfluss in der Schwarzen Elster bei Kahla gemessen wurde, wurde zu Kontrollzwecken in den nächsten Messkampagnen jeweils eine zusätzliche Messung am Pegel Plessa 2 im Hammergraben durchgeführt. Durch Addition der Teilströme der Schwarzen Elster in Lauchhammer und des Hammergrabens in Plessa konnte der Durchfluss in der Schwarzen Elster bei Kahla plausibilisiert werden. Das Schöpfwerk Kahla war an den drei Messtagen nicht in Betrieb.

Die an den Pegeln Biehlen 1 und Lauchhammer vom LfU erfassten Durchflüsse lagen systematisch niedriger als die von der SGL am gleichen Ort und am gleichen Tag gemessenen Werte (Tabelle 12). Die Differenz betrug zwischen 10 % und 20 %. Bei der Bildung einer Bilanz aus der Summe der Durchflüsse der Schwarzen Elster in Lauchhammer und des Hammergrabens in Plessa im Vergleich mit dem Durchfluss an der temporären Durchflussmessstelle in Kahla zeigt sich an allen drei Stichtagen ein Verlust in einer engen Spanne zwischen 0,65 und 0,74 m³/s. Die Differenz ist einseitig und betragsmäßig relevant. Bei Verwendung der Durchflussmesswerte des LfU wäre der Bilanzfehler kleiner, wäre aber immer noch tendenziell.

Für die Differenz kommen mehrere Erklärungen in Frage:

- Systematische Messfehler an einer oder mehreren Messstellen, die in die Bilanzierung einbezogen wurden oder
- Wasserverluste auf der Fließstrecke zwischen dem Pegel Lauchhammer und der temporären Messstelle in Kahla.

Nach Einschätzung des Messtrupps resultiert die Minderbestimmung des Durchflusses in der Schwarzen Elster bei Kahla aus dem starken Pflanzenbewuchs am Gewässerrand, der zu einer Verfälschung (Verengung) des Querschnittsprofils führt (Bild 11). Die gemessenen Durchflusswerte an den Bilanzprofilen Biehlen 1 und Lauchhammer wurden vom Messtrupp als plausibel eingeschätzt.



Bild 11: Schwarze Elster in Lauchhammer (links) und in Kahla (rechts) am 31.08.2021, Foto: IWB Dresden.

Wenn Messfehler in der Größenordnung des Bilanzdefizits ausgeschlossen werden, dann versickern auf einer Strecke von 13 km in der Schwarzen Elster rund $0,7 \text{ m}^3/\text{s}$ bzw. 700 L/s , also annähernd der gesamte Volumenstrom des Hammergrabens in das Grundwasser.

Für die Gebietsbilanz wurden die Durchflüsse der Zuflüsse zur Schwarzen Elster zwischen dem Pegel Biehlen 1 und dem Pegel Lauchhammer an drei Tagen gemessen (Tabelle 13). Der Zufluss aus der Kläranlage der BASF Schwarzheide wurde vom Betreiber mitgeteilt. Der Durchfluss in der Pößnitz wurde aus dem Pegelwert abgeleitet. Die Summe der gemessenen Zuflüsse war zu allen drei Messterminen höher als die Differenz des Durchflusses an den Pegeln Lauchhammer und Biehlen 1. Der Durchfluss am Pegel Lauchhammer ist systematisch um 10 % bis 15 % niedriger als die bilanzierte Summe der Zuflüsse.

Im Gewässerabschnitt zwischen Biehlen und Lauchhammer dominiert der Zufluss aus der Pößnitz mit einem Anteil von 20 % bis 25 % den Durchfluss in der Schwarzen Elster am Pegel Lauchhammer (Tabelle 13). Der Durchfluss des Ruhlander Schwarzwassers inklusive des Biehleiner Binnengrabens betrug an den drei Stichtagen 13 % bis 15 %. Der anteilige Zufluss aus dem RL 28 betrug im Beobachtungszeitraum 6 % bis 9 %. Im linksseitig einmündenden Sieggraben Arnsdorf betrug der anteilige Zufluss 4 % bis 8 % an der Durchflussbilanz der Schwarzen Elster am Pegel Lauchhammer. Der anteilige Zufluss der Kläranlage BASF Schwarzheide und der Wolschinka war mit maximal 4 % bzw. 2 % gering. Im Rahmen der drei Stichtagsmessungen betrug der

anteilige Zufluss aus dem Hammergraben 20 % bis 31 % des Durchflusses der Schwarzen Elster in Kahla.

Tabelle 13: Durchfluss [m³/s] in der Schwarzen Elster und in den Zuflüssen im Gebiet zwischen Biehlen und Kahla zu drei Stichtagen im Jahr 2021.

Fließgewässer	Messstelle	31.08.2021		06.10.2021		11.11.2021	
		Messwert	Pegelwert	Messwert	Pegelwert	Messwert	Pegelwert
		m ³ /s		m ³ /s		m ³ /s	
Schwarze Elster	Pegel Biehlen 1		1,35		1,01		1,38
KA BASF	BASF_M5	0,105		0,077		0,086	
Wolschinka	30.152.S	0,050		0,049		0,035	
Pößnitz	Pegel Schwarzheide Ost		0,574		0,548		0,582
RL 28	40.502	0,251		0,148		0,184	
Biehleener Binnengraben	BBGr20	0,332		0,204		0,187	
Ruhlander Schwarzwasser	RUSW_0030	0,113		0,082		0,199	
Sieggraben Arnsdorf	SGA10	0,137		0,088		0,246	
Summe der Zuflüsse		1,56		1,20		1,52	
Schwarze Elster	Pegel Biehlen 1	46 %		46 %		48 %	
KA BASF		4 %		3 %		3 %	
Wolschinka		2 %		2 %		1 %	
Pößnitz		20 %		25 %		20 %	
RL 28		9 %		7 %		6 %	
Biehleener Binnengraben		11 %		9 %		6 %	
Ruhlander Schwarzwasser		4 %		4 %		7 %	
Sieggraben Arnsdorf		5 %		4 %		8 %	
Schwarze Elster Lauchhammer	Pegel Lauchhammer	2,91	2,58	2,21	1,98	2,90	2,45
		100 %	89 %	100 %	90 %	100 %	85 %
Hammergraben	Pegel Plessa 2		1,14		0,54		0,76
Schwarze Elster Kahla	40.552.S	4,05	3,72	2,75	2,52	3,66	3,21
Hammergraben	anteilig	28 %		20 %		21 %	
		31 %		21 %		24 %	

Im Gewässerabschnitt zwischen Lauchhammer und Elsterwerda wurde im Rahmen der Untersuchung [IWB 2022] an sechs Stichtagen der Durchfluss im Hauptschradengraben und im Großthiemig-Grödener Binnengraben gemessen (Tabelle 14). Die Werte des LfU für den Pegel Lauchhammer an der Schwarzen Elster und für den Pegel Plessa 2 am Hammergraben sind Tagesmittelwerte. Der Hammergraben bildete 16 % bis 29 % des Durchflusses der Schwarzen Elster in Elsterwerda (Tabelle 14). Der anteilige Durchfluss des Hauptschradengrabens betrug im Untersuchungszeitraum maximal 9 %. Der Durchfluss des Großthiemig-Grödener Binnengrabens war im Messzeitraum mit Werten zwischen 0,23 m³/s und 1,10 m³/s stark veränderlich. Er bildete zeitweise ein Viertel des Durchflusses in der Schwarzen Elster in Elsterwerda.

Tabelle 14: Durchfluss [m³/s] in der Schwarzen Elster und in den Zuflüssen im Gebiet zwischen Lauchhammer und Elsterwerda an sechs Stichtagen im Jahr 2021. Die LfU-Pegelwerte sind Tagesmittelwerte.

Fließgewässer	Messstelle	02.06. 2021	08.07. 2021	04.08. 2021	02.09. 2021	05.10. 2021	03.11. 2021
Schwarze Elster Lauchhammer	Pegel Lauchhammer	1,92 59 %	1,22 40 %	2,16 65 %	2,32 47 %	2,00 62 %	2,54 69 %
Hammergraben	Pegel Plessa 2	0,726 23 %	0,863 29 %	0,725 22 %	1,055 22 %	0,530 16 %	0,681 19 %
Hauptschraden- graben	HSGR_0010	0,124 4 %	0,211 7 %	0,191 6 %	0,458 9 %	0,167 5 %	0,118 3 %
Großthiemig- Grödener Binnengraben	GtBGr_0010	0,464 14 %	0,719 24 %	0,230 7 %	1,085 22 %	0,534 17 %	0,343 9 %
Schwarze Elster Elsterwerda	<i>Summe</i>	3,23 100 %	3,02 100 %	3,30 100 %	4,92 100 %	3,23 100 %	3,68 100 %

5.3.2 Sondermonitoring Schwarze Elster 2019 bis 2021

Der Durchfluss im Mündungsprofil des Hammergrabens vor der Einmündung in die Schwarze Elster setzt sich aus den Zuflüssen aus dem Hammergraben im Oberlauf, dem Plessa-Dolsthaidaer Binnengraben und dem Floßgraben zusammen. Seit Juni 2020 wird das Wasser aus der Bauwasserhaltung der WBA Plessa in den Hammergraben abgeschlagen. In den Jahren von 2019 bis 2021 lag der Durchfluss im Hammergraben vor der Einmündung in die Schwarze Elster zwischen 0,00 und 1,70 m³/s und im Mittel bei 0,66 m³/s (Tabelle 15).

Tabelle 15: Statistische Kennwerte des Durchflusses am Bilanzknoten Hammergraben auf der Grundlage monatlicher Terminwerten zwischen 2019 und 2021.

Fließgewässer	Hammer- graben Elstermühle	Floßgraben Plessa	Hammer- graben Oberlauf	Plessa- Dolst- haidaaer Binnen- graben	Wasser- haltung der WBA Plessa
Messstelle	40.509	40.511	40.518	40.519	---
Anzahl	35	35	35	35	19
Minimum	0,01	0,00	0,00	0,00	0,002
10. Perzentile	0,14	0,06	0,03	0,02	0,002
Median	0,58	0,24	0,13	0,22	0,003
Mittelwert	0,66	0,27	0,19	0,23	0,004
<i>Anteilig</i>	<i>100 %</i>	<i>39 %</i>	<i>27 %</i>	<i>33 %</i>	<i>1 %</i>
90. Perzentile	1,29	0,49	0,46	0,43	0,005
Maximum	1,66	0,68	0,60	0,61	0,014
Standardabweichung	0,42	0,17	0,17	0,16	0,003

Als Sofortmaßnahme zur Eindämmung der Versauerung der Schwarzen Elster wurde im Juli 2019 gezielt Wasser in dem Bereich der Kleinen Restlochekette zurückgehalten, die vom Floßgraben entwässert wird. Der Durchfluss im Hammergraben war daraufhin bis Dezember 2019 deutlich verringert (Bild 12). Bedingt durch die Trockenwetter-situation im Jahr 2020 war der Durchfluss im Hammergraben ebenfalls ungewöhnlich

niedrig. Im Jahr 2021, das hinsichtlich des Wasserdargebotes annähernd ausgeglichen war, lag der Durchfluss im Hammergraben bis August im Mittel bei 0,99 m³/s.

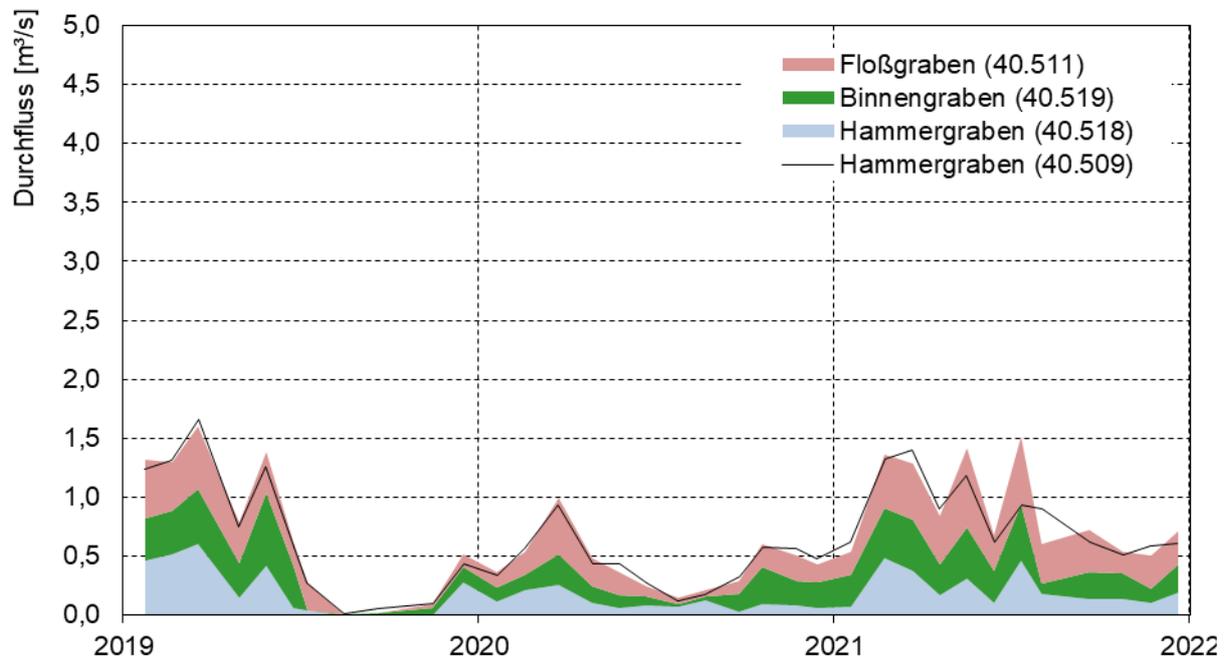


Bild 12: Monatliche Terminwerte des Durchflusses im Hammergraben an der Elstermühle (Mst. 40.509) und der Zuflüsse aus dem Hammergraben im Oberlauf (Mst. 40.518), dem Floßgraben (Mst. 40.511) und dem Plessa-Dolsthaidaer Binnengraben (Mst. 40.519) (gestapelt) in den Jahren 2019 bis 2021.

Der Durchfluss im Hammergraben setzte sich im Wesentlichen aus dem Durchfluss des Floßgrabens (41 %) und des Plessa-Dolsthaidaer Binnengrabens (34 %) zusammen. Die Bauwasserhaltung der WBA Plessa trug 0,004 m³/s bei (Tabelle 15).

Im Juli 2019 lag der anteilige Durchfluss des Floßgrabens am Durchfluss im Hammergraben vor der Mündung in die Schwarze Elster bei 90 % (Bild 13). Der Anteil des Hammergrabens am Durchfluss in der Schwarzen Elster in Kahla betrug zu diesem Zeitpunkt rund 40 % (Bild 10). Dieses ungünstige Mischungsverhältnis in Verbindung mit einer hohen Acidität des Floßgrabens (Abschnitt 6.3.1) wurde als Ursache für die Versauerung der Schwarzen Elster im Sommer 2019 ermittelt [IWB 2019].

Zwischen Februar 2020 und Juni 2020 gab es erneut Versauerungsschübe in der Schwarzen Elster stromunterhalb der Einmündung des Hammergrabens (siehe Abschnitt 6.3.1). Der anteilige Durchfluss des Floßgrabens am Hammergraben lag in diesem Zeitraum zwischen 22 % und 56 % (Bild 13). Der anteilige Durchfluss des Hammergrabens am Durchfluss in der Schwarzen Elster betrug in diesem Zeitraum 17 % bis 27 %, also deutlich weniger als im Juli 2019, als es zur ersten Versauerung der Schwarzen Elster kam.

Seit Juli 2020 wird das RL 112 teilneutralisiert. Ungeachtet dessen wurden auch im Jahr 2021 Versauerungsschübe mit pH-Werten pH < 6 in der Schwarzen Elster nach der Einmündung des Hammergrabens registriert. Allein anhand des Mischungsverhältnisses der Durchflüsse konnte die Ursache nicht erklärt werden.

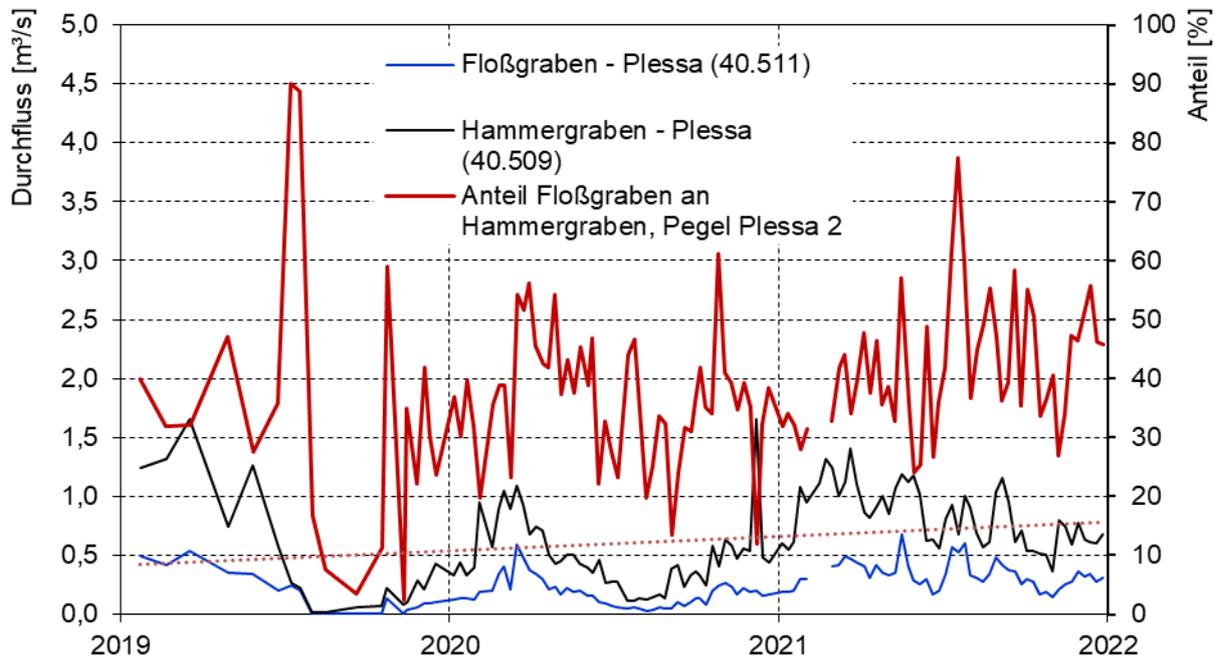


Bild 13: Gemessener Durchfluss im Hammergraben an der Elstermühle (Mst. 40.509) und des Floßgrabens in Plessa (Mst. 40.511) sowie rechnerisch ermittelter Anteil des Floßgrabens am Durchfluss im Hammergraben an der Elstermühle auf der Grundlage wöchentlicher Terminwerte im Zeitraum von 2019 bis 2021.

Der Vergleich der Terminwerte des Durchflusses des LMBV-Monitorings mit den Tagesmittelwerten des Durchflusses am Pegel Plessa 2 des LfU im Hammergraben an der Elstermühle zeigt, dass die Pegelwerte am Pegel Plessa 2 zeitweise sowohl deutlich niedriger (April bis Mai 2021) als auch deutlich höher liegen (Dezember 2021) (Bild 14). Bei Verwendung der Pegeldata ergeben sich dadurch Verschiebungen des Mischungsanteils des Hammergrabens in der Schwarze Elster entsprechend Bild 10.

Eine Unterschätzung des Durchflusses am Pegel Plessa 2 (vermutlich im April und Mai 2021) bedingt in Kahla ein scheinbar besseres Mischungsverhältnis, als es tatsächlich der Fall ist. Das ist insbesondere in den Sommermonaten kritisch. Umgekehrt bedingt eine Überschätzung des Durchflusses im Hammergraben am Pegel Plessa 2, wie z. B. im Dezember 2021, eine scheinbare Verschlechterung des Mischungsverhältnisses in Kahla. Für die Wasser- und Stoffmengenbilanz der Schwarzen Elster insbesondere zur Einschätzung der Versauerungsgefahr ist die Genauigkeit des Durchflusses am Pegel Plessa 2 von maßgeblicher Bedeutung. Aktuell wird im Rahmen des Sondermonitorings Schwarze Elster der Durchfluss im Hammergraben wöchentlich gemessen. Dieser Wert wird auch im Bilanzmodell verwendet (Abschnitt 7). Unabhängig davon wird eine Aufklärung der Diskrepanzen angemahnt.

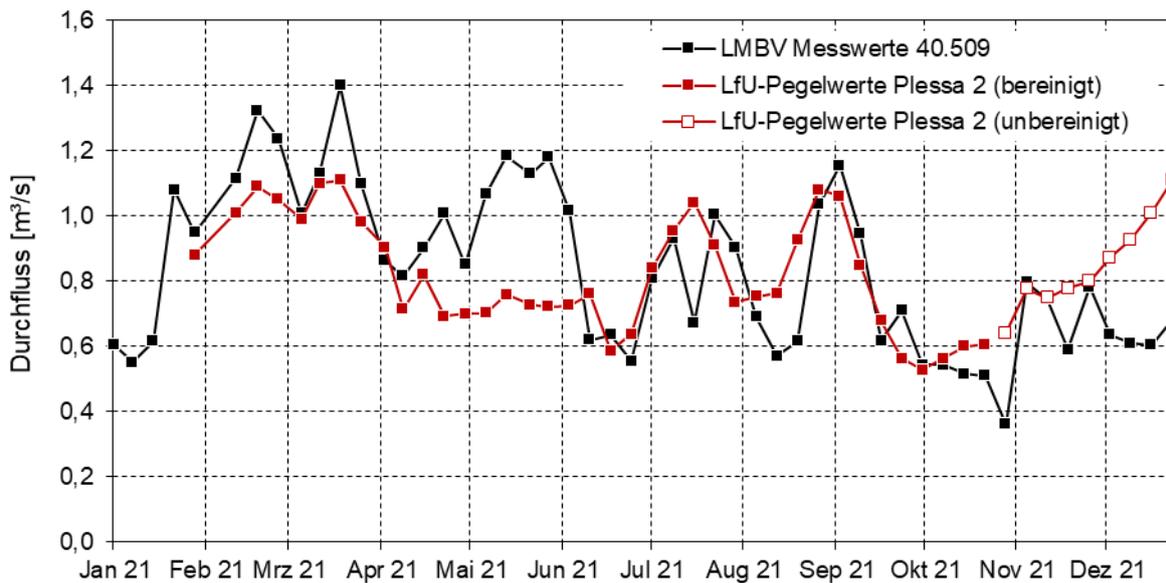


Bild 14: Vergleich der an der LMBV-Messstelle 40.509 als Terminwerte gemessenen und der am LfU-Pegel Plessa 2 termingleich aufgezeichneten Tagesmittelwerte der Durchflusswerte im Hammergraben an der Elstermühle. Wöchentliche Terminwerte 2021.

5.4 Ergebnisse

Die Ausleitungen aus der GWRA Rainitzta und aus der GWRA Pößnitz erfolgen weitgehend kontinuierlich ohne Anpassung an die Dargebotssituation in der Schwarzen Elster. Dies führt insbesondere in Niedrigwassersituationen und während der Sommermonate zu einer Dominanz der Abflüsse aus der Rainitzta und aus der Pößnitz am Abfluss der Schwarzen Elster.

Durch die Inbetriebnahme der Horizontalfilterbrunnen in Brieske 2017/2018 und der Wasserbehandlung in der GWRA Pößnitz wurde der Abfluss in der Pößnitz dauerhaft erhöht. Der Anteil der Pößnitz am Durchfluss der Schwarzen Elster am Pegel Lauchhammer liegt seitdem zwischen 10 % und 70 %. Der Oberlauf der Wolschinka liegt im Absenkungsbereich der Horizontalfilterbrunnen Brieske. Die Wolschinka hat deshalb im Oberlauf keinen Grundwasserschluss mehr. Grundwasserzutritt erfolgt erst wieder im Unterlauf der Wolschinka. Der Durchfluss der Wolschinka hat am Durchfluss der Schwarzen Elster am Pegel Lauchhammer einen Anteil von maximal 2 %.

Im Abschnitt zwischen Kleinkoschen und Biehlen gibt es keine relevanten Gebietszuflüsse zur Schwarzen Elster. Relevante Gebietszuflüsse treten der Schwarzen Elster zwischen den Pegeln Biehlen und Lauchhammer aus dem Ruhlander Schwarzwasser und dem Biehler Binnengraben zu. Der Durchfluss wird an den amtlichen Gütemessstellen nicht erfasst.

Das Stoffmengenbilanzmodell (Abschnitt 7) berücksichtigt bisher nicht die Einleitung aus der Kläranlage der BASF Schwarzheide. Die Kläranlage der BASF Schwarzheide leitet kontinuierlich rund 0,09 m³/s behandeltes Wasser in die Schwarze Elster ein. Der Volumenstrom ist mengenanteilig gering, aufgrund seiner Pufferung aber hydrochemisch relevant.



Im Abschnitt zwischen Lauchhammer und Elsterwerda mündet der Hammergraben als maßgeblicher Zufluss in die Schwarze Elster ein. Der anteilige Durchfluss des Hammergrabens in der Schwarzen Elster in Elsterwerda lag zu den Stichtagen zwischen 16 % und 29 %. Auch der mit dem Großthiemig-Grödener Binnengraben vereinigte Hauptschradengraben bildete einen relevanten Durchflussanteil in der Schwarzen Elster.

Der Durchfluss im Hammergraben wird vom Durchfluss im Floßgraben und im Plessa-Dolsthaidaaer Binnengraben dominiert. Die Bauwasserhaltung der WBA Plessa ist mit lediglich < 1 % am Durchfluss des Hammergrabens beteiligt.

Die an den Pegeln Biehlen 1 und Lauchhammer von der SGL gemessenen Terminwerte liegen systematisch höher als die vom LfU erfassten Durchflüsse in der Schwarzen Elster als Tagesmittelwerte am gleichen Ort und am gleichen Tag. Die Differenz beträgt +10 % bis +20 %.

Zur Ursachenklärung der Differenzen zwischen den bilanzierten und gemessenen Durchflüssen am Pegel Lauchhammer und an der temporären Messstelle in Kahla werden weiterführende Untersuchungen empfohlen, da die festgestellten Differenzen für die Wasser- und Stoffmengenbilanz relevant sind.

Der Vergleich zwischen dem im Rahmen des Sondermonitorings Schwarze Elster gemessenen Durchflusses als Terminwerte und den Tagesmittelwerten des LfU am Pegel Plessa 2 zeigt zeitweise beträchtliche Abweichungen. Die Durchflüsse spreizen sich in beide Richtungen bis über ± 30 %. Es wird empfohlen, insbesondere während der Sommermonate Kontrollmessungen durchzuführen, die Pegelganglinien des LfU vertiefend auszuwerten und gemeinsam mit dem LfU die Ursachen möglicher Abweichungen aufzuklären.

6 Wasserbeschaffenheit

6.1 Gewässernutzer und hydrochemische Zäsuren

Hinsichtlich der Wasserbeschaffenheit können die Fließgewässer im Untersuchungsgebiet zwischen Kleinkoschen und Elsterwerda wie folgt gruppiert werden:

- die Schwarze Elster einschließlich der angeschlossenen Speicher (Speicher Niemtsch, Restlöcher Koschen und Skado),
- das behandelte Wasser aus dem Sanierungsbergbau (GWRA Rainitz, GWRA Pößnitz),
- das teilneutralisierte Wasser aus dem Sanierungsgebiet Klettwitz/Lauchhammer (RL 28 / RL 29, Kleine Restlochkette),
- das unbehandelte Wasser aus der Bauwasserhaltung der WBA Plessa,
- das gereinigte Industrieabwasser der Kläranlage der BASF Schwarzheide,
- das schwach saure Wasser aus den Binnengräben im Einzugsgebiet sowie
- die Fließgewässer aus dem Heideland und aus dem Schraden.

Im Zeitraum von 2015 bis 2021 waren folgende Zäsuren für die Wasserbeschaffenheit in den Fließgewässern maßgeblich (Tabelle 16).

Tabelle 16: Hydrochemische Zäsuren im EZG der Schwarzen Elster zwischen Kleinkoschen und Elsterwerda 2015 bis 2021.

Fließ	Zeitraum	Ereignis	Betroffene Messstelle
Schwarze Elster	Herbst 2015	Inbetriebnahme der Inlake-Wasserbehandlung im RL 28 mit Phasen der Rückversauerung.	SE_0050
	Juli 2019	Versauerung der Schwarze Elster unterhalb der Einmündung des Hammergrabens.	SE_0070
	Juli 2020	Inbetriebnahme der Inlake-Wasserbehandlung im RL 112.	SE_0070
Ableiter Niemtsch	September 2018	Rutschung der Innenkippe im Senftenberger See und anschließende Sanierungsarbeiten.	ASENS_0010
Hammergraben	Juli 2020	Inbetriebnahme der Inlake-Wasserbehandlung im RL 112.	HAMGR_0020
Schwarze Elster und Nebenfließe	März bis Juli 2019	Bauwasserhaltung der EUGAL im Bereich Lauchhammer und Elsterwerda.	---

6.2 Zeitreihe von 2015 bis 2021

Für die Messstellen in der Schwarzen Elster zwischen Kleinkoschen und Elsterwerda sowie die Messstellen der Zuflüsse sind die statistischen Kennzahlen für den pH-Wert, die Alkalinität und die Sulfatkonzentration im Längsschnitt in der Tabelle 17 aufgeführt. Im Rahmen der Stichtagsmessungen wurden auch die Fließe untersucht, für die keine langjährigen Datenreihen vorliegen (Abschnitt 6.3.1). Das betrifft den Biehleener Binnengraben, den Sieggraben Arnsdorf und die Wolschinka.

Tabelle 17: Statistische Kennzahlen der Wasserbeschaffenheit der Schwarzen Elster und relevanter Zuflüsse zur Schwarzen Elster. Die Zuflüsse sind blau unterlegt. Daten von 2015 bis 2021. Quelle: LMBV und LfU.

Fließ- gewässer	Messstelle	Durchfluss	pH-Wert	$K_{S4,3}/K_{B4,3}$	Sulfat
		m ³ /s	Vor Ort	mmol/L	mg/L
Schwarze Elster Kleinkoschen	SE_0015		$\frac{7,6 \pm 0,4}{[6,2...8,7]}$ (74)	$\frac{1,4 \pm 0,2}{[0,9...2,0]}$ (74)	$\frac{105 \pm 15}{[70...140]}$ (74)
	Pegel Kleinkoschen 3	MQ = 0,85	---	---	---
Rainitza	RAI-0010	MQ = 0,37	$\frac{7,2 \pm 0,3}{[6,6...8,3]}$ (77)	$\frac{0,6 \pm 0,3}{[0,2...1,7]}$ (77)	$\frac{625 \pm 90}{[259...831]}$ (76)
Schwarze Elster Senftenberg	SE_0020		$\frac{7,5 \pm 0,3}{[6,7...8,6]}$ (87)	$\frac{1,0 \pm 0,3}{[0,2...1,6]}$ (87)	$\frac{340 \pm 190}{[90...700]}$ (87)
Speicher Niemsch	ASENS_0010	MQ = 0,57	$\frac{7,4 \pm 0,3}{[6,8...8,3]}$ (86)	$\frac{0,8 \pm 0,1}{[0,4...1,0]}$ (86)	$\frac{170 \pm 20}{[140...210]}$ (86)
Schwarze Elster Biehlen	SE_0025		$\frac{7,0 \pm 0,3}{[6,3...7,7]}$ (89)	$\frac{0,8 \pm 0,3}{[0,2...1,5]}$ (87)	$\frac{280 \pm 130}{[95...600]}$ (87)
	Pegel Biehlen 1	MQ = 1,64	---	---	---
Schwarze Elster Schwarzheide	SE_0030		$\frac{7,0 \pm 0,2}{[6,6...7,6]}$ (89)	$\frac{0,8 \pm 0,3}{[0,2...1,4]}$ (89)	$\frac{280 \pm 120}{[90...580]}$ (89)
KA BASF	BASF_M5	MQ = 0,09	$\frac{8,0 \pm 0,3}{[7,2...8,5]}$ (365)	Keine Messung	$\frac{460 \pm 130}{[120...900]}$ (365)
Pößnitz	PÖ_0020	MQ = 0,51	$\frac{7,0 \pm 0,3}{[6,3...7,9]}$ (87)	$\frac{0,6 \pm 0,2}{[0,2...1,4]}$ (87)	$\frac{880 \pm 130}{[680...1.250]}$ (87)
Schwarze Elster Ruhland	SE_0040		$\frac{6,8 \pm 0,3}{[5,8...7,5]}$ (88)	$\frac{1,2 \pm 0,2}{[0,8...1,8]}$ (88)	$\frac{410 \pm 135}{[150...710]}$ (88)
RL 28	40.574.S 40.402	MQ = 0,13	$\frac{6,0 \pm 1,2}{[3,0...7,1]}$ (29)	$\frac{0,3 \pm 0,7}{[-1,5...1,5]}$ (29)	$\frac{400 \pm 40}{[330...480]}$ (29)
Ruhlander Schwarzwasser	RUSW_0030	Kein Q	$\frac{6,6 \pm 0,5}{[5,7...7,8]}$ (74)	$\frac{0,8 \pm 0,1}{[0,6...1,1]}$ (74)	$\frac{83 \pm 9}{[57...100]}$ (74)
Schwarze Elster Lauchhammer	SE_0050		$\frac{6,6 \pm 0,4}{[5,9...8,0]}$ (87)	$\frac{1,0 \pm 0,2}{[0,7...1,5]}$ (87)	$\frac{350 \pm 105}{[175...570]}$ (87)
	Pegel Lauchhammer	MQ = 3,05	---	---	---
Hammergraben	HAMGR_0020		$\frac{3,1 \pm 0,2}{[2,7...3,7]}$ (87)	$\frac{-2,4 \pm 1,3}{[-7,8...-0,4]}$ (87)	$\frac{705 \pm 130}{[440...1.400]}$ (87)
	Pegel Plessa 2	MQ = 0,70	---	---	---
Schwarze Elster Kahla ¹⁾	40.552.S	Kein Q	$\frac{5,7 \pm 1,1}{[3,3...6,9]}$ (96)	$\frac{0,3 \pm 0,4}{[-1,4...1,3]}$ (92)	$\frac{470 \pm 81}{[280...670]}$ (93)
Hauptschraden- graben	HSGR_0010	Kein Q	$\frac{6,0 \pm 0,7}{[3,7...6,9]}$ (86)	$\frac{0,3 \pm 0,1}{[0,2...0,6]}$ (81)	$\frac{180 \pm 85}{[104...480]}$ (86)
Großthiemig- Grödener BiGr	BIGRE_0010	Kein Q	$\frac{6,5 \pm 0,2}{[5,8...7,3]}$ (87)	$\frac{0,5 \pm 0,1}{[0,2...0,8]}$ (87)	$\frac{200 \pm 34}{[130...290]}$ (86)
Schwarze Elster Elsterwerda	SE_0070		$\frac{6,3 \pm 0,5}{[3,4...7,2]}$ (81)	$\frac{0,3 \pm 0,3}{[-0,8...1,1]}$ (87)	$\frac{380 \pm 90}{[210...610]}$ (81)

¹⁾ Daten erst ab 2019 verfügbar

Mittelwert ± Standardabweichung
[Minimum...Maximum] (Anzahl Messwerte)

6.2.1 Schwarze Elster zwischen Kleinkoschen und Biehlen

Die Schwarze Elster in **Kleinkoschen** (SE_0015) ist mit $\text{pH} = 7 \dots 8$ neutral (Tabelle 17 und Bild 15). Das Fließ ist mit $K_{\text{S4,3}} = 1 \dots 2 \text{ mmol/L}$ gut gepuffert (Bild 16), wobei die höheren Werte jeweils in der zweiten Jahreshälfte gemessen werden. Die Sulfatkonzentration ist mit 110 mg/L niedrig (Bild 17). Die Eisen-gesamt Konzentration lag im Mittel der Jahre 2015 bis 2021 bei $1,0 \text{ mg/L}$. Höhere Eisenkonzentrationen werden meist bei höheren Durchflüssen in der abflussreichen Jahreszeit gemessen.

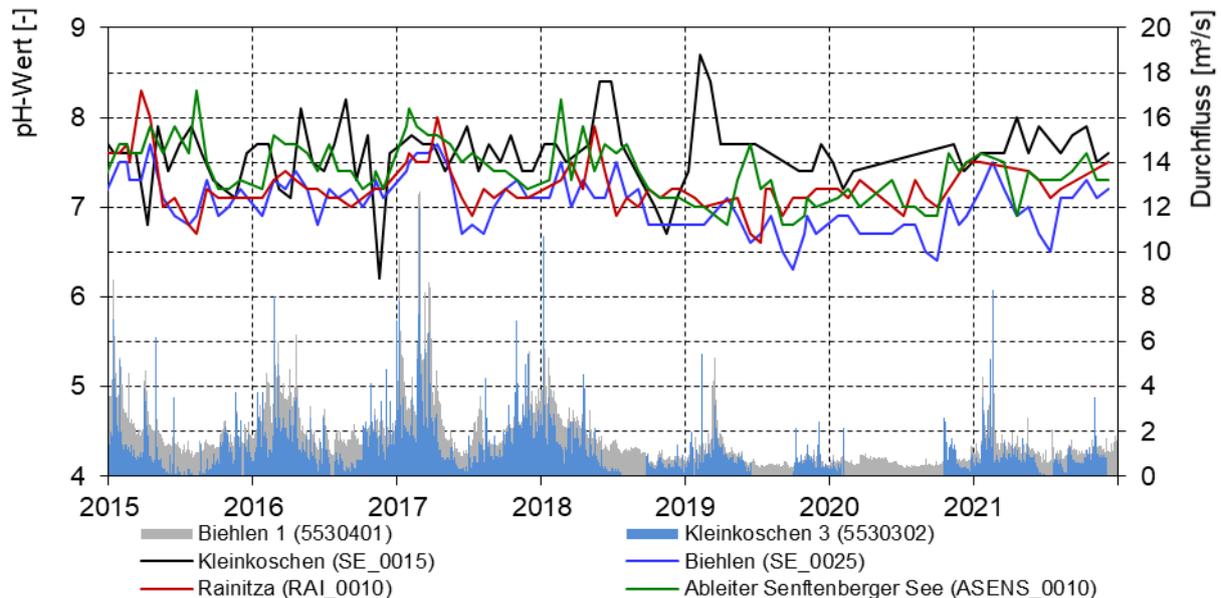


Bild 15: pH-Wert in der Schwarzen Elster in Kleinkoschen und in Biehlen, in der Rainitza und im Ableiter Senftenberger See sowie Durchfluss der Schwarzen Elster an den Pegeln Kleinkoschen 3 (UP) und Biehlen 1.

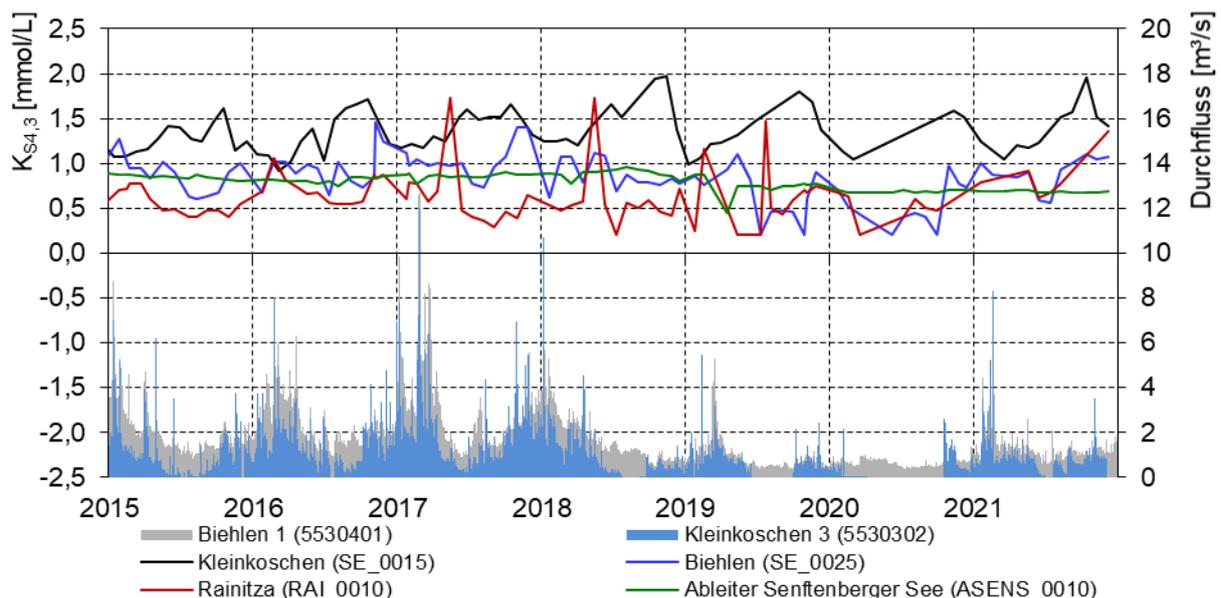


Bild 16: Alkalinität als $K_{\text{S4,3}}$ in der Schwarzen Elster in Kleinkoschen und in Biehlen, in der Rainitza und im Ableiter Senftenberger See sowie Durchfluss der Schwarzen Elster an den Pegeln Kleinkoschen 3 (UP) und Biehlen 1.

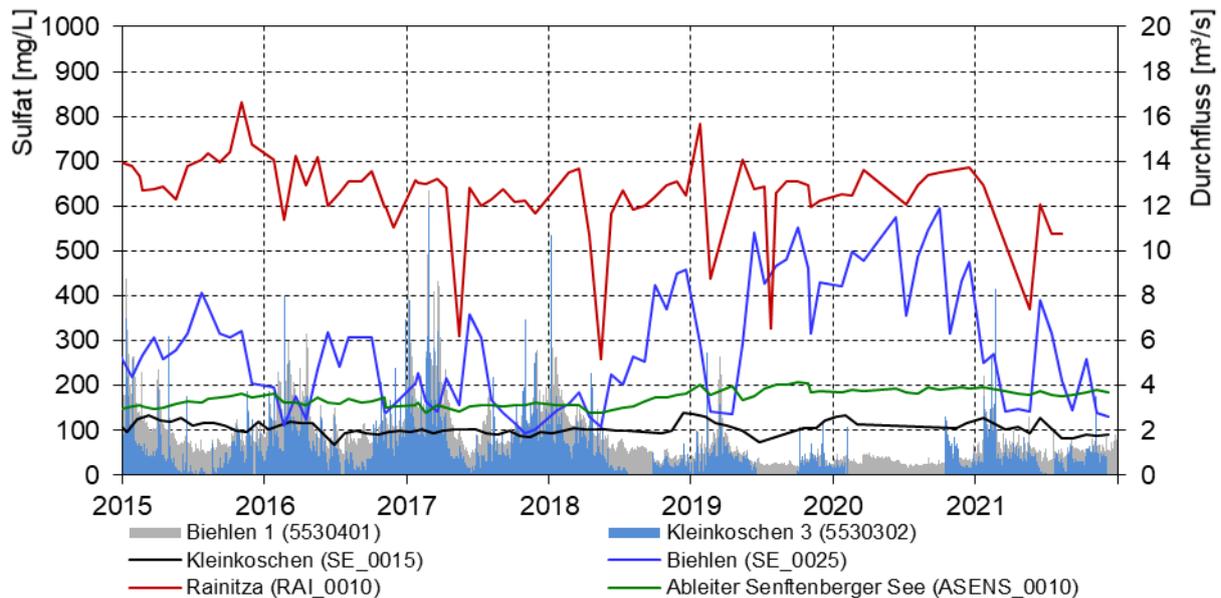


Bild 17: Sulfatkonzentration in der Schwarzen Elster in Kleinkoschen und in Biehlen, in der Rainitza und im Ableiter Senftenberger See sowie Durchfluss in der Schwarzen Elster am Pegel Kleinkoschen 3 (UP) und Biehlen 1.

Bis zum Pegel Biehlen münden die Rainitza und der Ableiter des Speichers Niemtsch in die Schwarze Elster. Das gereinigte Sumpfungswasser aus der GWRA Rainitza und der Ableiter Niemtsch führen im Vergleich zum Oberstrom der Schwarzen Elster ein schwach gepuffertes Wasser.

Der neutrale Zustand des **Speichers Niemtsch** wird seit Jahrzehnten mit der Durchleitung von $MQ \approx 0,6 \text{ m}^3/\text{s}$ gepuffertem Elsterwasser aufrechterhalten. Im Speicher Niemtsch werden in diesem Volumenstrom im Mittel $0,6 \text{ mmol/L}$ Säurekapazität als $K_{S4,3}$ gezehrt (Tabelle 17). Infolge des Böschungsbruchs im September 2018 sank die Säurekapazität im Ableiter Niemtsch von $0,8$ auf $0,7 \text{ mmol/L}$ (Bild 16). Für die Sulfatkonzentration wurde in der direkten und indirekten Folge des Böschungsbruchs eine Erhöhung um 30 mg/L auf aktuell 190 mg/L am Ableiter Niemtsch festgestellt (Bild 17).

Das in der **GWRA Rainitza** gereinigte Wasser ist neutral und mit $0,6 \text{ mmol/L}$ schwach gepuffert. Die Sulfatkonzentration ist mit 625 mg/L hoch (Tabelle 17).

Die Schwarze Elster in **Biehlen** (Messstelle SE_0025) ist nach Einmündung der Rainitza und des Speichers Niemtsch mit pH-Werten zwischen $\text{pH} = 6,3 \dots 7,7$ neutral. Die Alkalinität als $K_{S4,3}$ ist im Vergleich zur Messstelle in Kleinkoschen auf rund $0,8 \text{ mmol/L}$ gesunken. Die Sulfatkonzentration steigt auf dem Gewässerabschnitt im Mittel auf 280 mg/L an (Tabelle 17).

Seit dem Jahr 2015 werden in der Schwarzen Elster in Biehlen während der Sommermonate regelmäßig niedrigere Säurekapazitäten $K_{S4,3}$ und erhöhte Sulfatkonzentrationen registriert (Bild 16 und Bild 17). Ursache ist der verringerte Zufluss gut gepufferten und sulfatarmen Wassers aus dem Oberstrom bei weiterhin stabiler Einleitung schwach gepufferten und sulfatreichen Wassers aus der GWRA Rainitza. In den Trockenjahren 2019 und 2020, in denen erst ab der Einmündung der Rainitza wieder ein Abfluss in der Schwarzen Elster zu verzeichnen war, dominiert die

Beschaffenheit der Rainitza die Beschaffenheit der Schwarzen Elster. Die erhöhte Sulfatkonzentration während der Sommermonate blieb im gesamten Gewässerverlauf der Schwarzen Elster bis zum Pegel Lauchhammer erhalten.

6.2.2 Schwarze Elster zwischen Biehlen und Lauchhammer

Im Gewässerabschnitt der **Schwarzen Elster zwischen Biehlen und Schwarzheide** (Messstelle SE_0030) unterliegt die Wasserbeschaffenheit keiner starken Veränderung (Tabelle 17). Im weiteren Verlauf bis zur Messstelle Ruhland münden die Pößnitz und die Wolschinka in die Schwarze Elster. Zudem wird das gereinigte Industrieabwasser aus der Kläranlage der BASF Schwarzheide in die Schwarze Elster eingeleitet.

Die **Pößnitz** an der Messstelle PÖ_0020 oberhalb der Einmündung der Wolschinka ist mit pH-Werten zwischen $\text{pH} = 6,3 \dots 7,9$ neutral. Das in der GWRA Pößnitz gereinigte Wasser zeichnet sich mit $K_{\text{S}4,3} \approx 0,6$ mmol/L durch eine schwache Pufferung aus. Die Sulfatkonzentration betrug im Mittel der Jahre von 2015 bis 2021 ca. 880 mg/L (Tabelle 17). Eine hydrochemische Zäsur im Ablauf der GWRA Pößnitz aufgrund der Mitbehandlung des Grundwassers aus den Horizontalfilterbrunnen Brieske seit 2017/2018 kann aus den Datenreihen nicht abgeleitet werden.

Die **Kläranlage BASF Schwarzheide** (Messstelle BASF_M5) leitet im langjährigen Mittel rund 90 L/s Wasser mit einem stabilen schwach alkalischen pH-Wert von 8,0 in die Schwarze Elster ein. Die Alkalinität als $K_{\text{S}4,3}$ wird in der Anlage nicht gemessen. Die Sulfatkonzentration liegt im langjährigen Mittel bei 460 mg/L. Das Stoffmengenbilanzmodell (Abschnitt 7) berücksichtigt die KA der BASF Schwarzheide bisher nicht.

Die **Schwarze Elster in Ruhland** (Messstelle SE_0040) ist nach der Einmündung der Pößnitz und des gereinigten Abwassers aus der Kläranlage der BASF mit pH-Werten zwischen $\text{pH} = 6,5 \dots 7,1$ neutral (Bild 18). Ungeachtet des Zustroms schwach gepufferten Wassers aus der Pößnitz stieg die Alkalinität $K_{\text{S}4,3}$ auf dem Gewässerabschnitt zwischen Schwarzheide und Ruhland um 0,4 mmol/L auf 1,2 mmol/L im Mittel (Bild 19 und Tabelle 17). Selbst als in den Jahren 2019 und 2020 die Säurekapazität $K_{\text{S}4,3}$ an der oberstromigen Messstelle, bedingt durch den dominanten Abfluss aus der Rainitza, auf Werte unter 0,5 mmol/L sank, wurde in Ruhland ein $K_{\text{S}4,3} \geq 1,0$ mmol/L gemessen (Bild 19). Der Grund dafür wird im gut gepufferten Abwasser der Kläranlage der BASF Schwarzheide gesehen. Messwerte zur Säurekapazität $K_{\text{S}4,3}$ liegen bisher allerdings nicht vor. Diesbezüglich wird ein Austausch mit dem Betreiber der Kläranlage BASF Schwarzheide empfohlen.

Die Sulfatkonzentration steigt auf der Fließstrecke der Schwarzen Elster zwischen Schwarzheide und Ruhland im Mittel um 130 auf 410 mg/L und unterliegt einer jahreszeitlichen Dynamik mit höheren Werten im Sommer und niedrigeren Werten während abflussreicher Perioden (Bild 20, Tabelle 17). Während der Trockenwettersituation in den Jahren 2019 und 2020 wurden aufgrund der erhöhten Sulfatkonzentration im Oberstrom der Schwarzen Elster ab der Einmündung der Rainitza durchgängig erhöhte Sulfatkonzentrationen von rund 600 mg/L in Ruhland gemessen.

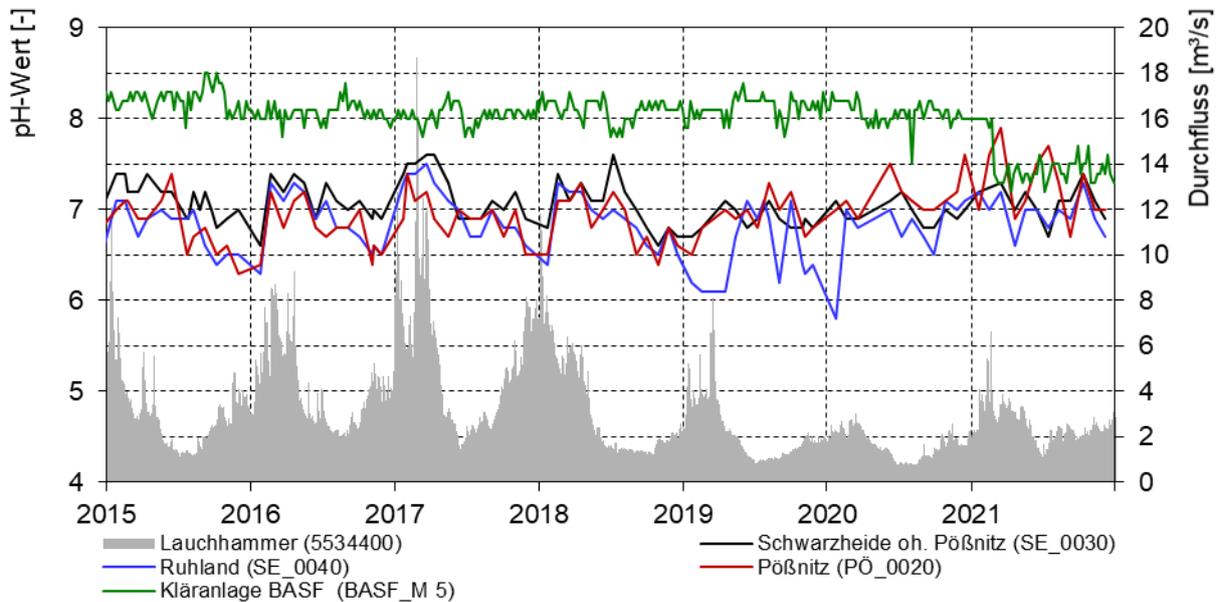


Bild 18: pH-Wert in der Schwarzen Elster in Schwarzheide und Ruhland, in der Pößnitz und am Ableiter der Kläranlage BASF Schwarzheide sowie der Durchfluss der Schwarzen Elster am Pegel Lauchhammer.

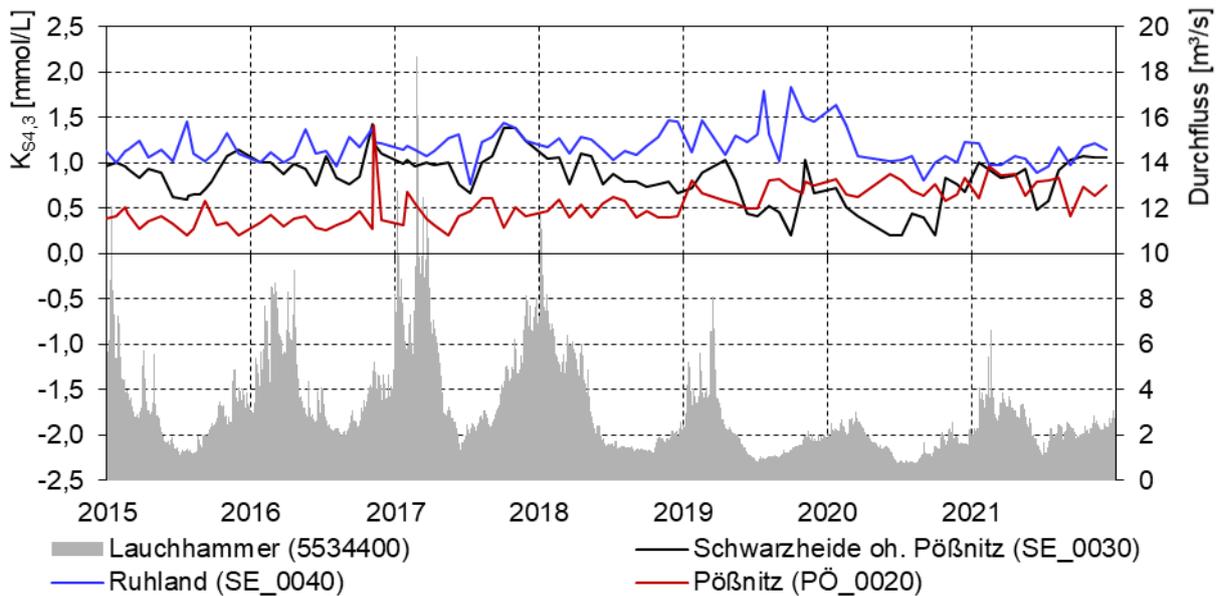


Bild 19: Alkalinität $K_{S4,3}$ in der Schwarzen Elster in Schwarzheide und Ruhland, in der Pößnitz sowie Durchfluss der Schwarzen Elster am Pegel Lauchhammer. Die $K_{S4,3}$ wird in der Kläranlage BASF Schwarzheide nicht erhoben.

Die Eisen-gesamt-Konzentration korreliert mit dem Durchfluss und ist insbesondere während der abflussreichen Jahreszeit erhöht (Bild 21). Temporär werden Konzentrationsspitzen > 5 mg/L gemessen. Diese Konzentrationsspitzen in der Schwarzen Elster werden durch die Einleitung aus der Pößnitz verursacht. Zudem fließt aus der Wolschinka eisenreiches Wasser in den Unterlauf der Pößnitz (Abschnitt 6.3.1). Die Eisenkonzentration der Kläranlage BASF Schwarzheide ist mit < 1 mg/L stabil niedrig.

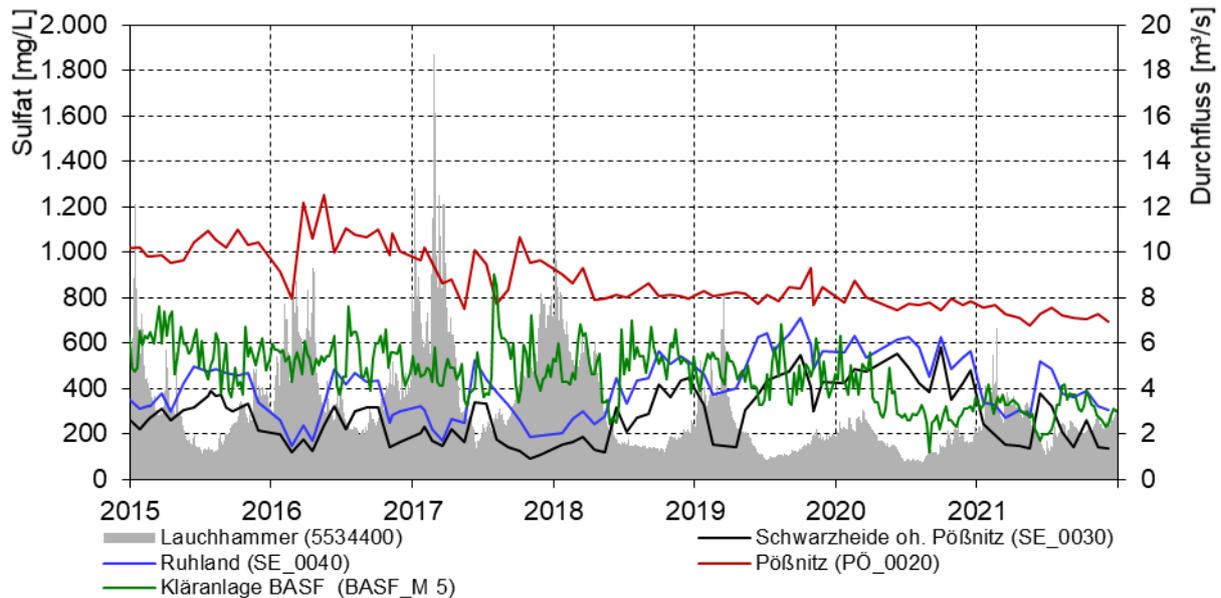


Bild 20: Sulfatkonzentration in der Schwarzen Elster in Schwarzheide und Ruhland, in der Pößnitz und im Ableiter der Kläranlage BASF Schwarzheide sowie Durchfluss der Schwarzen Elster am Pegel Lauchhammer.

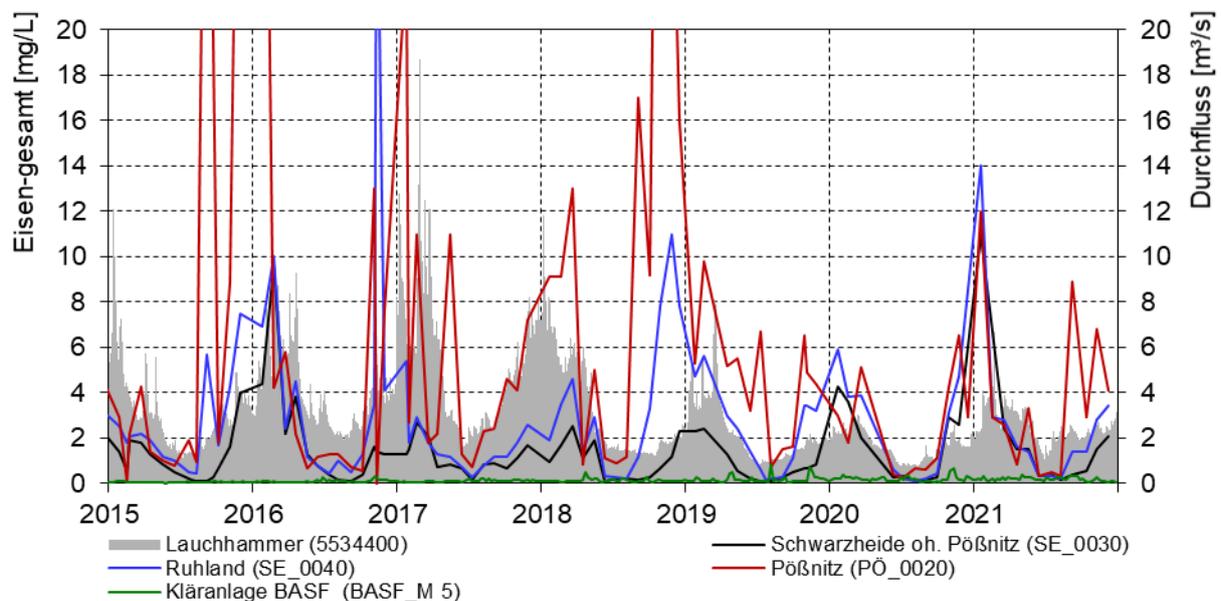


Bild 21: Eisen-gesamt in der Schwarzen Elster zwischen Schwarzheide und Ruhland, in der Pößnitz und der Kläranlage BASF Schwarzheide sowie Durchfluss der Schwarzen Elster am Pegel Lauchhammer.

Von Ruhland bis Lauchhammer münden rechts der Ausleiter vom Ferdinandsteich (RL 28) und links das Ruhlander Schwarzwasser, das zuvor den Biehlerer Binnengraben aufnimmt, sowie der Sieggraben Arnsdorf in die Schwarze Elster ein. Für den Biehlerer Binnengraben und den Sieggraben liegen keine behördlichen Daten zum Durchfluss und zur Wasserbeschaffenheit vor. Die Fließe wurden im Rahmen der Stichtagsmessungen 2021 untersucht (siehe Abschnitte 5.3.1 und 6.3.1).

Mit Beginn der Inlake-Wasserbehandlung im Herbst 2015 im **RL 28** (Messstelle 40.574.S und 40.402) wurde der pH-Wert im Ferdinandsteich (RL 28) auf Werte zwischen 6 und 7 angehoben. Phasenweise wurde eine gezielte Rückversauerung zugelassen (Bild 22). Kurzzeitig wurden dann pH-Werte $\text{pH} < 4$ gemessen. Das behandelte Wasser ist mit 0,3 mmol/L schwach gepuffert bzw. phasenweise ungepuffert. Gemäß WRE vom 10.12.2021 ist das pH-Kriterium $6,0 < \text{pH} < 8,5$ für die Ableitung in die Schwarze Elster einzuhalten. Die Sulfatkonzentration im RL 28 betrug im Mittel 400 mg/L (Tabelle 17) und war damit nur während der abflussreichen Jahreszeit höher als die Sulfatkonzentration in der Schwarzen Elster in Lauchhammer (Bild 24). Während der Sommermonate bzw. während der Trockenwetersituation in den Jahren 2019 und 2020 war die Sulfatkonzentration in der Schwarzen Elster höher als im RL 28.

Das **Ruhlander Schwarzwasser** an der Messstelle RUSW_0030 oberhalb der Einmündung des Biehlener Binnengrabens ist ein schwach saures Fließgewässer mit pH-Werten zwischen 6 und 7 (Bild 22). Die Sulfatkonzentration liegt stabil unter 100 mg/L (Bild 24).

Die **Schwarze Elster in Lauchhammer** (Messstelle SE_0050) ist nach der Einleitung aus dem Ferdinandsteich (RL 28) und der Gebietszuflüsse aus dem Ruhlander Schwarzwasser, dem Biehlener Binnengraben und dem Siegraben Arnsdorf mit pH-Werten zwischen 6 und 7 schwach sauer (Bild 22). Die Säurekapazität der Schwarzen Elster wird durch die Zuflüsse gezehrt. Im Betrachtungszeitraum von 2015 bis 2021 lag die Alkalinität als $\text{K}_{\text{S}4,3}$ zwischen 0,7 und 1,5 mmol/L (Bild 23). Die Einmündung der Binnengraben (Ruhlander Schwarzwasser, Biehlener Binnengraben, Siegraben Arnsdorf) verdünnt die Sulfatkonzentration auf diesem Gewässerabschnitt. Die Sulfatkonzentration lag im langjährigen Mittel in Lauchhammer bei 350 mg/L. Während der Sommermonate wurden zeitweise erhöhte Sulfatkonzentrationen gemessen (Bild 24).

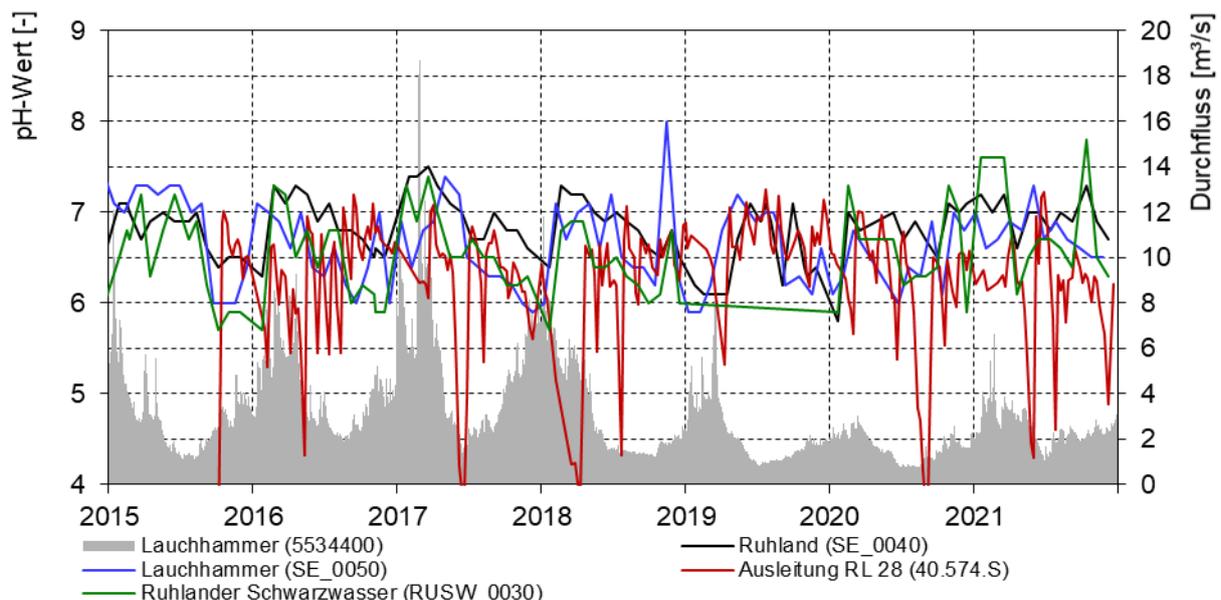


Bild 22: pH-Wert in der Schwarzen Elster in Ruhland und Lauchhammer sowie im Ausleiter RL 28 und im Ruhlander Schwarzwasser sowie Durchfluss der Schwarzen Elster am Pegel Lauchhammer.

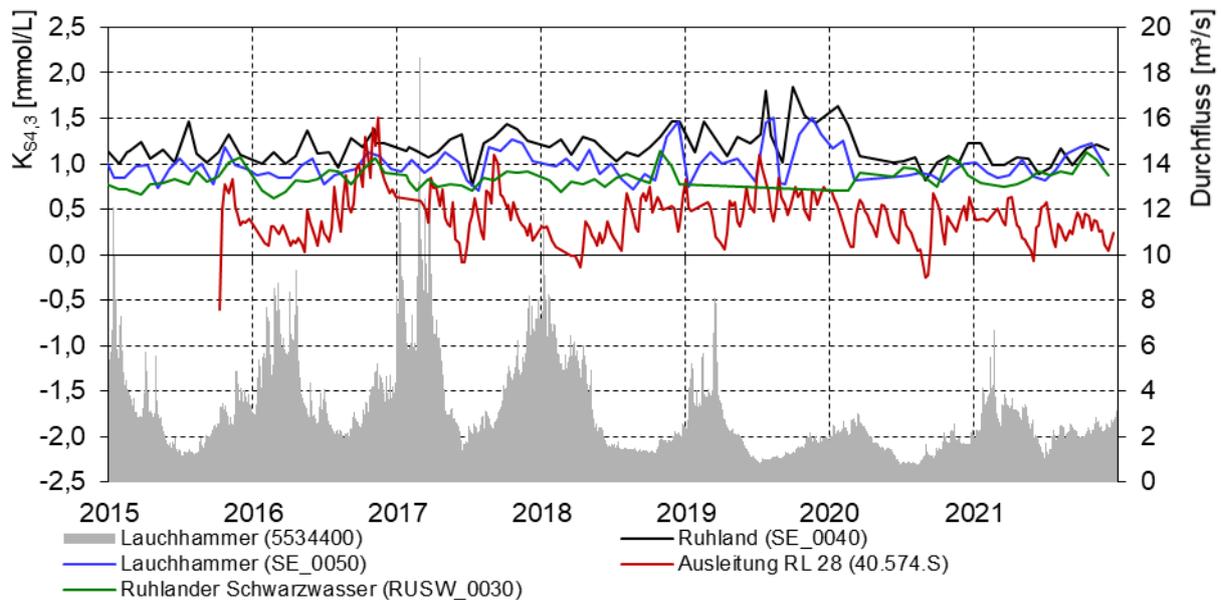


Bild 23: Alkalinität $K_{S4,3}$ in der Schwarzen Elster in Ruhland und Lauchhammer sowie im Ausleiter RL 28 und im Ruhlander Schwarzwasser sowie Durchfluss der Schwarzen Elster am Pegel Lauchhammer.

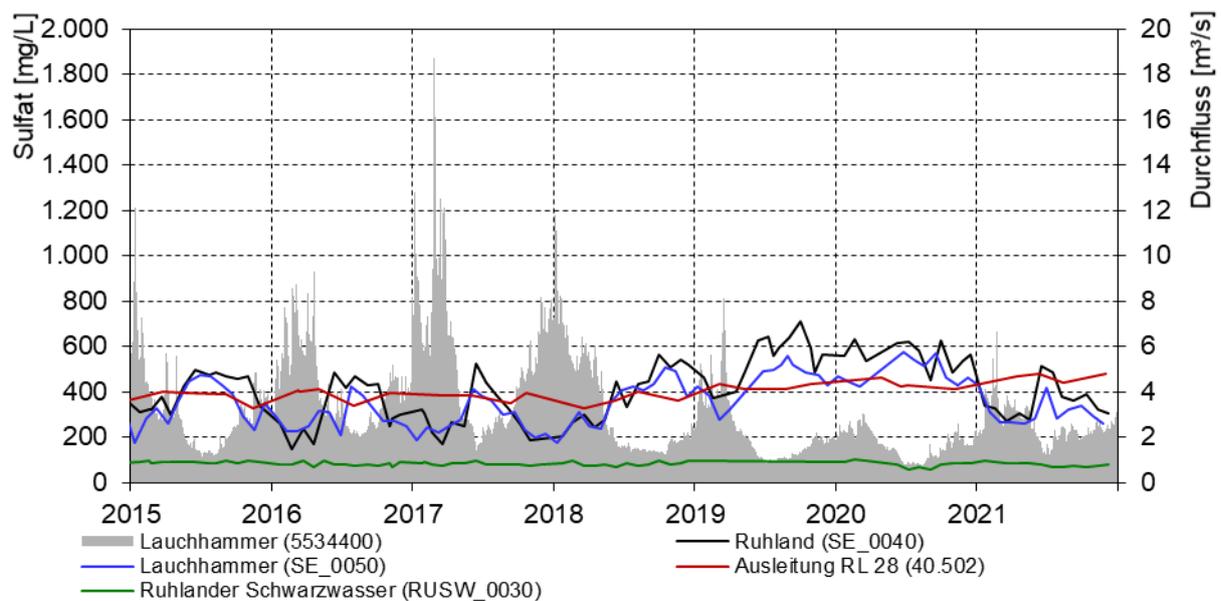


Bild 24: Sulfatkonzentration in der Schwarzen Elster in Ruhland und Lauchhammer sowie im Ausleiter RL 28 und im Ruhlander Schwarzwasser sowie Durchfluss der Schwarzen Elster am Pegel Lauchhammer.

6.2.3 Schwarze Elster zwischen Lauchhammer und Elsterwerda

Zwischen Lauchhammer und Elsterwerda münden von Norden der Hammergraben sowie von Süden der Hauptschradengraben und der Großthiemig-Grödener Binnen-graben in die Schwarze Elster.

Das Wasser im **Hammergraben** (Messstelle HAMGR_0020) ist mit $\text{pH} \approx 2,7 \dots 3,7$ stark sauer (Tabelle 17). Seit Juli 2020 erfolgt eine Teilneutralisation im RL 112. Im Ergebnis dessen konnten der pH-Wert um 0,4 pH-Einheiten auf $\text{pH} \approx 3,4$ angehoben (Bild 25) und die Acidität $K_{B4,3}$ von rund 3,6 mmol/L auf 1,0 mmol/L gesenkt werden (Bild 26). Die Sulfatkonzentration im Hammergraben ist mit 710 mg/L deutlich höher als in der Schwarzen Elster (Bild 27). Im Mündungsbereich des Hammergrabens und der Schwarzen Elster wird seit Sommer 2019 im Auftrag der LMBV ein Sondermonitoring durchgeführt (Abschnitt 5.3.2).

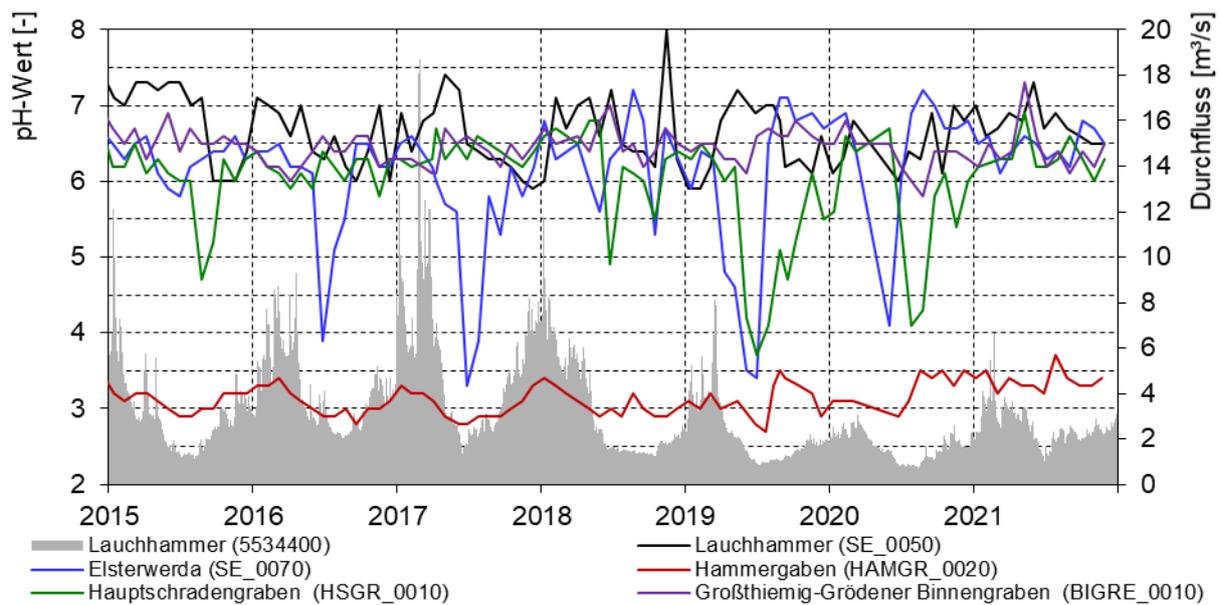


Bild 25: pH-Wert in der Schwarzen Elster in Lauchhammer und in Elsterwerda, im Hammergraben, im Hauptschradengraben, im Großthiemig-Grödener Binnengraben sowie Durchfluss der Schwarzen Elster am Pegel Lauchhammer.

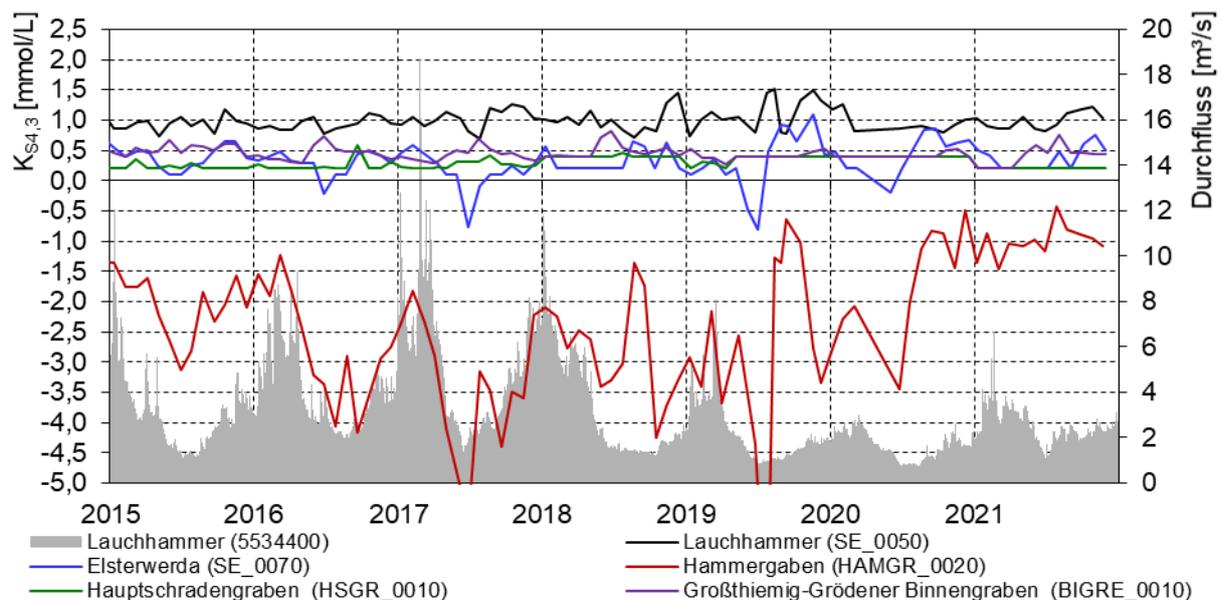


Bild 26: Alkalinität als $K_{S4,3}$ in der Schwarzen Elster in Lauchhammer und Elsterwerda, im Hammergraben, im Hauptschradengraben, im Großthiemig-Grödener Binnengraben sowie Durchfluss der Schwarzen Elster am Pegel Lauchhammer.

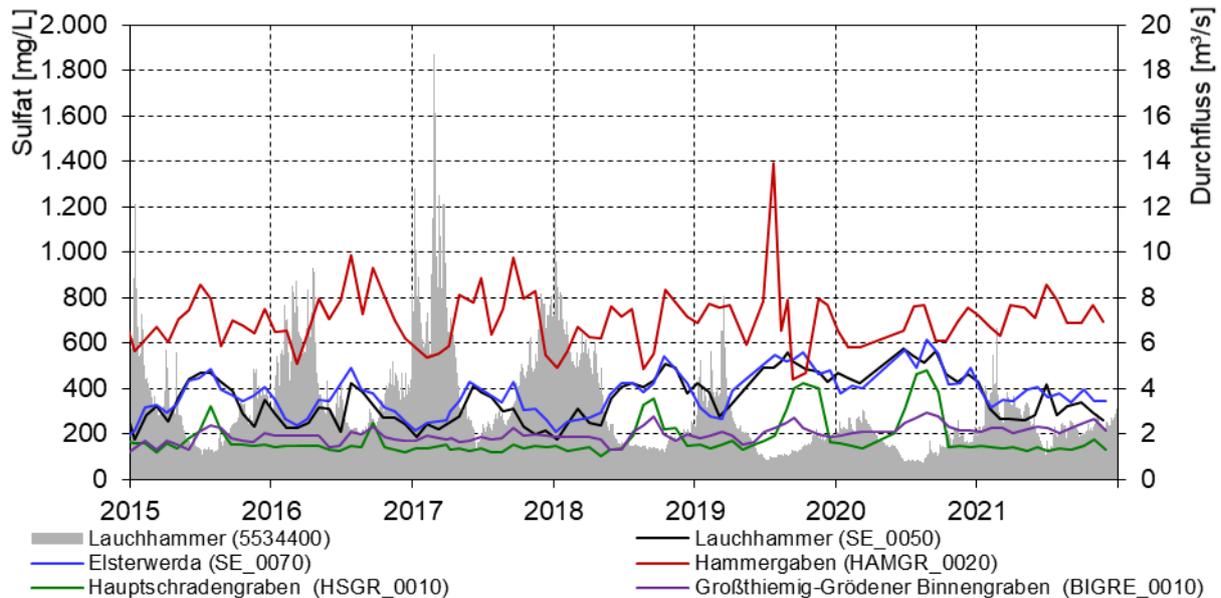


Bild 27: Sulfatkonzentration in der Schwarzen Elster in Lauchhammer und Elsterwerda, im Hammergraben, im Hauptschradengraben, im Großthiemig-Grödener Binnengraben sowie Durchfluss der Schwarzen Elster am Pegel Lauchhammer.

Der **Hauptschradengraben** (Messstelle HSGR_0010) entwässert die südliche Elster-
aue. Er ist schwach sauer und versauert während der Sommermonate regelmäßig
(Bild 25). Kennzeichnend sind in dieser Zeit kurzzeitig pH-Werte zwischen 4 und 5.
Das Fließ ist mit $K_{S4,3} < 0,4$ mmol/L schwach gepuffert (Bild 26). Dieser Wert stellt die
laboranalytische Bestimmungsgrenze des Untersuchungslabors für den $K_{S4,3}$ dar, so
dass keine exakte quantitative Kenntnis über die Alkalinität bzw. Acidität besteht. Es
wird empfohlen, die Basenkapazität $K_{B4,3}$ in das Monitoringprogramm des Landes mit
aufzunehmen. Die Sulfatkonzentration im Hauptschradengraben liegt im Mittel bei
180 mg/L und ist damit deutlich niedriger als in der Schwarzen Elster (Bild 27). Bei
einem überwiegend grundwasserbürtigen Abfluss während der Sommermonate
werden in Verbindung mit einer Versauerung regelmäßig auch höhere Sulfatkonzen-
trationen gemessen. Der Anteil des Hauptschradengrabens am Durchfluss in der
Schwarzen Elster in Elsterwerda beträgt maximal 9 % (Tabelle 14).

Der **Großthiemig-Grödener Binnengraben** (Messstelle BIGRE_0010) ist schwach
sauer und mit $K_{S4,3} \approx 0,5$ mmol/L schwach gepuffert (Bild 26). Die Sulfatkonzentration
ist mit 200 mg/L deutlich niedriger als in der Schwarzen Elster (Bild 27).

Die **Schwarze Elster in Elsterwerda** (Messstelle SE_0070) nach der Einmündung
des Hammergrabens und der südlichen Gebietszuflüsse zeigte von 2015 bis 2020
während der Sommermonate regelmäßig Phasen der Versauerung mit pH-Werten
zwischen 3,5 und 6,0 (Bild 25). Seit der Teilneutralisation im RL 112 im Juli 2020
werden in Elsterwerda pH-Werte zwischen 6,0 und 7,0 gemessen. Dennoch wird die
Säurekapazität auf dem Gewässerabschnitt zwischen Lauchhammer und Elsterwerda
stark gezehrt. Ungeachtet der Inlake-Wasserbehandlung im RL 112 versauert die
Schwarze Elster weiterhin streckenweise nach Einmündung des Hammergrabens
(siehe Abschnitt 6.3.1). Die Sulfatkonzentration in der Schwarzen Elster liegt im Mittel
der Jahre 2015 bis 2021 bei 380 mg/L und unterscheidet sich nicht sehr stark von der
Sulfatkonzentration an der oberstromigen Messstelle in Lauchhammer (Bild 27). Der

starke Sulfateintrag aus dem Hammergraben und die verdünnende Wirkung durch den Hauptschradengraben und den Großthiemig-Grödener Binnengraben halten sich etwa die Waage. Mit der Inbetriebnahme der Inlake-Wasserbehandlung im RL 112 werden in Elsterwerda deutlich niedrigere Eisenkonzentrationen gemessen (Bild 28).

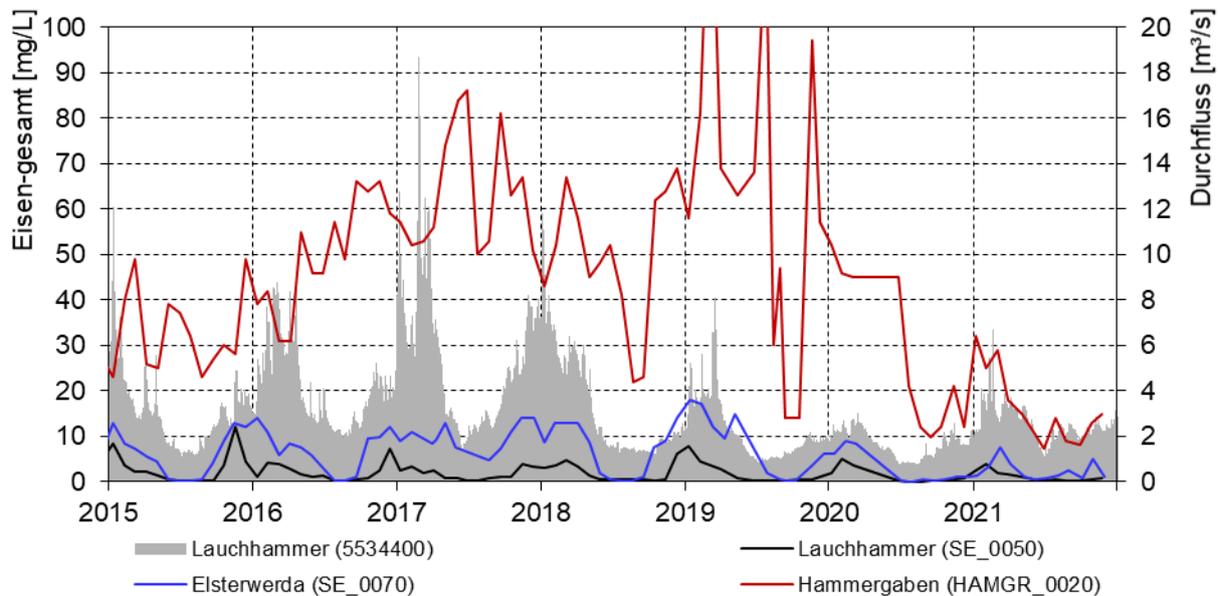


Bild 28: Eisen-gesamt in der Schwarzen Elster in Lauchhammer und Elsterwerda sowie Durchfluss der Schwarzen Elster am Pegel Lauchhammer. Eisen-gesamt im Hammergraben. Im Hauptschradengraben und im Großthiemig-Grödener Binnengraben wird Eisen nicht erhoben.

6.3 Sondermessungen

6.3.1 Stichtagsmessung 2021

Die hydrochemischen Befunde zu den drei Stichtagsmessungen im Rahmen des vorliegenden Projektes sind in der Tabelle 18 und Tabelle 19 sowie in Bild 29, Bild 30, Bild 31 und Bild 32 für die Kennwerte pH-Wert, Säurekapazität $K_{s4,3}$, Sulfat und Eisen-gesamt auszugsweise dargestellt.

Zu den drei Stichtagsmessungen am 31.08., 06.10. und 11.11.2021 waren für den Durchfluss der Schwarzen Elster in Lauchhammer die Zuflüsse aus dem Oberstrom (Pegel Biehlen) zu 46 % bis 48 %, die Pößnitz zu 20 % bis 25 % und das Ruhlander Schwarzwasser einschließlich des Biehlener Binnengrabens zu 13 % bis 15 % maßgeblich beteiligt. Das RL 28 steuert an allen drei Stichtagen 6 % bis 8 % des Durchflusses der Schwarzen Elster in Lauchhammer bei. Am Durchfluss der Schwarzen Elster in Kahla hatte der Hammergraben schließlich einen Anteil von 20 % bis 30 % (Tabelle 13).

Die Schwarze Elster war zu den Stichtagsmessungen bis zur Einmündung des Hammergrabens mit **pH-Werten** $\geq 7,0$ neutral und in Kahla mit $\text{pH} \geq 6,0 \dots 6,6$ schwach sauer (Tabelle 18 und Bild 29). Zum Zeitpunkt der Messungen waren im Untersuchungsabschnitt die nördlichen Zuflüsse aus der Wolschinka und aus dem Hammergraben versauert. Von den südlichen Zuflüssen führten der Biehlener Binnengraben

und der Hauptschradengraben ein schwach saures Wasser. Alle weiteren Zuflüsse waren zur Stichtagsmessung neutral. Während der Sommermonate bei grundwasserbürtigem Abfluss versauert die Wolschinka regelmäßig auf $\text{pH} < 4$ (Tabelle 18, Messungen am 31.08. und 06.10.2021).

Die Schwarze Elster hatte zu den Stichtagen in Brieske eine **Alkalinität** von 1,3 bis 1,6 mmol/L. Die Einmündung des Ableiters Niemtsch zehrte die Alkalinität in der Schwarzen Elster am Messpunkt Schwarzheide sichtbar um etwa 0,3 bis 0,4 mmol/L (Tabelle 18 und Bild 30). Auf dem Gewässerabschnitt bis Ruhland stieg die Alkalinität wieder auf $K_{\text{S}4,3} > 1,0$ mmol/L, bedingt durch die Einleitung aus der Kläranlage der BASF Schwarzheide, die zu den Stichtagen messtechnisch jedoch nicht erfasst wurde. Durch die Zuflüsse bis zur Elstermühle aus der Pößnitz, aus dem RL 28, aus dem Ruhlander Schwarzwasser und aus dem Sieggraben Arnsdorf wurde die Alkalinität der Schwarzen Elster um 0,1 bis 0,2 mmol/L gering gezehrt. Zwischen Lauchhammer und Elstermühle wurde keine relevante Veränderung der Alkalinität festgestellt. Der Hammergraben zehrte die Alkalinität der Schwarzen Elster stark. Im Rahmen der drei Stichtagsmessungen sank die Alkalinität in der Schwarzen Elster von $K_{\text{S}4,3} \approx 1,0 \pm 0,1$ mmol/L an der Elstermühle auf $K_{\text{S}4,3} < 0,4 \pm 0,1$ mmol/L in Kahla.

Die Schwarze Elster in Brieske hatte zum ersten und dritten Stichtag eine **Sulfatkonzentration** von 80 bzw. 90 mg/L. Zur zweiten Stichtagsmessung am 06.10.2021 wurde hier 380 mg/L Sulfat gemessen (Tabelle 19 und Bild 32). Die Ursache der Unterschiede liegen in der Rainitza. Die niedrigen Sulfatkonzentrationen in der Schwarzen Elster wurden bei weniger als 30 L/s Durchfluss in der Rainitza gemessen. Zur zweiten Stichtagsmessung am 06.10.2021 betrug der Durchfluss in der Rainitza am Pegel Sedlitz etwa 400 L/s. Im RL Niemtsch wurde Sulfat konstant mit 180 mg/L gemessen. Die Einmündung der Pößnitz und der Wolschinka führten zu einem Anstieg der Sulfatkonzentration in der Schwarzen Elster auf rund 140 mg/L. Die von Süden einmündenden Fließe Biehlener Binnengraben, Ruhlander Schwarzwasser und Sieggraben Arnsdorf führen ein sulfatarmes Wasser und verdünnen die Sulfatkonzentration in der Schwarzen Elster in Lauchhammer. Die Beschaffenheit am Ableiter RL 28 wurde im Rahmen der Stichtagsmessung nicht untersucht. Im langjährigen Mittel beträgt die Sulfatkonzentration im RL 28 rund 400 mg/L (Bild 24). Der Zufluss aus RL 28 wirkt deshalb sulfaterhöhend auf die Schwarze Elster. Nur temporär, wenn die Sulfatkonzentration in der Schwarzen Elster erhöht ist, hat die Einleitung von Wasser aus dem RL 28 einen geringen verdünnenden Effekt (06.10.2021). Die Sulfatkonzentration im Hammergraben ist mit > 600 mg/L konstant hoch. Der Hammergraben erhöht die Sulfatkonzentration in der Schwarzen Elster in Kahla situationsbedingt um 80 bis 130 mg/L. An den drei Stichtagen wurden in Kahla Sulfatkonzentrationen zwischen 340 mg/L (11.11.2021) und 440 mg/L (06.10.2021) gemessen.

Alle nördlichen Zuflüsse zur Schwarzen Elster führen erhöhte **Eisenkonzentrationen** (Tabelle 19 und Bild 31). Bezogen auf die Eisenkonzentration sind die Wolschinka (4,3 bis 24 mg/L), die Pößnitz (1,5 bis 6,6 mg/L) und der Hammergraben (5,5 bis 12,6 mg/L) die maßgeblichen Eintragsquellen für die Schwarze Elster. Diese Fließe sind nachweislich bergbaulich geprägt. Die südlichen Zuflüsse zur Schwarzen Elster mit dem Biehlener Binnengraben (1,5 bis 2,8 mg/L), der in das Ruhlander Schwarzwasser (0,7 bis 0,9 mg/L) aufgeht, und der Sieggraben Arnsdorf (0,6 bis 0,7 mg/L) sind für die Eisenbelastung der Schwarzen Elster nicht ursächlich. Die höchste Eisen-

belastung in der Schwarzen Elster wird regelmäßig in Kahla gemessen. Die Spanne der Eisen-gesamt-Konzentration betrug zu den Stichtagen zwischen 0,3 und 3,3 mg/L. Wobei die höchste Konzentration mit 3,3 mg/L am 11.11.2021 gemessen wurde und den Winteraspekt andeutet (Abschnitt 6.2.3).

Die Ergebnisse der Stichtagsmessungen im Untersuchungsabschnitt zwischen Brieske und Kahla in der Schwarzen Elster und deren Zuflüsse ordnen sich gut in die LfU-Datensätze des Jahres 2021 (Abschnitt 6.2) ein.

Tabelle 18: Ergebnisse der Stichtagsmessungen 2021 für den pH-Wert und $K_{S4,3}$ im EZG der Schwarzen Elster zwischen Brieske und Kahla; Zuflüsse sind blau unterlegt; Zuflüsse zu Nebenfließen sind grün unterlegt.

Fließ-gewässer	Mess-stelle	pH-Wert			$K_{S4,3}$ [mmol/L]		
		31.08.2021	06.10.2021	11.11.2021	31.08.2021	06.10.2021	11.11.2021
Schwarze Elster Brieske	SE 020	7,4	7,3	7,6	1,25	1,12	1,55
RL Niemtsch	AS 10	7,2	7,4	7,4	0,68	0,70	0,70
Schwarze Elster oh. Schwarzheide	SE 030	7,2	7,0	7,1	0,97	0,80	1,09
Pößnitz	30.132.S	6,7	7,5	7,3	0,39	0,86	0,79
Wolschinka	30.152.S	3,8	3,9	5,5	-0,29	-0,34	0,04
Schwarze Elster Ruhland	SE 040	7,0	7,0	7,2	1,04	1,02	1,37
Biehlener Binnengraben	BBGr 20	6,1	6,3	6,4	0,43	0,62	0,55
Ruhlander Schwarzwasser	RSW 20	7,5	7,6	7,5	0,89	1,19	1,24
Sieggraben Arnsdorf	SGA 10	7,5	7,6	7,5	0,85	1,16	1,20
Schwarze Elster Lauchhammer	SE 050	7,0	6,9	7,0	0,94	0,90	1,13
Schwarze Elster Elstermühle	SE 051	7,2	7,2	7,1	1,00	0,93	1,11
Hammergraben	40.539.S	3,4	3,5	3,4	-0,72	-0,58	-0,91
Schwarze Elster Kahla	SE 055	6,0	6,6	6,5	0,26	0,52	0,55

Tabelle 19: Ergebnisse der Stichtagsmessungen 2021 für Eisen-gesamt und Sulfat im EZG der Schwarzen Elster zwischen Brieske und Kahla; Zuflüsse sind blau unterlegt; Zuflüsse zu Nebenfließen sind grün unterlegt.

Fließ-gewässer	Mess-stelle	Eisen-gesamt [mg/L]			Sulfat [mg/L]		
		31.08.2021	06.10.2021	11.11.2021	31.08.2021	06.10.2021	11.11.2021
Schwarze Elster Brieske	SE 020	0,26	0,31	0,56	79	377	92
RL Niemtsch	AS 10	0,14	0,06	0,07	183	182	180



Fließ- gewässer	Mess- stelle	Eisen-gesamt [mg/L]			Sulfat [mg/L]		
		31.08.2021	06.10.2021	11.11.2021	31.08.2021	06.10.2021	11.11.2021
Schwarze Elster oh. Schwarzzeide	SE 030	0,20	0,33	1,23	120	292	135
Pößnitz	30.132.S	6,62	1,50	3,55	697	742	660
Wolschinka	30.152.S	4,27	21,20	24,00	277	390	380
Schwarze Elster Ruhland	SE 040	0,52	0,65	2,37	307	434	290
Biehleener Binnengraben	BBGr 20	1,50	2,78	2,50	130	115	110
Ruhlander Schwarzwasser	RSW 20	0,92	0,79	0,74	70	63	71
Sieggraben Arnsdorf	SGA 10	0,72	0,62	0,58	71	63	73
Schwarze Elster Lauchhammer	SE 050	0,22	0,28	0,78	280	376	242
Schwarze Elster Elstermühle	SE 051	0,17	0,14	0,51	263	352	257
Hammergraben	40.539.S	8,09	5,48	12,60	687	662	609
Schwarze Elster Kahla	SE 055	0,61	0,32	3,34	399	443	341

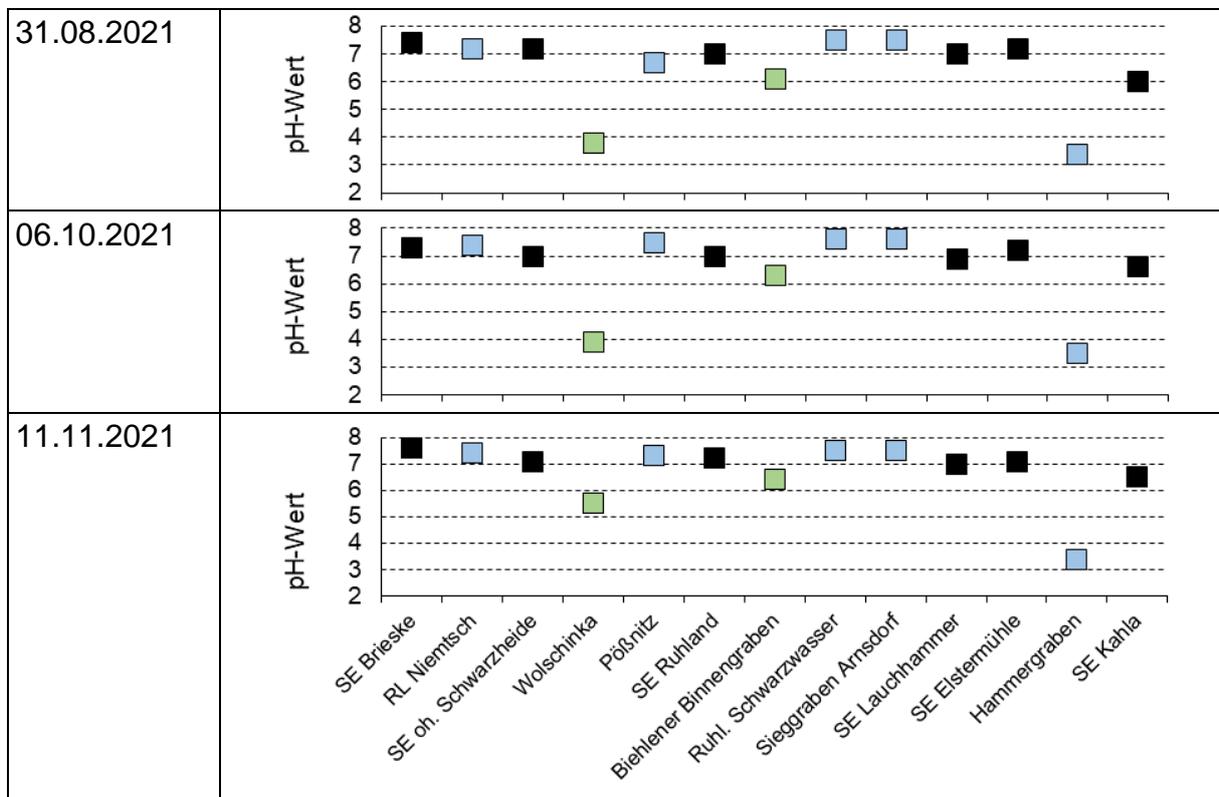


Bild 29: Längsprofil des pH-Wertes im Untersuchungsabschnitt der Schwarzen Elster zu den Stichtagsmessungen.

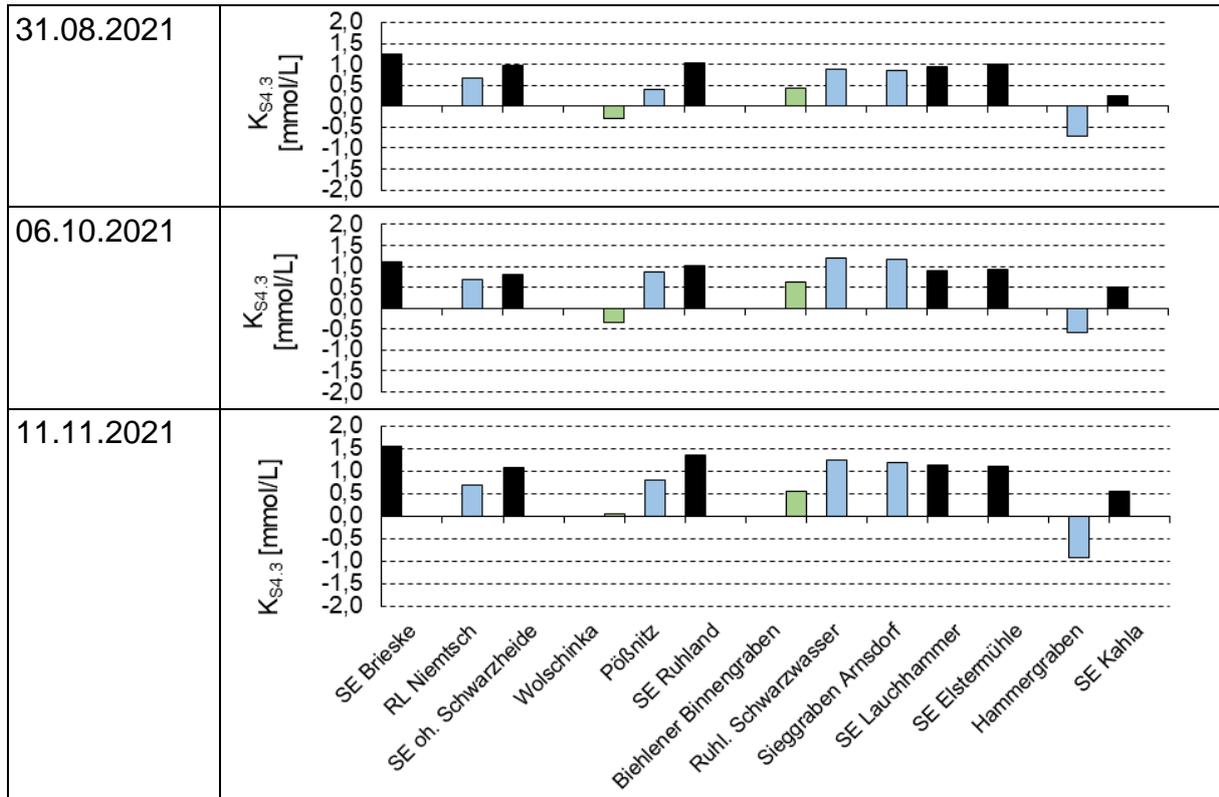


Bild 30: Längsprofil der Säurekapazität $K_{S4,3}$ im Untersuchungsabschnitt der Schwarzen Elster zu den Stichtagsmessungen.

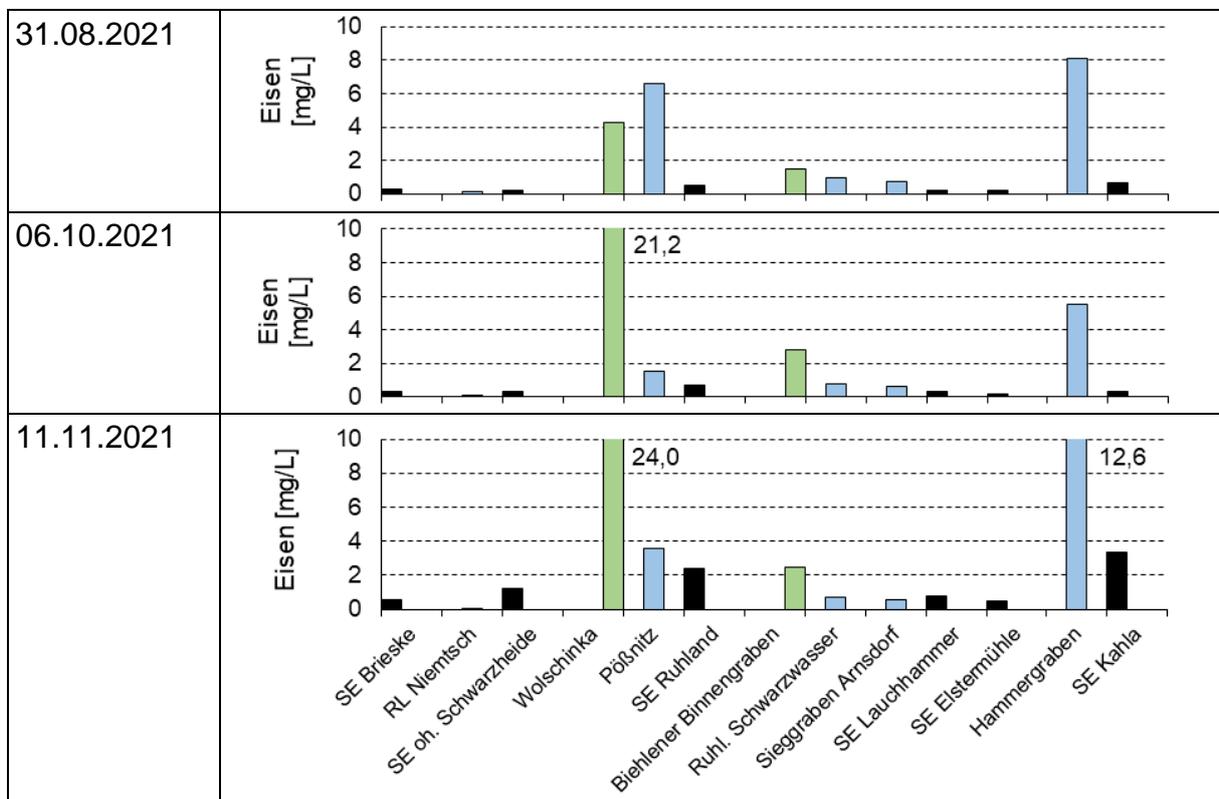


Bild 31: Längsprofil der Eisen-gesamt-Konzentration im Untersuchungsabschnitt der Schwarzen Elster zu den Stichtagsmessungen.

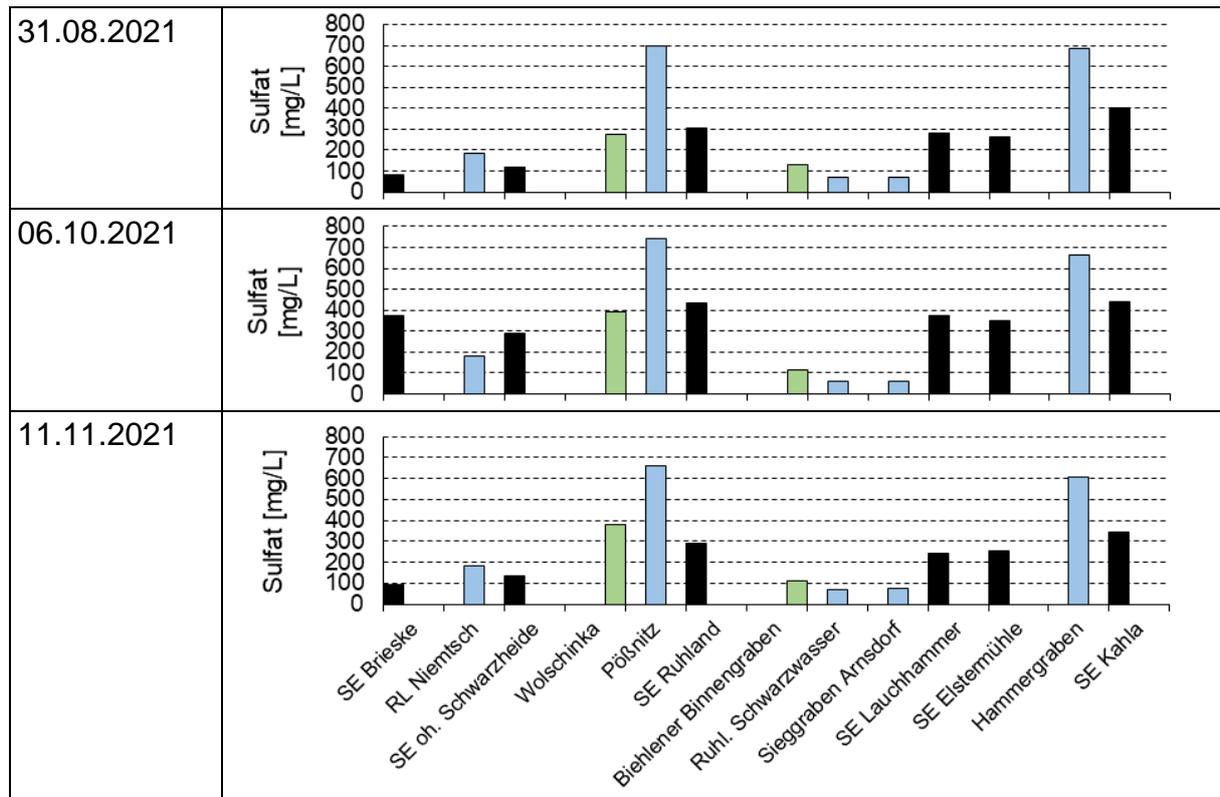


Bild 32: Längsprofil der Sulfatkonzentration im Untersuchungsabschnitt der Schwarzen Elster zu den Stichtagsmessungen.

Im weiteren Verlauf bis Elsterwerda münden der Hauptschradengraben, der zuvor den Biehleener Binnengraben aufnimmt, in die Schwarze Elster. Beide Fließ-e sind schwach sauer und schwach gepuffert (Tabelle 20 und Tabelle 21). Hinsichtlich der Sulfat-konzentration wirken sie verdünnend auf die Schwarze Elster (Tabelle 23 und Bild 27). Die Eisenkonzentration lag an den sechs Stichtagen des Monitorings im Zuge der Untersuchungen zu den Prüffällen zwischen 1,2 und 10,4 mg/L und war zeitweilig höher als in der oberstromigen Schwarzen Elster in Kahla (Tabelle 22). Der Kennwert Eisen wird an diesen zwei Messstellen vom behördlichen Monitoring nicht erfasst. Der Gutachter empfiehlt, die Kennwerte zukünftig zu erfassen. In der Schwarzen Elster in Elsterwerda werden insbesondere in den Wintermonaten erhöhte Eisenkonzentrationen gemessen (Bild 28).

Tabelle 20: Ergebnisse der Stichtagsmessungen 2021 für den pH-Wert im Hauptschradengraben und im Großthiemig-Grödener Binnengraben (Die Zuflüsse sind blau unterlegt).

Fließ-gewässer	Mess-stelle	pH-Wert (vor-Ort)					
		02.06.2021	08.07.2021	04.08.2021	02.09.2021	05.10.2021	03.11.2021
Hauptschradengraben	HSGr 10	6,3	6,1	6,1	6,5	6,1	6,0
Großthiemig-Grödener Binnengraben	GtBGr 10	6,4	6,2	6,2	6,1	6,2	6,2

Tabelle 21: Ergebnisse der Stichtagsmessungen 2021 für $K_{S4,3}$ im Hauptschradengraben und im Großthiemig-Grödener Binnengraben (Die Zuflüsse sind blau unterlegt).

Fließ-gewässer	Mess-stelle	$K_{S4,3}$ [mmol/L]					
		02.06.2021	08.07.2021	04.08.2021	02.09.2021	05.10.2021	03.11.2021
Hauptschraden-graben	HSGr 10	0,20	0,22	0,25	0,53	0,20	0,15
Großthiemig-Grödener Binnengraben	GtBGr 10	0,51	0,52	0,71	0,49	0,47	0,48

Tabelle 22: Ergebnisse der Stichtagsmessungen 2021 für Eisen-gesamt im Hauptschraden-graben und im Großthiemig-Grödener Binnengraben (Die Zuflüsse sind blau unterlegt).

Fließ-gewässer	Mess-stelle	Eisen-gesamt [mg/L]					
		02.06.2021	08.07.2021	04.08.2021	02.09.2021	05.10.2021	03.11.2021
Hauptschraden-graben	HSGr 10	1,2	2,6	4,5	3,4	2,3	2,0
Großthiemig-Grödener Binnengraben	GtBGr 10	3,4	5,0	10,4	7,5	5,9	4,2

Tabelle 23: Ergebnisse der Stichtagsmessungen 2021 für Sulfat im Hauptschradengraben und im Großthiemig-Grödener Binnengraben (Die Zuflüsse sind blau unterlegt).

Fließ-gewässer	Mess-stelle	Sulfat [mg/L]					
		02.06.2021	08.07.2021	04.08.2021	02.09.2021	05.10.2021	03.11.2021
Hauptschraden-graben	HSGr 10	131	131	148	123	140	160
Großthiemig-Grödener Binnengraben	GtBGr 10	234	235	224	216	234	255

6.3.2 Sondermonitoring Schwarze Elster von 2019 bis 2021

Das Sondermonitoring Schwarze Elster der LMBV wird seit dem Versauerungsschub der Schwarzen Elster im Juli 2019 an vier Messstellen wöchentlich und an sechs Messstellen monatlich durchgeführt (siehe Abschnitte 4.3.2 und 5.3.2). Ungeachtet der Umsetzung verschiedener wasserwirtschaftlicher und hydrochemischer Maßnahmen, wie z. B. die Inbetriebnahme der Konditionierung im RL 112 im Juli 2020, neigt die Schwarze Elster nach der Einmündung des Hammergrabens weiterhin zur Versauerung. In den Jahren 2019 bis 2021 traten immer wieder Phasen auf, in denen in der Schwarzen Elster in Kahla $\text{pH} < 6$ gemessen wurde (Tabelle 24 und Bild 36).

Tabelle 24: Phasen der Versauerung in der Schwarzen Elster (SE) in Kahla mit pH-Werten $\text{pH} < 6$ von 2019 bis 2021 sowie hydrochemische Kennwerte im Hammergraben (HG) (Messstelle 40.539) im entsprechenden Zeitraum.

Zeitraum	pH-Wert in Kahla in der Schwarzen Elster	Mischungs- anteil HG:SE	Hammergraben		
			pH-Wert	$K_{S4,3}/K_{B4,3}^*$	$K_{B8,2}$
			---	mmol/L	mmol/L
07/2019	3,6	36 %	2,6	-9,6	13,0
10/2019	4,4	9 %	2,7	-7,4	11,0
02/2020 bis 07/2020	3,7 bis 6,0	14 % bis 27 %	2,9 bis 3,2	-5,0 bis -1,6	2,9 bis 5,7
Beginn der Inlake-Wasserbehandlung im RL 112					
02/2021 bis 03/2021	5,8	20 % bis 29 %	3,3	-1,4	2,1 bis 2,8
05/2021 bis 09/2021	5,0 bis 6,0	18 % bis 41 %	3,1 bis 3,6	-1,7 bis -0,3	1,3 bis 3,1

*) negative Werte stehen für die Basenkapazität $K_{B4,3}$

Die Wasserbeschaffenheit im Hammergraben an der Elstermühle (Messstelle 40.539) wird von der Wasserbeschaffenheit des stark sauren und sulfatreichen Floßgrabens (Messstelle 40.541) dominiert (Tabelle 25). Durch die Einmündung des schwach sauren und sulfatarmen Plessa-Dolsthaider Binnengrabens (Messstelle 40.549) wird der Hammergraben verdünnt (Bild 33 bis Bild 35).

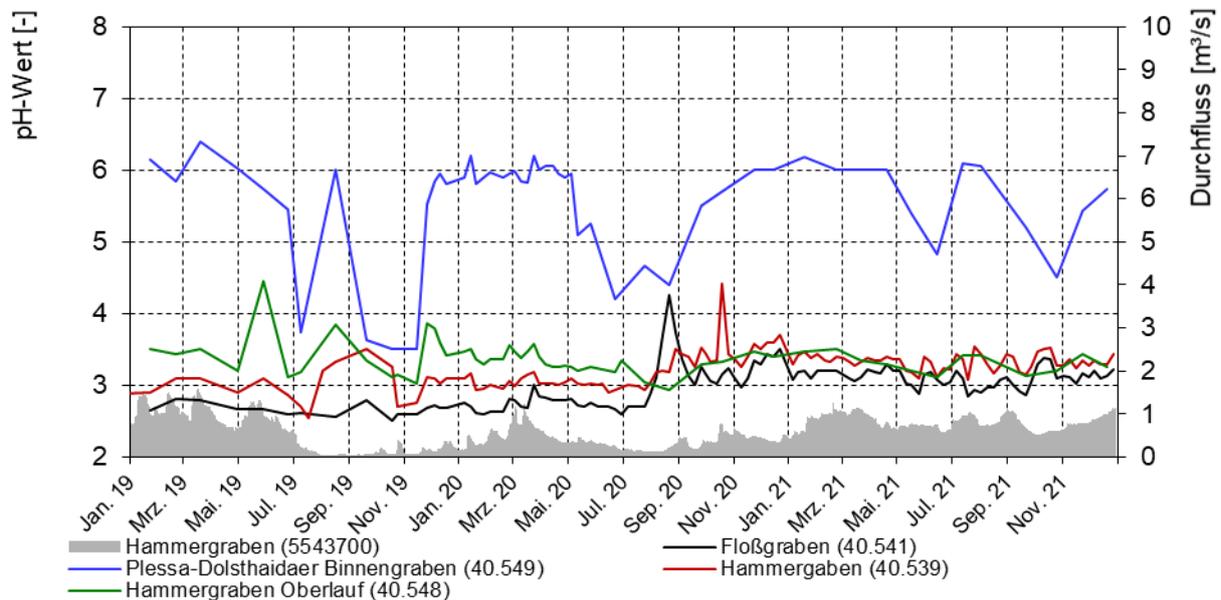


Bild 33: pH-Wert im Hammergraben an der Elstermühle, im Floßgraben, im Plessa-Dolsthaider Binnengraben und im Oberlauf des Hammergrabens sowie Durchfluss im Hammergraben am Pegel Plessa 2.

Die Versauerung der Schwarzen Elster im ersten Halbjahr 2020, vor der Inbetriebnahme der provisorischen Konditionierungsanlage im RL 112, erstreckte sich erneut bis mindestens Elsterwerda (Bild 25). Die Ursache der Versauerung war vor allem die hohe Säurelast des Hammergrabens (Bild 37). Der Anteil des Hammergrabens am Durchfluss in der Schwarzen Elster betrug rund 20 %.

Durch die Teilneutralisation im RL 112 wurde die Acidität im Hammergraben von $K_{B4,3} = 3,6$ mmol/L auf rund 1,0 mmol/L bzw. im Floßgraben am Ablauf des RL 112 von $K_{B4,3} = 8,8$ mmol/L auf 2,3 mmol/L verringert (Tabelle 25). Der pH-Wert im Hammergraben wurde durch die Inlake-Wasserbehandlung um 0,4 pH-Einheiten auf $\text{pH} \approx 3,4$ angehoben.

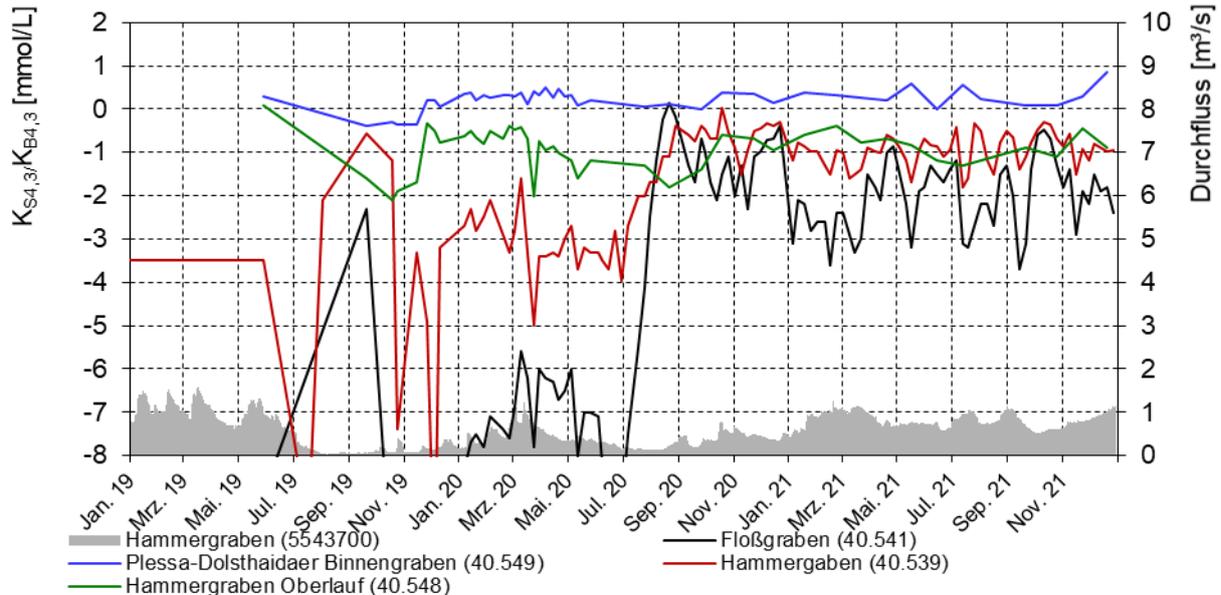


Bild 34: $K_{S4,3}/K_{B4,3}$ im Hammergraben an der Elstermühle, im Floßgraben, im Plessa-Dolsthaider Binnengraben und im Oberlauf des Hammergrabens sowie Durchfluss im Hammergraben am Pegel Plessa 2.

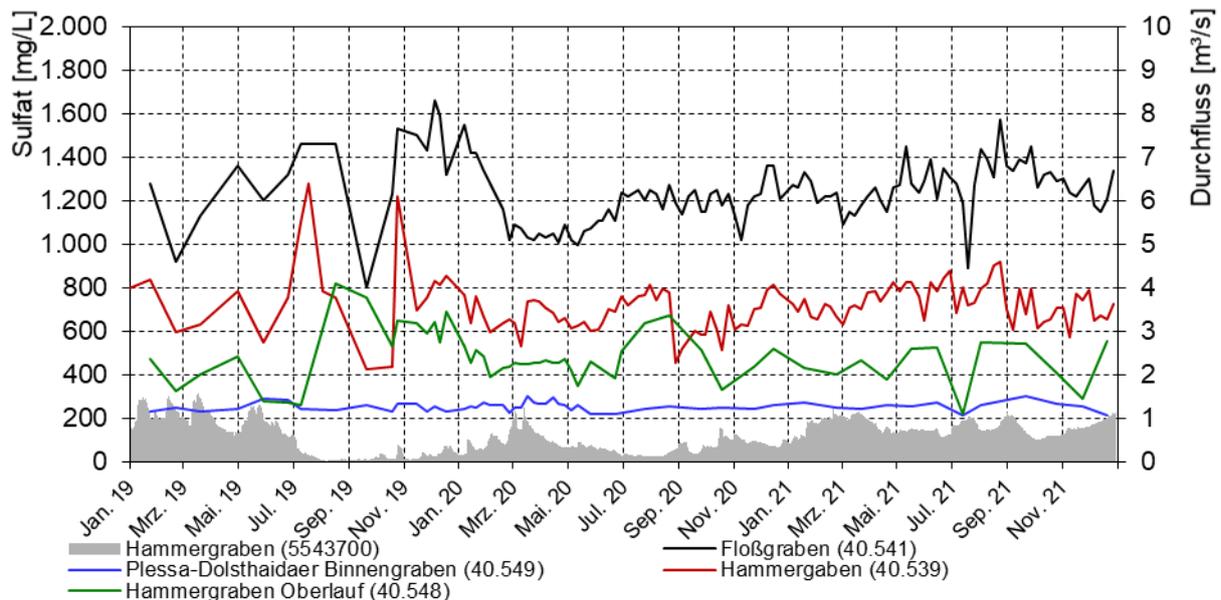


Bild 35: Sulfat im Hammergraben an der Elstermühle, im Floßgraben, im Plessa-Dolsthaider Binnengraben und im Oberlauf des Hammergrabens sowie Durchfluss im Hammergraben am Pegel Plessa 2.

Tabelle 25: Statistische Kennzahlen der Wasserbeschaffenheit in der Schwarzen Elster und im Hammergraben und dessen Zuflüsse. Die Zuflüsse zur Schwarzen Elster sind blau unterlegt. Die Zuflüsse zum Hammergraben sind grün hinterlegt. Daten von 2019 bis 2021, Quelle: LMBV und LfU.

Fließ- gewässer	Mess- stelle	Mittlerer Durchfluss	pH-Wert	$K_{S4,3}/K_{B4,3}$	Sulfat
		m ³ /s	Vor Ort	mmol/L	mg/L
Schwarze Elster Lauchhammer	40.558.S	---	$6,9 \pm 0,2$ [6,4...7,6] (107)	$1,1 \pm 0,3$ [0,7...1,8] (107)	390 ± 107 [200...580] (107)
	Pegel Lauch- hammer	2,08	---	---	---
Hammergraben Oberlauf	40.548 40.518	0,173	$3,4 \pm 0,2$ [2,9...4,5] (55)	$-0,9 \pm 0,5$ [-2,1...0,1] (45)	480 ± 120 [220...820] (55)
Plessa-Dolsthaidaer Binnengraben	40.549 40.519	0,217	$5,5 \pm 0,8$ [3,5...6,4] (54)	$0,2 \pm 0,2$ [-0,4...0,9] (45)	255 ± 20 [210...300] (54)
Floßgraben am Ablauf RL 112 vor der Konditi- onierung im RL 112 ¹⁾	40.550 40.512	0,261	2,7 (2)	-8,8 (2)	1.280 ± 50 [1.100...1.400] (79)
Floßgraben am Ablauf RL 112 nach der Konditionierung im RL 112 ¹⁾			$3,4 \pm 1,1$ [2,7...9,7] (77)	$-2,3 \pm 1,4$ [-8,8...0,8] (77)	
Floßgraben vor Mündung in Hammergraben vor Konditionierung im RL 112	40.541 40.511	0,245	$2,7 \pm 0,1$ [2,5...3,0] (41)	$-7,9 \pm 2,1$ [-13...-2,3] (33)	1.240 ± 145 [800...1.700] (118)
Floßgraben vor Mündung in Hammergraben nach Konditionierung im RL 112			$3,1 \pm 0,2$ [2,7...4,3] (77)	$-2,0 \pm 1,2$ [-7,5...0,14] (76)	
Hammergraben Elstermühle vor Konditionierung im RL 112 (Juli 2020)	40.539 40.509	0,634	$3,0 \pm 0,2$ [2,5...3,5] (44)	$-3,6 \pm 2,0$ [-11,0...-0,6] (35)	720 ± 150 [430...1.300] (120)
Hammergraben Elstermühle nach Konditionierung im RL 112 (Juli 2020)			$3,4 \pm 0,2$ [2,9...4,4] (77)	$-0,95 \pm 0,48$ [-2,7...0,0] (76)	
Hammergraben	Pegel Plessa 2	0,598	---	---	---
Schwarze Elster Kahla	40.552.S	---	$5,8 \pm 1,0$ [3,3...6,9] (113)	$0,4 \pm 0,4$ [-1,4...1,3] (109)	460 ± 82 [280...670] (110)

*) negative Werte stehen für die Basenkapazität $K_{B4,3}$

Mittelwert \pm Standardabweichung
[Minimum...Maximum] (Anzahl Messwerte)

Seitdem werden langanhaltende Versauerungsschübe mit pH-Werten im Sauren um $pH \approx 4$ in der Schwarzen Elster vermieden. Kurzfristige Versauerungsschübe bis $pH \approx 5$ wurden aber auch noch nach Beginn der Teilneutralisation z. B. im Jahr 2021 registriert (Tabelle 24). Diese kurzfristigen Versauerungsschübe sind in Elsterwerda nicht mehr nachweisbar (Bild 25). Die Versauerung ist auf einen kürzeren Gewässerabschnitt begrenzt. Die Versauerungsschübe im Jahr 2021 stehen in Verbindung mit erhöhten Aciditäten $K_{B4,3} > 1,5$ mmol/L im Hammergraben bzw. $K_{B4,3} > 3,0$ mmol/L im

Floßgraben (Bild 37). Während vor der Teilneutralisation im RL 112 ein Anteil des Hammergrabens am Durchfluss in der Schwarzen Elster von rund 20 %, wie im Jahr 2020, zu einer Versauerung der Schwarzen Elster während der Sommermonate führte, lag der kritische Mischungsanteil im Jahr 2021 bei > 25 %. Kritisch für die Wasserbeschaffenheit der Schwarzen Elster ist aktuell in erster Linie eine hohe Säurelast im Hammergraben. Das Mischungsverhältnis verliert an Bedeutung.

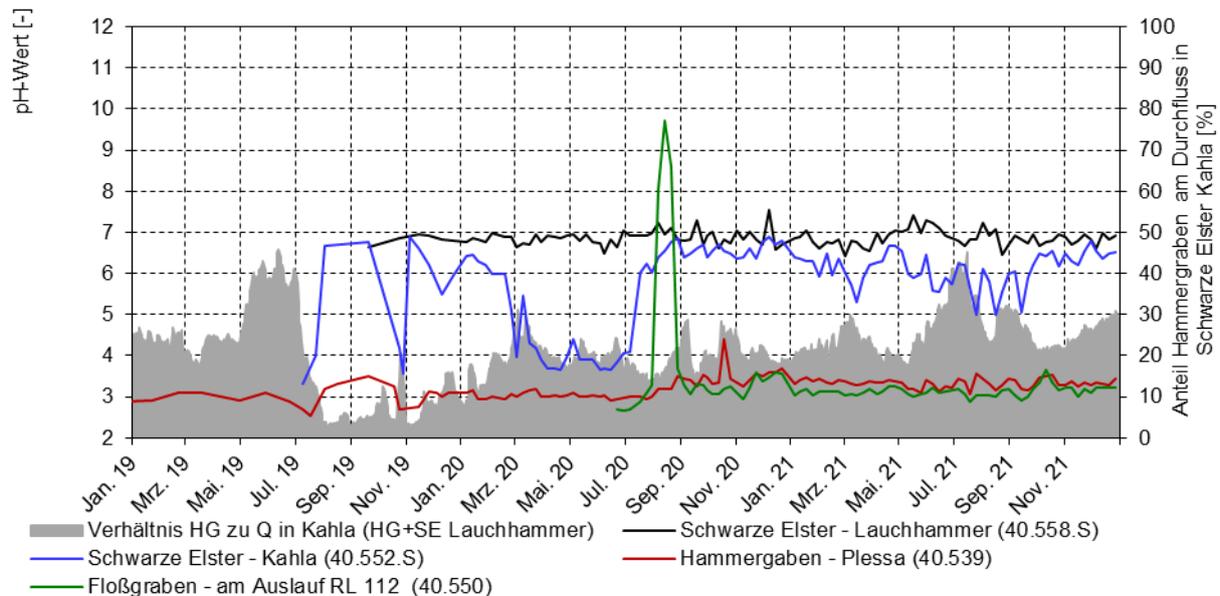


Bild 36: pH-Wert in der Schwarzen Elster an der Elstermühle und in Kahla, im Hammergraben und Floßgraben in Plessa sowie anteiliger Durchfluss des Hammergrabens am Durchfluss der Schwarzen Elster in Kahla.

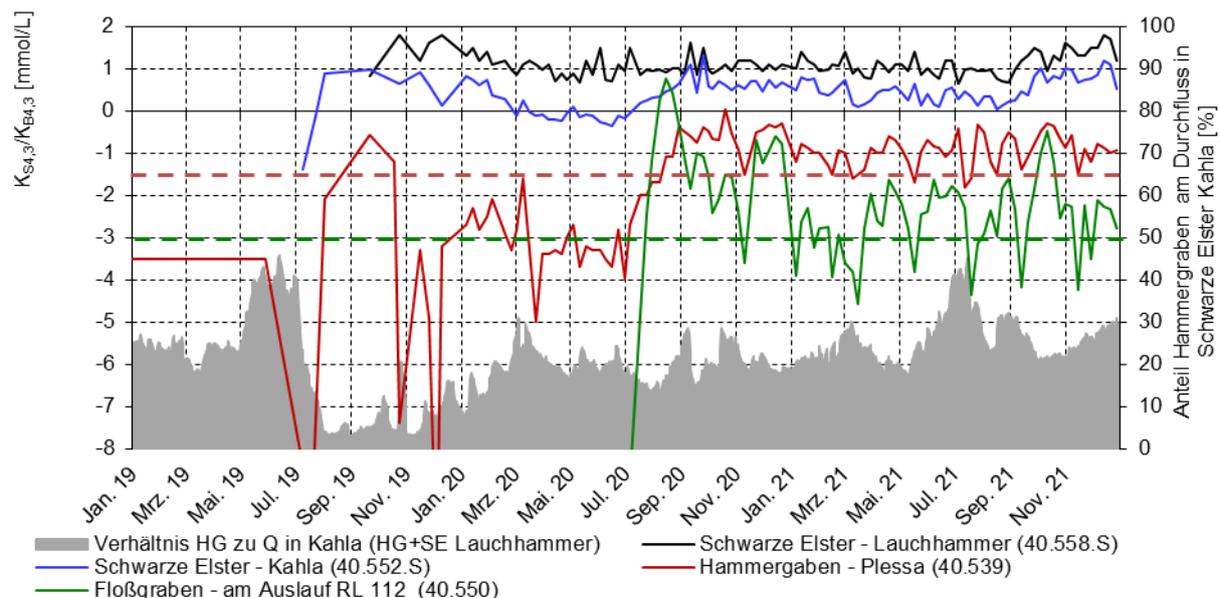


Bild 37: Säurekapazität in der Schwarzen Elster an der Elstermühle und in Kahla, im Hammergraben und Floßgraben in Plessa sowie anteiliger Durchfluss des Hammergrabens am Durchfluss der Schwarzen Elster in Kahla. Die gestrichelten Linien sind Schwellenwerte im jeweiligen Fließ, deren Unterschreitung zur Versauerung der Schwarzen Elster in Kahla führt.

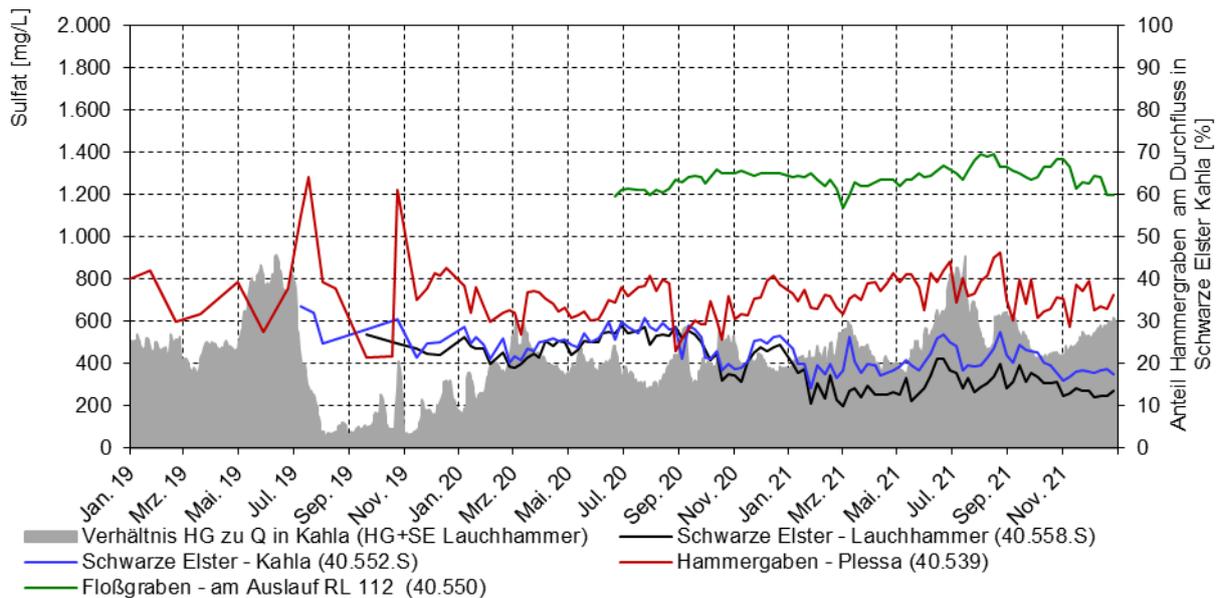


Bild 38: Sulfat in der Schwarzen Elster an der Elstermühle und in Kahla, im Hammergraben und Floßgraben in Plessa sowie anteiliger Durchfluss des Hammergrabens am Durchfluss der Schwarzen Elster in Kahla.

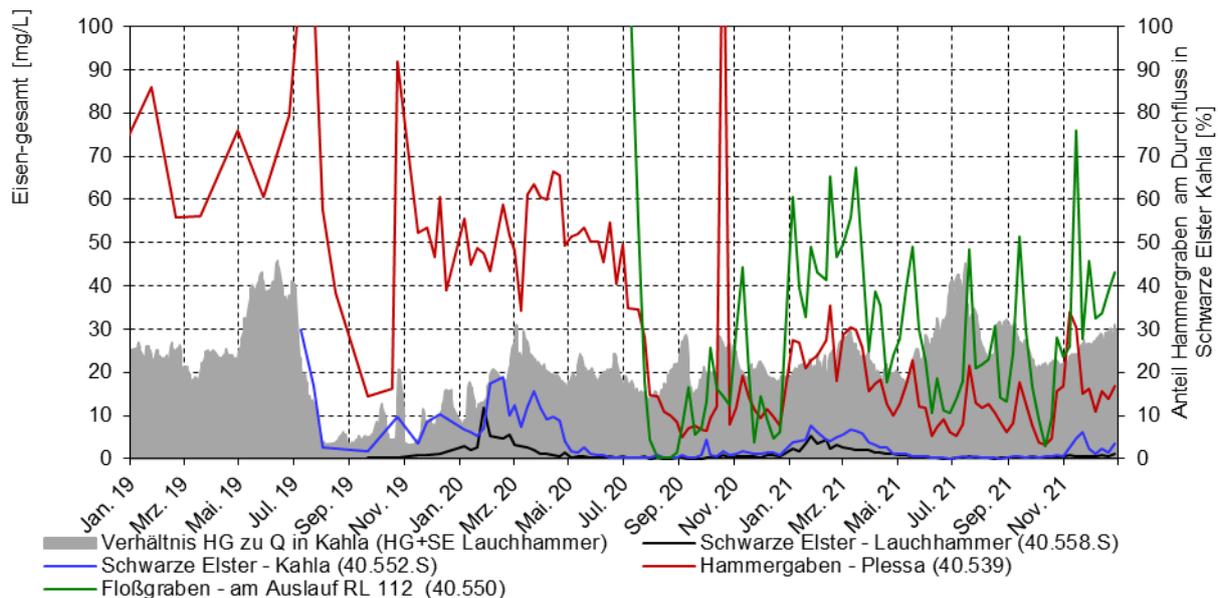


Bild 39: Eisen-gesamt in der Schwarzen Elster an der Elstermühle und in Kahla, im Hammergraben und im Floßgraben in Plessa sowie anteiliger Durchfluss des Hammergrabens am Durchfluss der Schwarzen Elster in Kahla.

6.4 Ergebnisse

Die stabil hohen Ableitungen aus der GWRA Rainitz und der GWRA Pößnitz sowie aus dem Hammergraben sind unabhängig vom Durchfluss in der Schwarzen Elster und prägen insbesondere während der Trockenzeiten den Durchfluss und die Wasserbeschaffenheit der Schwarzen Elster. Der Abfluss der Schwarzen Elster wird dominant durch bergbaulich beeinflusste Volumenströme, zwei Grubenwasserreinigungsanlagen und dem Abfluss aus dem Sanierungsgebiet Lauchhammer, determiniert.

Wenn am Wehr Kleinkoschen kein oder nur wenig Wasser in das Unterwasser der Schwarzen Elster eingeleitet wird, werden in der Schwarzen Elster in Biehlen regelmäßig niedrige Säurekapazitäten $K_{S4,3}$ und hohe Sulfatkonzentrationen registriert. Die erhöhten Sulfatkonzentrationen während der Sommermonate bleiben im gesamten Gewässerverlauf der Schwarzen Elster bis mindestens Elsterwerda erhalten.

Die hydrochemischen Veränderungen im Ableiter des Speichers Niemtsch nach der Rutschung der Innenkippe im September 2018 wirkten sich nicht dominant auf die Wasserbeschaffenheit der Schwarzen Elster aus.

Die hydrologischen und hydrochemischen Veränderungen in der Wolschinka durch die Inbetriebnahme der Horizontalfilterbrunnen in Brieske in den Jahren 2017/2018 äußern sich in einem deutlich verringerten Durchfluss und einer Verschlechterung der Wasserbeschaffenheit im Unterlauf. Die Wasserbeschaffenheit der Wolschinka hat nur geringe Auswirkungen auf die Wasserbeschaffenheit der Schwarzen Elster.

Das Stoffmengenbilanzmodell berücksichtigt bisher nicht die Einleitung aus der Kläranlage der BASF Schwarzheide. Die Anlage leitet im langjährigen Mittel rund 90 L/s Wasser mit einem stabilen, schwach alkalischen pH-Wert von 8,1 in die Schwarze Elster ein. In der Schwarzen Elster zwischen Schwarzheide und Ruhland, nach Einmündung der Pößnitz und der Kläranlage BASF Schwarzheide, wird die Alkalinität um etwa 0,4 mmol/L auf einen stabilen Wert von rund 1,2 mmol/L erhöht. Der Grund wird im gut gepufferten Abwasser der Kläranlage der BASF Schwarzheide gesehen. Messwerte zur Säurekapazität $K_{S4,3}$ liegen bisher nicht vor.

Im RL 28 wird seit Herbst 2015 eine Inlake-Wasserbehandlung durchgeführt. Phasenweise wird eine gezielte Rückversauerung zugelassen. Gemäß WRE vom 10.12.2021 ist für die Ableitung in die Schwarze Elster das Kriterium $6,0 < \text{pH} < 8,5$ einzuhalten.

Durch das frühzeitige Erkennen der Anzeichen einer Versauerung an der Messstelle Elsterwerda und durch das Einleiten gegensteuernder Maßnahmen hätten die Versauerung der Schwarzen Elster und das Fischsterben 2019 verhindert werden können. Bereits in den Vorjahren wurden während der Sommermonate Versauerungsphasen in der Schwarzen Elster erfasst. Das erfordert jedoch einen Paradigmenwechsel von einem verwalteten zu einem handlungsorientierten Monitoring. Vor der Inlake-Wasserbehandlung im RL 112 im Juli 2020 war die Versauerung der Schwarzen Elster auf eine hohe Acidität im Floßgraben bzw. im Hammergraben und auf ein ungünstiges Mengenverhältnis mit einem hohen Anteil des Durchflusses im Hammergraben bei gleichzeitig niedrigem Durchfluss in der Schwarzen Elster zurückzuführen. Die Versauerung reichte nachweislich mindestens bis Elsterwerda. Nach der Inlake-Wasserbehandlung im RL 112 im Juli 2020 waren im Jahr 2021 keine langen sondern nur kurze Versauerungsschübe in der Schwarzen Elster nachweisbar, die sich lokal auf den Bereich bei Kahla beschränkten. Sie standen mit Aciditäten $K_{B4,3} > 3$ mmol/L im Floßgraben bzw. $K_{B4,3} > 1,5$ mmol/L im Hammergraben in Verbindung.

Die im Rahmen des Sondermonitorings Schwarze Elster erhobenen Daten sind valide und wichtige Eingangsgrößen für das Stoffmengenbilanzmodell (Abschnitt 7). Das wöchentliche Sondermonitoring Schwarze Elster sollte bis zum gesicherten Regelbetrieb der WBA Plessa fortgeführt werden.

7 Evaluierung des Stoffmengenbilanzmodells

7.1 Grundlagen

Im Rahmen der Bearbeitung von [IWB 2019] wurde im Auftrag der LMBV ein Stoffmengenbilanzmodell zur Kurzfristprognose der Versauerung der Schwarzen Elster in Plessa/Kahla entwickelt. Das Modell bildet entsprechend der Modellstruktur in Bild 40 die maßgeblichen Einflussgrößen auf die Wassermenge und auf die Wasserbeschaffenheit der Schwarzen Elster im Flussabschnitt zwischen Kleinkoschen und Plessa/Kahla ab. Das Stoffmengenbilanzmodell ist auf der Basis der Tabellenkalkulation Microsoft EXCEL erstellt.

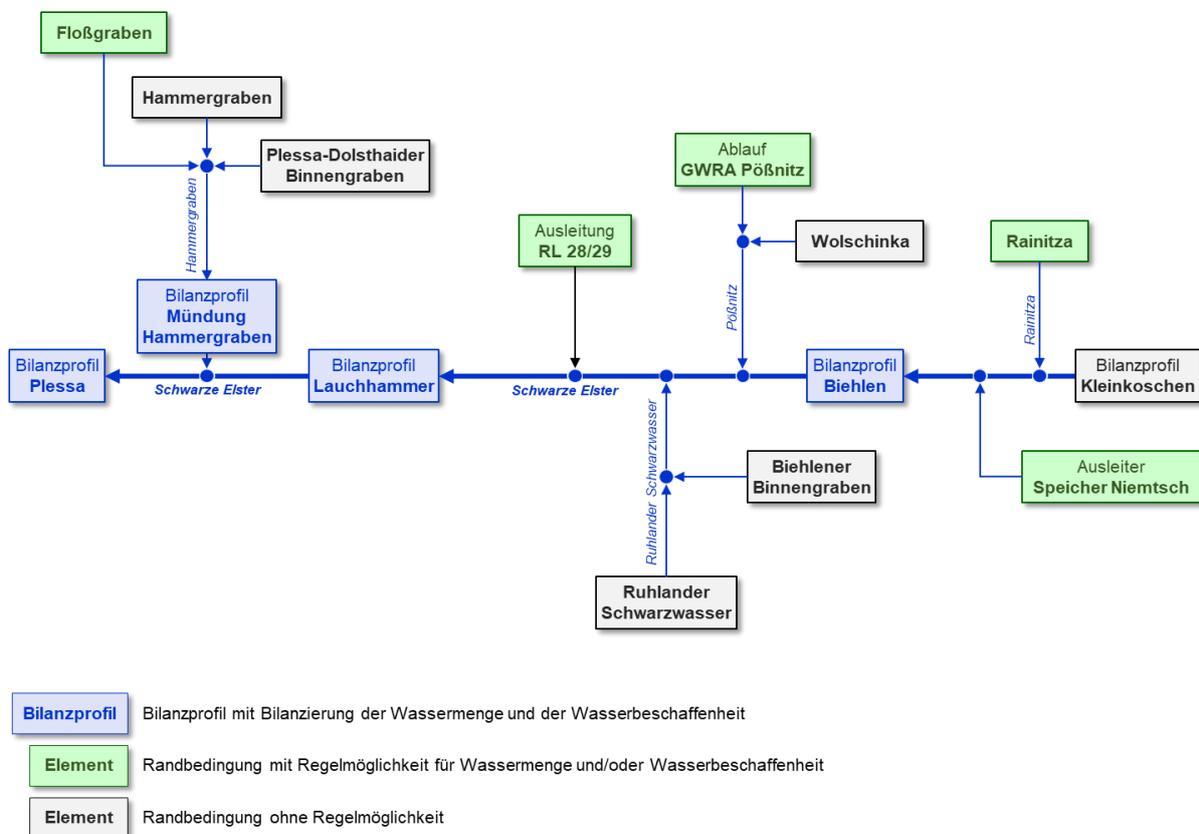


Bild 40: Struktur des Stoffmengenbilanzmodells der Schwarzen Elster zwischen Kleinkoschen und Plessa.

Die Wasserbeschaffenheit an den Bilanzknoten des Modells wird durch konservative Mischung der jeweiligen Teilströme ermittelt. Die Schwarze Elster wird durch drei Bilanzknoten (Biehlen, Lauchhammer und Plessa) und der Hammergraben vor der Einmündung in die Schwarze Elster durch einen Bilanzknoten abgebildet (Bild 40).

Die maßgeblichen Einflüsse auf die Wasserbeschaffenheit der Schwarzen Elster werden im Modell durch insgesamt 11 Eingangssignale abgebildet, wobei zwischen regelbaren und nicht regelbaren Eingangssignalen unterschieden werden kann (Tabelle 26). Bei den regelbaren Eingangssignalen können die Wassermenge und/oder die Wasserbeschaffenheit gesteuert und auf diesem Weg die Wasserbeschaffenheit der Schwarzen Elster beeinflusst werden.

Tabelle 26: Eingangssignale des Stoffmengenbilanzmodells der Schwarzen Elster zwischen Kleinkoschen und Plessa.

Eingangssignal	Gewässer	Regelbarkeit		Bemerkung
		Menge	Beschaffenheit	
Bilanzprofil Kleinkoschen	Schwarze Elster	Nein	Nein	Eingangsprofil der Schwarze Elster
Mündung der Rainitz	Rainitz	Ja	Ja	---
Ausleiter des Speichers Niemtsch	Schwarze Elster	Ja	Nein	---
GWRA Pößnitz	Pößnitz	Nein	Ja	---
Mündung der Wolschinka	Wolschinka	Nein	Nein	---
Mündung des Biehlener Binnengrabens	Biehlener Binnengraben	Nein	Nein	---
Oberlauf des Ruhlander Schwarzwassers	Ruhlander Schwarzwasser	Nein	Nein	oh. der Einmündung des Biehlener Binnengrabens
Ausleitung RL28/29	Schwarze Elster	Ja	Ja	---
Oberlauf des Hammergrabens	Hammergraben	Nein	Nein	oh. der Einmündung des Floßgrabens und des Plessa-Dolsthaider Binnengrabens
Mündung des Floßgrabens	Floßgraben	Ja	Ja	---
Mündung des Plessa-Dolsthaider Binnengrabens	Hammergraben	Nein	Nein	---

Das Modell bildet neben dem Durchfluss die chemischen Kennwerte Sulfat, Eisen-II und die Säure-/Basenkapazität bei $\text{pH} = 4,3$ ab. Der Kennwert Eisen-II dient der Bilanzierung der resultierenden Säure- bzw. Basenkapazität für $\text{pH}_{\text{ox}} = 4,3$ nach der vollständigen Oxidation des zweiwertigen Eisens. Die notwendigen Daten für die Eingangssignale werden aus den Monitoringdaten des LfU Brandenburg und der LMBV abgeleitet.

7.2 Methodik

Das Stoffmengenbilanzmodell für die Schwarze Elster sollte entsprechend der Aufgabenstellung (Abschnitt 2) evaluiert werden. Dabei sollte geklärt werden:

- ob das Modell in seiner derzeitigen Form geeignet ist, die Wasserbeschaffenheit der Schwarzen Elster und des Hammergrabens mit ausreichender Genauigkeit aus den gegebenen Eingangssignalen zu ermitteln sowie
- ob die verfügbaren Monitoringdaten des LfU Brandenburg und der LMBV für den Modellbetrieb und für eine Kurzfristprognose der Versauerung der Schwarzen Elster geeignet sind.

Die Evaluierung des Modells wurde mit den verfügbaren Monitoringdaten des LfU Brandenburg und der LMBV durchgeführt. Die den Eingangssignalen und den Bilanzknoten zugeordneten Durchfluss- und Beschaffenheitsmessstellen enthält Tabelle 27.

Tabelle 27: Eingangssignale des Stoffmengenbilanzmodells der Schwarzen Elster den zugeordneten Durchfluss- und Beschaffenheitsmessstellen mit Angaben zur Datendichte.

Typ	Bezeichnung	Wassermenge		Wasserbeschaffenheit	
		Messstellen	Datendichte	Messstellen	Datendichte
Eingangssignal	Schwarze Elster Kleinkoschen	5530203 (LfU)	Tag	SE_0015 (LfU)	Monat
Eingangssignal	Mündung Rainitza	5543200 (LfU)	Tag	RAI_0010 (LfU)	Monat
Eingangssignal	Ausleiter Speicher Niemtsch	(LfU)	Tag	ASENS_0010 (LfU)	Monat
Bilanzknoten	Schwarze Elster Biehlen	5530302 (LfU)	Tag	SE_0025 (LfU)	Monat
Eingangssignal	GWRA Pößnitz	5543300 (LfU)	Tag	PÖ_0020 (LfU)	Monat
Eingangssignal	Mündung Wolschinka	30.115 (LMBV)	Quartal	30.152 (LMBV)	Quartal
Eingangssignal	Mündung Biehleener Binnengraben	BBGr 10 (LfU)	Einzelwerte	BBGr 10 (LfU)	Einzelwerte
Eingangssignal	Oberlauf Ruhlander Schwarzwasser	5543400 (LfU)	Tag	RUSW_0030 (LfU)	Monat
Eingangssignal	Ausleitung RL28/29	(LMBV)	Tag	40.502 (LMBV)	Quartal
				40.574.S (LMBV)	Woche
Bilanzknoten	Schwarze Elster Lauchhammer	5530401 (LfU)	Tag	SE_0050 (LfU)	Monat
				40.558.S (LMBV)	Woche
Eingangssignal	Oberlauf Hammergraben	40.518 (LMBV)	Quartal	40.548 (LMBV)	Quartal
		40.548.S (LMBV)	Monat	40.548.S (LMBV)	Monat
Eingangssignal	Mündung Floßgraben	40.511 (LMBV)	Quartal	40.541 (LMBV)	Quartal
		40.541.S (LMBV)	Monat	40.541.S (LMBV)	Monat
Eingangssignal	Mündung Plessa-Dolsthaider Binnengraben	40.519 (LMBV)	Quartal	40.549 (LMBV)	Quartal
		40.549.S (LMBV)	Monat	40.549.S (LMBV)	Monat

Typ	Bezeichnung	Wassermenge		Wasserbeschaffenheit	
		Messstellen	Daten- dichte	Messstellen	Daten- dichte
Bilanzknoten	Mündung Hammergraben	5543700 (LfU)	Tag	40.539 (LMBV)	Quartal
		40.509 (LMBV)	Quartal	40.539.S (LMBV)	Woche
		40.539.S (LMBV)	Woche		
Bilanzprofil	Schwarze Elster Plessa	---	---	40.552.S	Woche

An den Beschaffenheitsmessstellen des LfU Brandenburg wird die Wasserbeschaffenheit üblicherweise monatlich erfasst. Die Beprobung der relevanten LfU-Messstellen erfolgt überwiegend nicht taggleich. Für die Durchflüsse an den amtlichen Pegeln liegen Tagesmittelwerte vor (Tabelle 27).

Die LMBV erfasst im Rahmen des MHM die Wasserbeschaffenheit und den Durchfluss der Fließgewässer monatlich oder quartalsweise. Im Rahmen des Sondermonitorings Schwarze Elster (Abschnitt 5.3.2) werden die Wasserbeschaffenheit der Schwarzen Elster, des Floßgrabens, des Plessa-Dolsthaider-Binnengrabens und des Hammergrabens wöchentlich bzw. monatlich, aber taggleich erfasst. Zusätzlich wird zu den jeweiligen Messterminen im Floßgraben, im Plessa-Dolsthaider-Binnengraben und im Hammergraben der Durchfluss gemessen (Tabelle 27).

Der Biehler Binnengraben wurde bisher nur im Rahmen von Stichtagsmessungen in den Jahren 2014/2015 sowie im Jahr 2021 beprobt (Tabelle 27).

Zur Evaluierung des Modells mussten aus den verfügbaren Monitoringdaten vollständige und zeitlich konsistente Datensätze abgeleitet werden. Aus den taggleich erfassten Daten des Sondermonitorings Schwarze Elster der LMBV können für die Bilanzknoten Hammergraben und Schwarze Elster in Plessa konsistente Datensätze erzeugt werden. Für die Bilanzknoten Schwarze Elster in Biehlen und Lauchhammer ist die Erzeugung zeitlich konsistenter Datensätze aufgrund nicht termingleicher Messungen dagegen nicht möglich. Aus diesem Grund erfolgte eine separate Evaluierung der drei Bilanzknoten Hammergraben, Schwarze Elster in Plessa und Schwarze Elster in Lauchhammer. Die Evaluierung der beiden erstgenannten Bilanzknoten erfolgte auf der Grundlage der Daten des LMBV-Sondermonitorings Schwarze Elster. Die Evaluierung des Bilanzknotens Lauchhammer erfolgte mit den verfügbaren Monitoringdaten der LMBV und des LfU Brandenburg. Auf die verwendeten Datensätze wird in den entsprechenden Abschnitten näher eingegangen.

7.3 Bilanzknoten an der Mündung des Hammergrabens

Der Bilanzknoten „Mündung Hammergraben“ mit den Eingangssignalen der Durchfluss- und Beschaffenheitsmessstellen ist in Bild 41 dargestellt (Gesamtmodell siehe Bild 40). Aus den verfügbaren Daten des Sondermonitorings Schwarze Elster der LMBV wurden für den Bilanzknoten im Zeitraum von Januar 2020 bis November 2021 insgesamt 34 vollständige Datensätze mit taggleichen Messdaten für die drei

Eingangssignale Floßgraben, Oberlauf Hammergraben und Plessa-Dolsthaider Binnengraben sowie den Bilanzknoten Mündung Hammergraben zusammengestellt. Mit den abgeleiteten Datensätzen wurden der Durchfluss und die Wasserbeschaffenheit an der Mündung des Hammergrabens bilanziert und mit den termingleichen Messwerten verglichen (Bild 42).

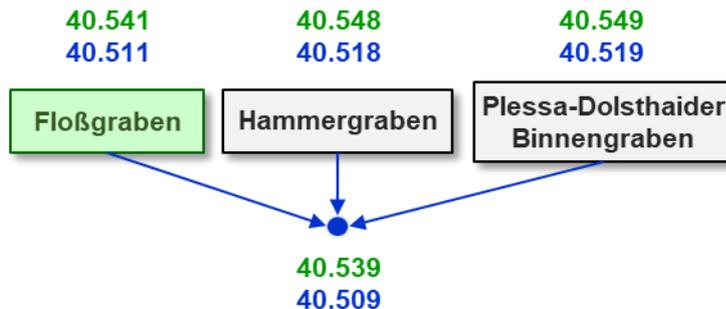


Bild 41: Schema des Bilanzknotens „Mündung Hammergraben“ mit den zugeordneten Durchflussmessstellen (blau) und Beschaffenheitsmessstellen (grün) (Beschreibung der Messstellen siehe Tabelle 27).

Der für die Mündung des Hammergrabens bilanzierte **Durchfluss** liegt im Mittel aller Datensätze +2 % über dem gemessenen Durchfluss. In den Einzeldatensätzen liegen die Abweichungen zwischen dem bilanzierten und dem gemessenen Durchfluss größtenteils im Bereich von $\pm 10\%$, wobei vereinzelt auch Abweichungen bis $\pm 30\%$ auftraten. Die festgestellten Abweichungen liegen überwiegend im Bereich der Unschärfe der Durchflussmessungen und folgen keiner erkennbaren Systematik (vgl. Bild 42 oben links).

Die bilanzierte **Sulfatkonzentration** an der Mündung des Hammergrabens entspricht im Mittel aller verwendeten Datensätze der gemessenen Sulfatkonzentration. Die Abweichungen zwischen gemessener und bilanzierter Sulfatkonzentration liegen in den Einzeldatensätzen größtenteils im Bereich $\pm 10\%$. Für acht Datensätze wurden höhere Abweichungen bis $\pm 30\%$ festgestellt (vgl. Bild 42 oben rechts). Die größeren Abweichungen treten bei der Sulfatkonzentration überwiegend in Verbindung mit stärkeren Abweichungen beim Durchfluss auf, was vorrangig auf fehlerbehaftete Durchflussmessungen deutet.

Die für die Mündung des Hammergrabens bilanzierte **Eisen-II-Konzentration** liegt im Mittel aller Datensätze rund -20 % unter der gemessenen Eisen-II-Konzentration. Die mittlere Abweichung wird allerdings von zwei Datensätzen mit großer Unterschätzung der Messwerte stark verzerrt (vgl. Bild 42 unten links). Werden diese Datensätze bei der Auswertung nicht berücksichtigt, liegt die mittlere Abweichung zwischen der gemessenen und bilanzierten Eisen-II-Konzentration bei +1 %. Die Abweichungen der Einzeldatensätze liegen größtenteils im Bereich $\pm 20\%$, wobei vereinzelt auch größere Abweichungen festgestellt wurden. Eine Systematik bzw. eine Durchflussabhängigkeit der festgestellten Abweichungen ist nicht erkennbar (vgl. Bild 42 unten links).

Die bilanzierte **Säure-/Basenkapazität bei pH = 4,3** liegt im Mittel aller Datensätze bei rund +4 %. Die Abweichungen der Einzeldatensätze liegen in einer Spanne von $\pm 20\%$, wobei vereinzelt auch größere Abweichungen festgestellt wurden (vgl. Bild 42

unten rechts). Die größeren Abweichungen treten bei der Säure-/Basenkapazität überwiegend im Zusammenhang mit größeren Abweichungen der Eisen-II-Konzentration auf. Dieser Zusammenhang ist nachvollziehbar, da die Eisen-II-Konzentration zur Bilanzierung der resultierenden Säure/Basenkapazität bei $\text{pH}_{\text{ox}} = 4,3$ genutzt wird. Weitere Abhängigkeiten sind für die Säure-/Basenkapazität nicht feststellbar.

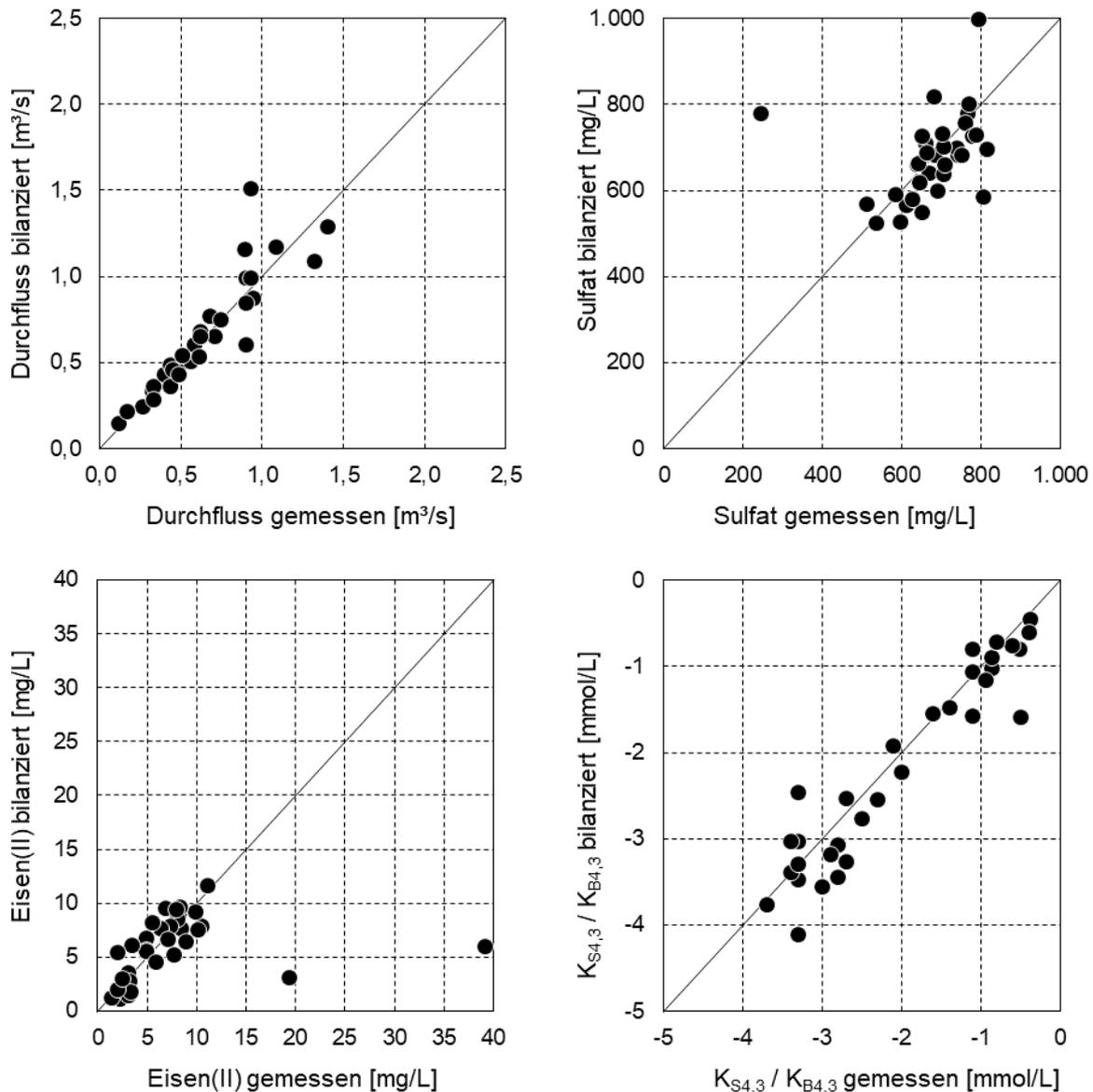


Bild 42: Vergleich der gemessenen und der bilanzierten Werte des Durchflusses (oben links), der Sulfatkonzentration (oben rechts), der Eisen-II-Konzentration (unten links) und der Säure-/Basenkapazität bei $\text{pH}=4,3$ (unten rechts) am Bilanzknoten „Mündung Hammergraben“ (die Basenkapazität $K_{\text{B}_{4,3}}$ wird negativ dargestellt).

Der Vergleich der Modellergebnisse mit den Messwerten zeigt, dass der Durchfluss und die Wasserbeschaffenheit an der Mündung des Hammergrabens bei Verwendung taggleicher Messwerte für die Eingangssignale mit dem konservativen Stoffmengenbilanzmodell Schwarze Elster sehr gut wiedergegeben werden. Bis auf wenige Einzelwerte liegen die Abweichungen im Bereich der Bestimmungsunschärfe der Messwerte.

7.4 Bilanzknoten der Schwarzen Elster in Plessa

Der Bilanzknoten „Schwarze Elster in Plessa“ ist in Verbindung mit den zugeordneten Durchfluss- und Beschaffenheitsmessstellen in Bild 43 schematisch dargestellt (Gesamtmodell siehe Bild 40). Die Wasserbeschaffenheit und der Durchfluss am Bilanzknoten „Schwarze Elster in Plessa“ wird unter Verwendung der für die Mündung des Hammergrabens bilanzierten Werte (siehe Abschnitt 7.3) ermittelt.

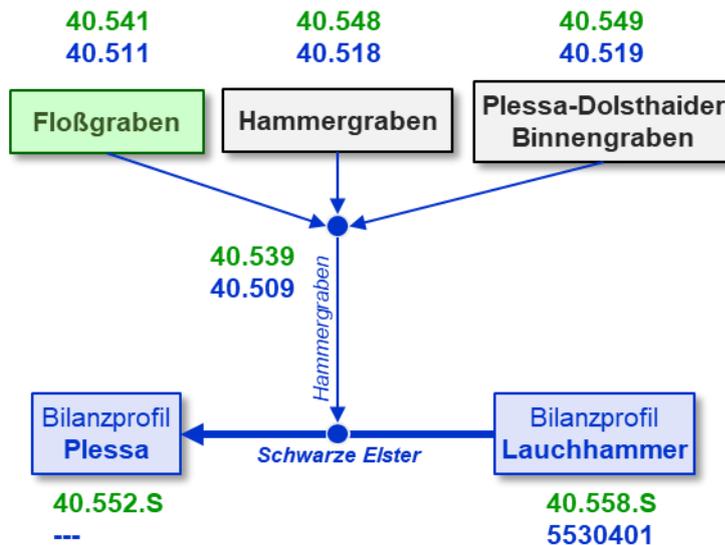


Bild 43: Schema des Bilanzknotens „Schwarze Elster in Plessa“ mit den Eingangssignalen und den zugeordneten Durchflussmessstellen (blau) und Beschaffenheitsmessstellen (grün). Beschreibung der Messstellen in der Tabelle 27.

Aus den verfügbaren Daten des Sondermonitorings Schwarze Elster der LMBV wurden für den „Bilanzknoten Schwarze Elster in Plessa“ einschließlich des Bilanzknotens „Mündung Hammergraben“ insgesamt 32 vollständige Datensätze im Zeitraum von Januar 2020 bis November 2021 mit taggleichen Messdaten für alle Eingangssignale (vgl. Bild 43) abgeleitet. Mit den abgeleiteten Datensätzen wurden der Durchfluss und die Wasserbeschaffenheit am Bilanzknoten „Schwarze Elster in Plessa“ bilanziert und mit den termingleichen Messwerten verglichen (Bild 44).

Der **Durchfluss** der Schwarzen Elster in Plessa wird aus dem Durchfluss der Schwarzen Elster in Lauchhammer und des Hammergrabens an der Mündung berechnet. Zum Durchfluss der Schwarzen Elster in Plessa liegen keine Messdaten vor. Eine Validierung der berechneten Durchflüsse mit Messwerten konnte daher nicht erfolgen.

Die bilanzierte **Sulfatkonzentration** der Schwarzen Elster liegt in beiden Prüfvarianten nur gering über den Messwerten. Im Mittel aller Datensätze weicht die bilanzierte Sulfatkonzentration +3 % von der gemessenen Sulfatkonzentration ab (Bild 44 oben rechts). In den Einzeldatensätzen liegen die Abweichungen vom Messwert überwiegend im Bereich $\pm 10\%$, wobei vereinzelt auch größere Abweichungen auftreten. Die Abweichungen zwischen gemessener und bilanzierter Sulfatkonzentration haben keine erkennbare Systematik (Bild 44 oben rechts).

Die für die Schwarze Elster in Plessa bilanzierten **Eisen-II-Konzentrationen** liegen deutlich über den gemessenen Konzentrationen (Bild 44 unten links). Im Durchschnitt aller Datensätze wird die in der Schwarzen Elster gemessene Eisen-II-Konzentration um fast das Doppelte überschätzt. Die festgestellten Abweichungen sind nicht auf Datenfehler, sondern auf den konservativen Mischungsansatz für Eisen im Modell zurückzuführen. Die Oxidation von Eisen-II zu Eisen-III-hydroxid wird nicht berücksichtigt. Aus den Modellergebnissen kann abgeleitet werden, dass bis zur Vergleichsstelle in der Schwarzen Elster ca. 60 % des aus dem Hammergraben in die Schwarze Elster eingetragenen zweiwertigen Eisens oxidieren und ausfallen.

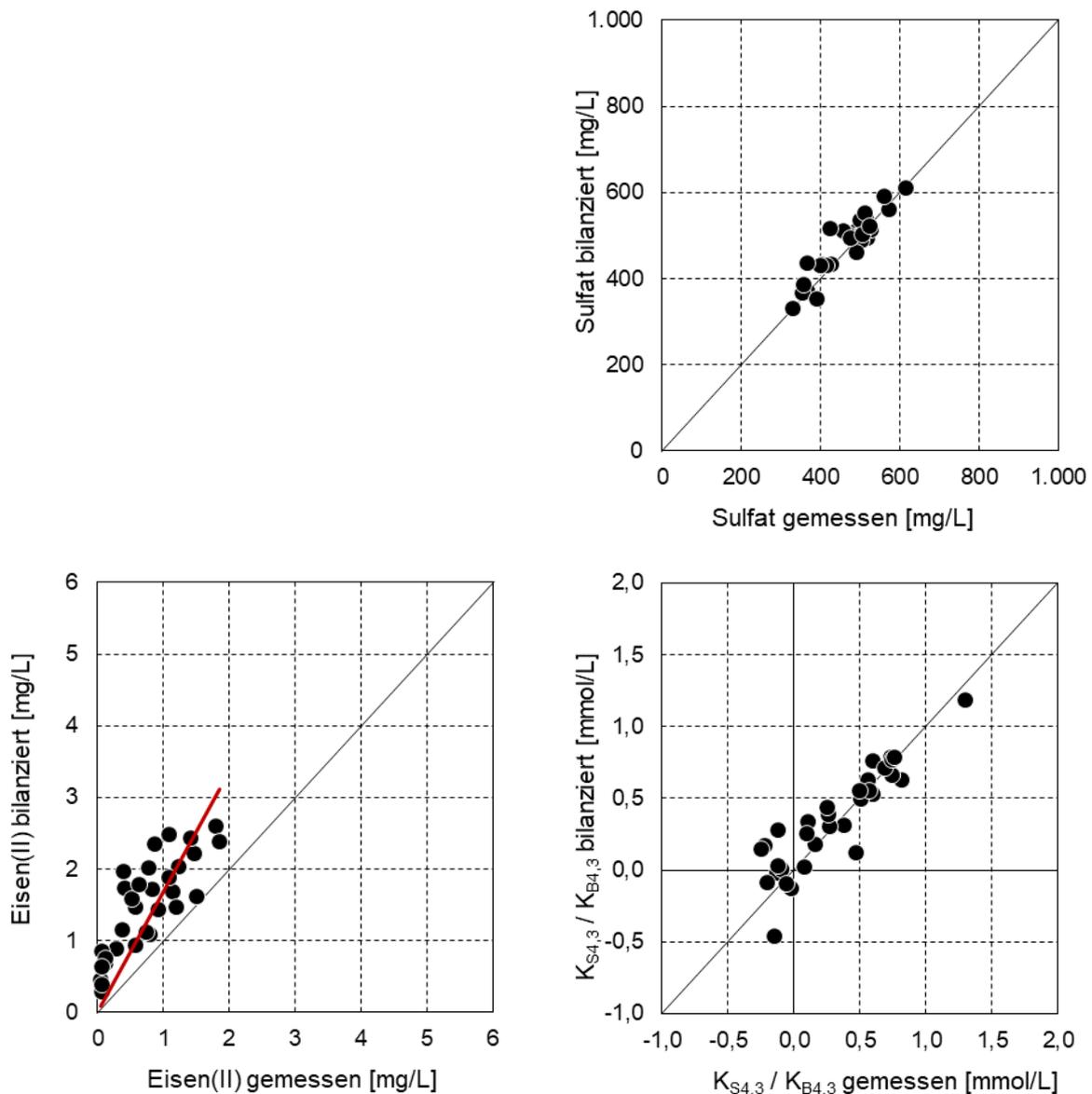


Bild 44: Vergleich der gemessenen und bilanzierten Werte der Sulfatkonzentration (oben rechts), der Eisen-II-Konzentration (unten links) und der Säure- bzw. Basenkapazität bei pH=4,3 (unten rechts) am Bilanzknoten „Schwarze Elster in Plessa“ (die Basenkapazität $K_{B4,3}$ wird negativ dargestellt).

Die gemessene **Säure- bzw. Basenkapazität bei pH = 4,3** der Schwarzen Elster wird mit dem konservativen Mischungsansatz gut abgebildet. Die bilanzierte Säure- bzw. Basenkapazität liegt geringfügig höher als die Messwerte (Bild 44 unten rechts). Im Mittel aller Datensätze wird die in der Schwarzen Elster gemessene Säure- bzw. Basenkapazität bei pH = 4,3 durch das Modell um +14 % (Bild 44 unten rechts) überschätzt. Beim Vergleich der bilanzierten und gemessenen Säure- bzw. Basenkapazität fällt auf, dass vor allem die Basenkapazität unterschätzt wird (Bild 44 unten rechts). Mit dem Modell wird folglich eine geringe Pufferung berechnet, während in der Schwarzen Elster bereits eine Versauerung gemessen wird. Die Ursache liegt im vereinfachten konservativen Mischungsansatz, der Aluminium und weitere hydrolytische Metalle nicht berücksichtigt.

Die Evaluierung des Bilanzknotens „Schwarze Elster in Plessa“ zeigt, dass die Wasserbeschaffenheit der Schwarzen Elster in Plessa bei Verwendung taggleicher Messwerte für die Eingangssignale durch das Modell mit ausreichender Genauigkeit wiedergegeben werden kann. Die Versauerung der Schwarzen Elster wird, bedingt durch den vereinfachten hydrochemischen Bilanzierungsansatz, vom Modell geringfügig unterschätzt. Dies ist bei der Nutzung des Modells als Prognoseinstrument zu berücksichtigen (siehe Abschnitt 7.6).

7.5 Bilanzknoten der Schwarzen Elster in Lauchhammer

Die Bilanzknoten „Schwarze Elster in Lauchhammer“ mit den zugehörigen Eingangssignalen sowie den zugeordneten Durchfluss- und Beschaffenheitsmessstellen ist in Bild 45 schematisch dargestellt (Gesamtmodell siehe Bild 40). Für den Bilanzknoten erfolgt die Bilanzierung des Durchflusses und der Wasserbeschaffenheit auf der Grundlage der verfügbaren Messdaten.

In die Bilanzen am Bilanzknoten Lauchhammer gehen mindestens acht unabhängige Eingangssignale ein (Bild 45). Die Notwendigkeit der Bilanzierung am Knoten Lauchhammer ergibt sich aus der Intention, durch gezielte Steuerung der Volumenströme und Wasserbeschaffenheit im Oberstrom des Bilanzknotens Lauchhammer eine Versauerung in der Schwarzen Elster nach Einmündung des Hammergrabens abzuwenden. Dafür ist zunächst die Genauigkeit der Bilanzierung zu evaluieren. Bei ausreichender Genauigkeit der Bilanzierung sind die Freiheitsgrade der einzelnen Eingangssignale zu ermitteln und Sensitivitätsbetrachtungen bzgl. der Einflussnahme auf die Wasserbeschaffenheit am Pegel Lauchhammer durchzuführen. Nachfolgend wird der erste Schritt der Untersuchungen angestellt.

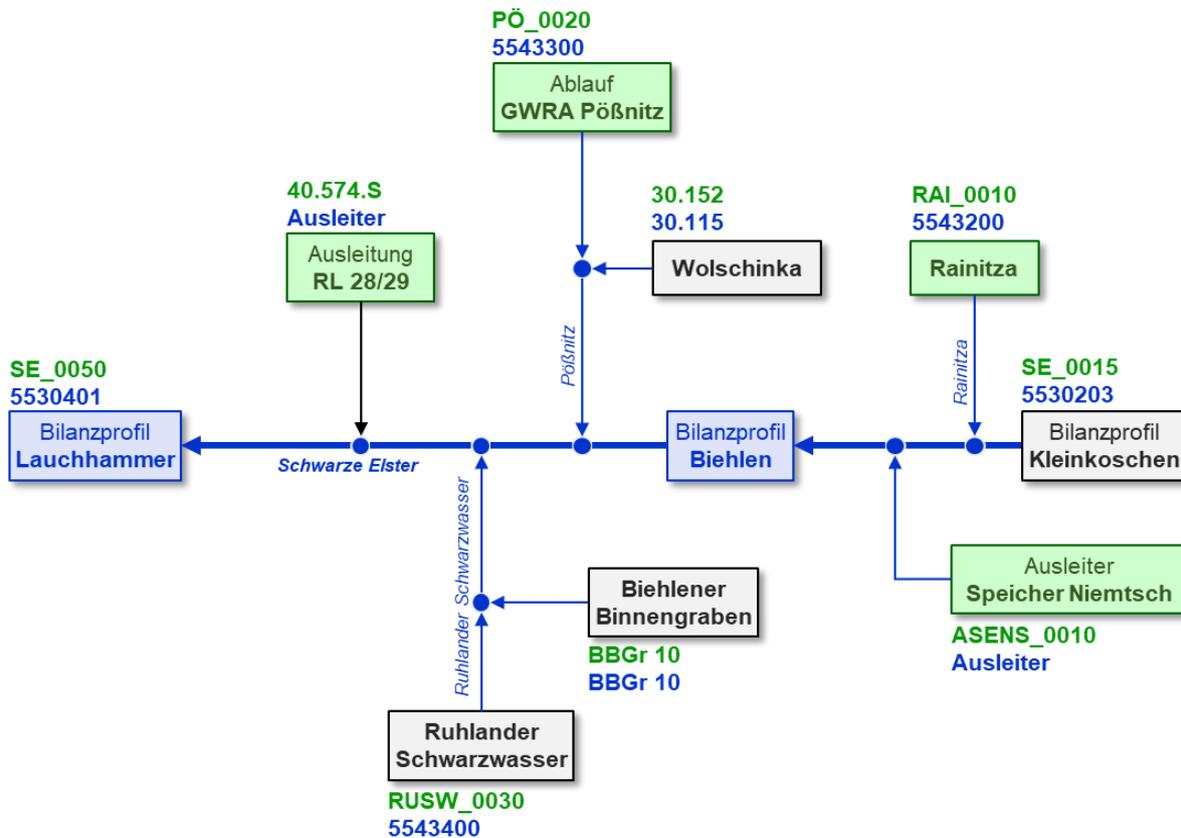


Bild 45: Schema des Bilanzknotens „Schwarze Elster in Lauchhammer“ mit den Eingangssignalen und den zugeordneten Durchflussmessstellen (blau) und Beschaffenheitsmessstellen (grün). Beschreibung der Messstellen in der Tabelle 27.

Das Sondermonitoring Schwarze Elster der LMBV beschränkt sich auf die Bilanzknoten Hammergraben und Schwarze Elster in Plessa. Zur Evaluierung des Bilanzknotens Lauchhammer musste deshalb auf die Daten des Fließgewässermonitorings des LfU Brandenburg sowie des MHM der LMBV zurückgegriffen werden, die mit einem Messwert pro Monat zeitlich weniger dicht vorliegen. Zudem liegen die Daten überwiegend nicht taggleich vor. Für die Ableitung von Eingangssatzen zur Modellevaluierung wurden daher die Termine ermittelt, an denen in einem Zeitfenster von ± 14 Tagen für alle Eingangssignale entsprechende Messdaten verfügbar sind. Damit soll eine zeitliche Nähe der Messdaten sichergestellt werden. Datenredundanzen wurden zugelassen. Das bedeutet, dass einzelne Messwerte eines Eingangssignals ggf. in mehreren Eingangssatzen enthalten sind. Nach den beschriebenen Prinzipien wurden aus den verfügbaren Daten insgesamt 145 Datensätze für den Zeitraum von April 2010 bis August 2021 abgeleitet.

Die abgeleiteten Eingangssatzen weisen allerdings Lücken auf, da nicht an allen Messstellen sämtlich benötigte Kennwerte erfasst wurden. Die Datenlücken wurden durch robuste Annahmen geschlossen. Dabei wurden nach Möglichkeit systematische Abhängigkeiten (z. B. Durchflussabhängigkeit, Jahrgang) und Entwicklungen (z. B. Trends, Zäsuren) berücksichtigt. Für den Biehlener Binnengraben lagen lediglich die Daten von zwei Messkampagnen aus 2014/2015 und 2021 vor. Die Datenlücken wurden mit den Mittelwerten der verfügbaren Messdaten geschlossen.

Die für den Bilanzknoten Lauchhammer auf der Grundlage der abgeleiteten Eingangsdatensätze bilanzierten Durchfluss- und Wasserbeschaffenheitswerte im Vergleich mit den Messwerten sind in Bild 46 dargestellt. Der gemessene **Durchfluss** am Bilanzknoten Lauchhammer wird durch das Modell größtenteils gut wiedergegeben (Bild 46 oben links). Im Mittel aller Datensätze liegt der bilanzierte Durchfluss rund $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ bzw. ca. +11 % höher als der gemessene Durchfluss. Die Abweichungen vom Messwert liegen in den Einzeldatensätzen überwiegend im Bereich von $\pm 30 \%$, wobei auch Abweichungen bis $\pm 60 \%$ auftraten (Bild 46 oben links). Die Abweichungen folgen keiner erkennbaren Systematik.

Die am Bilanzprofil Lauchhammer gemessene **Sulfatkonzentration** wird durch das Modell ebenfalls gut wiedergegeben (Bild 46 oben rechts). Im Durchschnitt aller Datensätze wird die gemessene Sulfatkonzentration vom Modell um rund 10 mg/L bzw. -3 % unterschätzt. In den Einzeldatensätzen liegen die Abweichungen überwiegend im Bereich von $\pm 25 \%$, wobei in Einzelfällen Abweichungen bis $\pm 60 \%$ auftraten. Eine Systematik ist bei den Abweichungen nicht erkennbar (Bild 46 oben rechts).

Die **Eisen-II-Konzentration** am Bilanzknoten Lauchhammer wird durch das Modell erwartungsgemäß deutlich überschätzt (Bild 46 unten links). Im Mittel aller Datensätze liegt die bilanzierte Eisen-II-Konzentration rund $1,2 \text{ mg/L}$ bzw. um das Fünffache über dem Durchschnitt der Messwerte. In den Einzeldatensätzen treten teils deutlich größere Abweichungen auf (Bild 46 unten links). Die festgestellten Abweichungen werden einerseits auf die Unzulänglichkeiten der verwendeten Eingangsdaten (keine taggleichen Messwerte, Treffen von Annahmen) sowie andererseits auf die methodische Vernachlässigung der Eisen-II-Oxidation im Modell (siehe Abschnitt 7.1) zurückgeführt.

Die **Säure- bzw. Basenkapazität bei $\text{pH} = 4,3$** in der Schwarzen Elster am Bilanzknoten Lauchhammer wird mit dem Modell systematisch unterschätzt (Bild 46 unten links). Im Durchschnitt aller Datensätze liegt die bilanzierte Säure- bzw. Basenkapazität $0,2 \text{ mmol/L}$ unter dem Mittel der verfügbaren Messwerte. In den Einzeldatensätzen traten größere Unterschätzungen bis -50 % auf. In wenigen Fällen lagen die Modellwerte bis +60 % über den Messwerten (Bild 46 unten links). Die festgestellten Abweichungen werden einerseits auf die Unzulänglichkeiten der verwendeten Eingangsdaten (keine taggleichen Messwerte, Treffen von Annahmen) sowie andererseits auf die deutliche Überschätzung der Eisen-II-Konzentration (siehe oben) zurückgeführt.

Die Evaluierung zeigt, dass mit dem Modell die Bilanzierung des Durchflusses und der Wasserbeschaffenheit der Schwarzen Elster in Lauchhammer grundsätzlich möglich ist. Aufgrund der ungünstigen Datenlage (keine taggleichen Messdaten für alle Randbedingungen, keine bzw. unvollständige Datensätze) weisen die Modellergebnisse große Unschärfen auf. Insbesondere die systematische Unterschätzung der Säure- bzw. Basenkapazität bei $\text{pH} = 4,3$ in der Schwarzen Elster ist für den Einsatzzweck des Modells, die Prognose der Versauerung der Schwarzen Elster, problematisch.

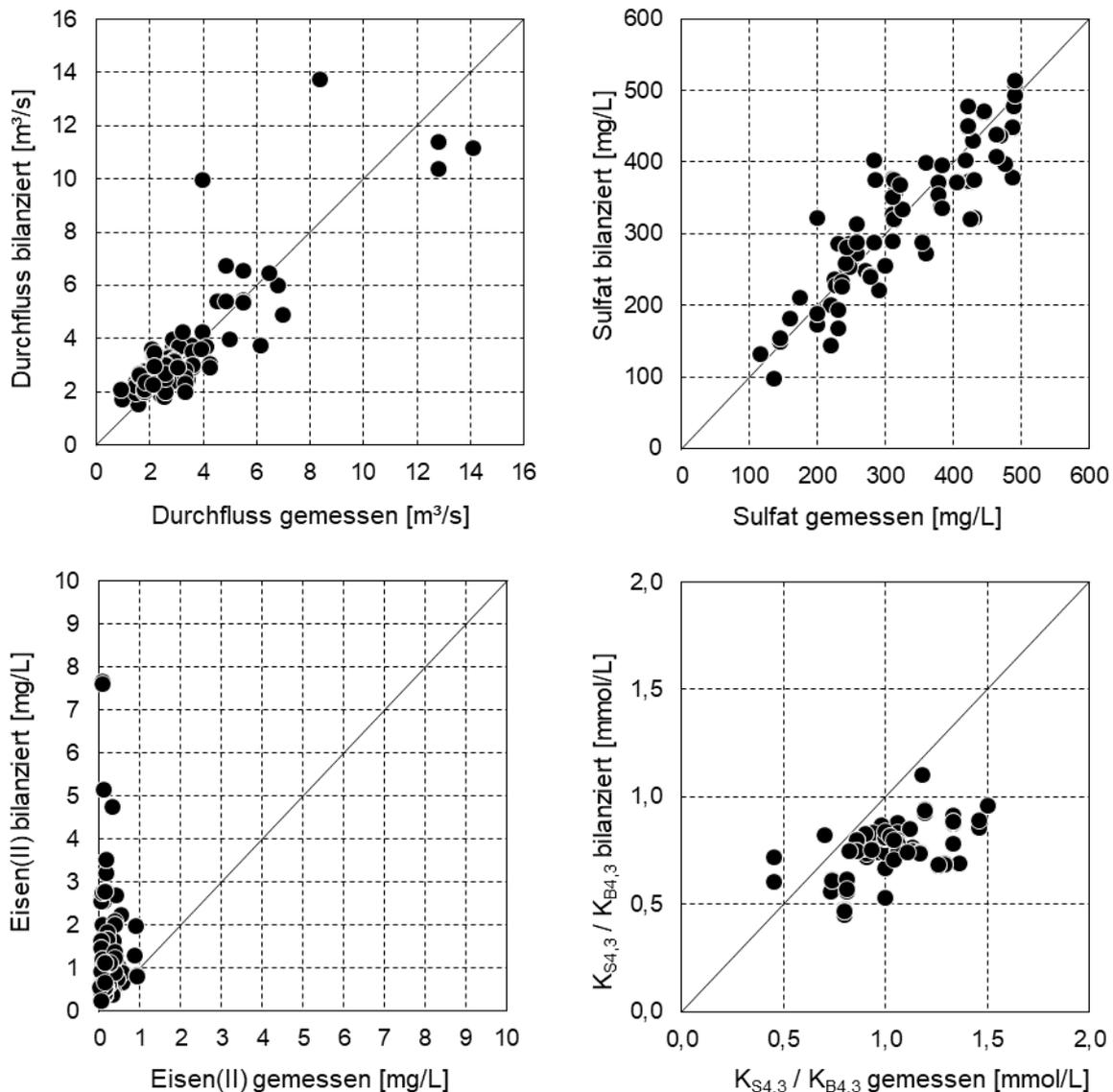


Bild 46: Vergleich der gemessenen und bilanzierten Werte des Durchflusses (oben links), der Sulfatkonzentration (oben rechts), der Eisen-II-Konzentration (unten links) und der Säure- bzw. Basenkapazität bei pH=4,3 (unten rechts) am Bilanzknoten „Schwarze Elster in Lauchhammer“. Die Basenkapazität $K_{B4,3}$ wird mit negativem Vorzeichen dargestellt.

7.6 Ergebnisse

Die Evaluierung des Stoffmengenbilanzmodells für die Schwarze Elster zwischen Kleinkoschen und Plessa hat gezeigt, dass das Modell grundsätzlich zur Bilanzierung des Durchflusses und der konservativen Kennwerte der Wasserbeschaffenheit an den Bilanzknoten geeignet ist. Es wurde gezeigt, dass die Genauigkeit der Modellergebnisse maßgeblich von den verwendeten Eingangsdaten abhängt. Die Bilanzierungen mit taggleich erfassten Messdaten an den Bilanzknoten „Mündung Hammergraben“ und „Schwarze Elster in Plessa“ zeigen überwiegend eine gute Übereinstimmung mit den Messwerten. Die Abweichungen der Modellergebnisse von den Messwerten liegen überwiegend im Bereich der Messunschärfe (siehe Abschnitte 7.3

und 7.4). Werden dagegen nicht taggleiche Messdaten als Eingangsdaten für das Modell verwendet, weichen die Modellergebnisse deutlich stärker von den Messwerten ab (siehe Abschnitt 7.5). Das schränkt die Nutzung des Modells für die Prognose der Versauerung der Schwarzen Elster entsprechend ein. Aus den Ergebnissen der Modellevaluierung werden Empfehlungen für die Anwendung des Modells zur Prognose der Versauerung der Schwarzen Elster abgeleitet (Abschnitt 8).

Die Versauerung der Schwarzen Elster in Plessa ist hauptsächlich auf die Einmündung des Hammergrabens zurückzuführen (vgl. Abschnitt 6). Die Versauerung der Schwarzen Elster kann mit den Ausgangswerten am Pegel Lauchhammer sowie den Bilanzknoten Schwarze Elster in Plessa und Mündung Hammergraben hinreichend genau prognostiziert werden. Die Voraussetzung dafür ist die Verwendung taggleicher Messwerte des Sondermonitorings Schwarze Elster der LMBV für die Bilanzknoten Hammergraben und die Schwarze Elster in Lauchhammer. Unter Berücksichtigung der Unschärfe sowohl der Messungen als auch des vereinfachten konservativen Berechnungsansatzes wird die Einführung folgender Schwellenwerte für die prognostizierte Säurekapazität $K_{S4,3}$ vorgeschlagen (Tabelle 28):

Tabelle 28: Empfehlungen für Schwellenwerte zur Prognose der Versauerung der Schwarzen Elster.

Prognostizierte Säurekapazität $K_{S4,3}$	Erläuterung	Handlungsempfehlung
$\leq 0,5$ mmol/L	In der Schwarzen Elster in Plessa entwickelt sich eine Bedrohungslage für eine Versauerung	Vorbereitung von Maßnahmen
$\leq 0,3$ mmol/L	Die Wahrscheinlichkeit einer Versauerung der Schwarzen Elster in Plessa ist sehr hoch.	Ausführung von Maßnahmen

Die Eingangssignale des Bilanzmodells bis zum Bilanzknoten Lauchhammer können bislang für eine Kurzfristprognose nicht mit geeigneten (vorzugsweise taggleichen) Daten belegt werden. Für die strategische Prüfung von Steuerungsoptionen (vgl. Abschnitt 7.1) zur Verhinderung bzw. Minderung der Versauerung der Schwarzen Elster sind für diesen Modellabschnitt konsistente Eingangsdatensätze erforderlich. Zur Gewinnung dieser Datensätze werden im einfachsten Fall Stichtagsmessungen vorgeschlagen. Ein systematisches monatliches Monitoring würde den Datenbestand deutlich aufwerten.

8 Empfehlungen

Solange sich die hydrologische und hydrochemische Konstellation der Schwarzen Elster im Einflussbereich des Sanierungsbergbaus der LMBV nicht wesentlich verändert, das betrifft vor allem die geplante Inbetriebnahme der WBA Plessa, aber auch andere Zäsuren, wie die geplante Außerbetriebnahme der GWRA Rainitz, werden zur Versauerungsprävention der Schwarzen Elster folgende Empfehlungen gegeben:

1. Das wöchentliche Sondermonitoring der LMBV zur Versauerung der Schwarzen Elster am Knoten Hammergraben/Schwarze Elster sollte unverändert fortgeführt werden. Bei gesichertem Regelbetrieb der WBA Plessa kann das Sondermonitoring durch ein qualifiziertes Anlagenmonitoring abgelöst werden.
2. Die Ursachen für die Differenzen der Durchflussmessungen des LfU Brandenburg und der LMBV am Pegel Plessa 2 sollten aufgeklärt werden, damit die Wasserbilanz des Hammergrabens präzisiert werden kann.
3. Die Ursachen für die Differenzen der Durchflussmessungen am Pegel Lauchhammer des LfU Brandenburg und der Stichtagsmessungen i. R. der vorliegenden Untersuchungen sollten aufgeklärt werden, damit die Wasserbilanz der Schwarzen Elster am Profil Kahla präzisiert werden kann.
4. Der Ablauf der Kläranlage der BASF Schwarzheide sollte aufgrund der vermuteten starken Pufferung des Reinwassers in das konservative Bilanzmodell aufgenommen werden. Die Pufferung des Reinwassers ist durch wiederholte Messungen quantitativ valide zu ermitteln. Die Einbeziehung des Ablaufs der Kläranlage der BASF Schwarzheide in ein systematisches Monitoring ist jedoch nicht erforderlich.
5. Im gesamten Bilanzgebiet der Schwarzen Elster wird die Durchführung wiederholter taggleicher Stichtagsmessungen der Durchflüsse und der Wasserbeschaffenheit aller relevanten Bilanzelemente (siehe Abschnitt 7.1, Bild 40) empfohlen. Das Ziel besteht in der Ermittlung geschlossener Wassermengen- und Stoffmengenbilanzen für den betroffenen Abschnitt der Schwarzen Elster zwischen dem Wehr Kleinkoschen und Kahla. Sofern die Bilanzen relevante Abweichungen zeigen, können daraus weitere vertiefende Untersuchungen abgeleitet werden.
6. Die Stichtagsmessungen unter Pkt. 5 sollten ggf. in ein systematisches monatliches Monitoring überführt werden.
7. Vorausschauend empfiehlt der Gutachter eine Neubewertung der hydrologischen und hydrochemischen Verhältnisse im Untersuchungsabschnitt der Schwarzen Elster zwischen Kleinkoschen und Elsterwerda für den Zustand nach der Inbetriebnahme des Ableiters Sedlitz.



9 Quellenverzeichnis

- [IWB 2013] Uhlmann, W. und K. Zimmermann: Wissenschaftlich-technisches Projekt 112 „Gewässergüte in den Tagebauseen der Lausitz“ 2013-2015. – Eisenbelastung der Schwarzen Elster Teil 1: Bestandsaufnahme. Institut für Wasser und Boden Dr. Uhlmann im Auftrag der LMBV, Dresden, 05.07.2013. [interne Projekt-Nr. 07/13]
- [IWB 2015] Uhlmann, W.; S. Theiss; K. Zimmermann; R. Hiekel und S. Mix: Vertiefende Untersuchungen zur Präzisierung der Eisenbelastung in der Schwarze Elster im Rahmen des Projektes 184 „Bergbaulich beeinflusste Grundwasserbeschaffenheit der Lausitz“. Teil 2: Monitoringkonzept, saisonale Austragsdynamik, Grundwasserwechselwirkungen und erste Maßnahmenvorschläge. Institut für Wasser und Boden Dr. Uhlmann im Auftrag der LMBV, Dresden, 31. August 2015. [interne Projekt-Nr. 11/14]
- [IWB 2019] Uhlmann, W.; Y. Kreuziger und K. Zimmermann: Untersuchungen von eisenhaltigem, saurem Grundwasser auf die Fließgewässer in der Lausitz 2018 bis 2020. Ursachenermittlung der Versauerung der Schwarzen Elster 2019 und Vorschläge für Lösungsansätze. Institut für Wasser und Boden Dr. Uhlmann im Auftrag der LMBV, unveröff., Dresden, 07. August 2019. [interne Projekt-Nr. 12/16]
- [IWB 2020] Uhlmann, W., A. Gröschke und K. Zimmermann: Erarbeitung eines strategischen Hintergrundpapiers zu den bergbaubedingten Stoffeinträgen in den Flusseinzugsgebieten Spree und Schwarze Elster. - Teil 3: Maßnahmen. Institut für Wasser und Boden Dr. Uhlmann im Auftrag des LBGR, Dresden, Februar 2020. [interne Projekt-Nr. 23/19]
- [IWB 2022] Uhlmann, W., K. Zimmermann, R. Hiekel, Y. Hillecke: Untersuchung der Prüffälle für OWK zur Bestimmung und Abgrenzung von bergbaubedingten Stoffeinträgen. Institut für Wasser und Boden Dr. Uhlmann im Auftrag des LBGR, in Bearbeitung.
- [UBV 2020] Daffner, Th. und C. Leibenath: Hydrogeologische Berechnung – Einschätzung (HE). - Fortschreibung des ständig arbeitenden Modells Senftenberg (SAM SFB) für den Zeitraum 2010-2018 und Durchführung von Variantenberechnungen, UBV Umweltbüro GmbH Vogtland im Auftrag der LMBV, Senftenberg, 15.05.2020.