Das Niedrigwasser der Elbe 2019: Auswertung des Messprogramms Extremereignisse zur Wasser-beschaffenheit

Hübner, G. & Schwandt, D.,
Bundesanstalt für
Gewässerkunde (BfG)

Stand: 30.04.2021

Impressum

Herausgeber:	Flussgebietsgemeinschaft Elbe Otto-von-Guericke-Straße 5 39104 Magdeburg www.fgg-elbe.de
Redaktion:	Bundesanstalt für Gewässerkunde Geschäftsstelle der FGG Elbe
Bearbeitung:	Dr. Gerd Hübner Dr. Daniel Schwandt
Layout:	Geschäftsstelle der FGG Elbe
Bildnachweise Titelseite:	oben links [1]: Elbe am Pegel Magdeburg-Strombrücke (1.8.2019) oben rechts [2]: Elbe beim Magdeburger Domfelsen (2.8.2019) unten links [3]: Elbe oberhalb Magdeburger Sternbrücke (2.8.2019)

Copyright Bilder [1],[2],[3]: Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt, Stefan Wilhayn

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung 7

1 Einleitung 9

2 Hydrologische Einordnung des Niedrigwassers 10

3 Messprogramm, ergänzende Daten und Methoden 12

4 Wasserbeschaffenheit 15

4.1 Basiskenngrößen: Stichproben / kontinuierliche Sondenmessungen 15

4.2 Abfiltrierbare Stoffe, organischer Kohlenstoff, Chlorophyll a, Nährstoffe 20

4.3 Chlorid und Sulfat 22

4.4 Metalle 24

4.5 Schwermetalle / Arsen 26

4.6 Organische Spurenstoffe 31

4.6.1 Schwerflüchtige chlorierte Kohlenwasserstoffe 31

4.6.2 Arzneistoffe und Metabolite 32

5 Einordnung der Ergebnisse 33

5.1 Wasserführung 33

5.2 Wasserbeschaffenheit 33

5.2.1 Basiskenngrößen 33

5.2.2 Kenngrößen mit engem Bezug zur trophischen Entwicklung 35

5.2.3 Hauptionen 36

5.2.4 Schwermetalle und Arsen 37

5.2.5 Arzneistoffe und Metabolite 37

6 Literatur / Quellen 39

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Durchfluss (Tagesmittelwerte) an den Elbepegeln Wittenberg und Barby sowie Niederschlagshöhe (Tagessumme) an der Wetterstation (WST) Wittenberg im Jahr 2019 10

Abbildung 2: Beteiligte Behörden / Institutionen sowie Messstellen und Pegel des Messprogramms Extremereignisse beim Niedrigwasser 2019 12

Abbildung 3: Durchfluss (Tagesmittelwerte) an ausgewählten Elbepegeln vom 1.6. - 31.10.2019 im Vergleich zum langjährigen mittleren Niedrigwasserdurchfluss ($MNQ_{1956-2019}$) und Probenahmetermine (schwarze Linien: reguläre Termine nach FGG Elbe 2018, schwarz-rote Linien: Zusatztermine im Rahmen des MPE) 13

Abbildung 4: Sauerstoffgehalt (tägliche Spannweite) und Wassertemperatur (Tagesmaximum) der Elbe während des Niedrigwassers 2019 an den Messstationen Schmilka und Schnackenburg (Messstörung Sauerstoffgehalt: 27.8. - 4.9.2019, Wassertemperatur: 26.8. - 28.8.2019) im Vergleich zum Durchfluss (Tagesmittelwerte) 19

Abbildung 5: Konzentration von ortho-Phosphat-Phosphor (ortho-P), Chlorophyll a (Chl.a), abfiltrierbaren Stoffen (abf. St.) und TOC in der Elbe; oben: im Längsverlauf zwischen Schmilka und Schnackenburg am 5.8.2019; unten bei Schnackenburg vom 15.7. - 30.9.2019 22

Abbildung 6: Spannweite und Mittelwert der Konzentration von Chlorid (oben) und Sulfat (unten) in Elbe, Mulde, Saale und Havel beim Niedrigwasser (NW) 2019, 2018 und im Jahr 2012 23

Abbildung 7: Konzentration von Chlorid (links) und Sulfat (rechts) in Wochenmischproben (WMP) und Einzelproben (EP) nach dem MPE beim Niedrigwasser 2019 an den Elbe-Messstellen Schmilka, Wittenberg und Schnackenburg sowie Durchfluss (Q, Tagesmittelwerte) an den Bezugspegeln 24

Abbildung 8: Links: Konzentration von Natrium und Kalium in der Saale bei Rosenburg beim Niedrigwasser (NW) 2019, 2018 und im Jahr 2012; rechts: Massenverhältnis von Natrium und Kalium an derselben Messstelle im Vergleich zum Durchfluss (Q, Tagesmittelwerte) beim NW 2019, 2018 und im Jahr 2012 25

Abbildung 9: Links: Konzentration von Calcium und Magnesium in der Saale bei Rosenburg beim Niedrigwasser (NW) 2019, 2018 und im Jahr 2012; rechts: Massenverhältnis von Calcium und Magnesium an derselben Messstelle im Vergleich zum Durchfluss (Q, Tagesmittelwerte) beim NW 2019, 2018 und im Jahr 2012 25

Abbildung 10: Boxplots der Kupfer-, Zink-, Blei-, Cadmium- und Arsenkonzentration in der Elbe bei Schmilka im Zeitraum 1995 bis 2019; markiert sind die hohen Konzentrationen („Ausreißer“) am 19.8.2019 (Cu, Zn) bzw. 16.9.2019 (Pb, Cd, As) (Datenquelle: LFULG 2021) 27

Abbildung 11: Spannweite und Mittelwert der Konzentration von Nickel in Elbe, Mulde, Saale und Havel beim Niedrigwasser (NW) 2019, 2018 und im Jahr 2012 (BG = Bestimmungsgrenze) 28

Abbildung 12: Spannweite und Mittelwert der Konzentration von Arsen in Elbe, Mulde, Saale und Havel beim Niedrigwasser (NW) 2019, 2018 und im Jahr 2012 (* = „Ausreißer“, nicht in Mittelwertbildung einbezogen, vgl. Text und Abbildung 10) 29

Abbildung 13a/b/c/d: Konzentration von a) Blei (oben links), b) Cadmium (oben rechts, c) Chrom (unten links) und d) Kupfer (unten rechts) in Wochenmischproben (WMP, Gesamtproben) und Einzelproben (EP, Gesamtproben, ohne „Ausreißer“ nach Abbildung 10) nach dem MPE beim Niedrigwasser 2019 an den Elbe-Messstellen Schmilka, Wittenberg und Schnackenburg sowie Durchfluss (Q, Tagesmittelwerte) an den Bezugspegeln (BG = Bestimmungsgrenze) 30

Abbildung 14a/b/c/d: Konzentration von a) Nickel (oben links), b) Quecksilber (oben rechts, c) Zink (unten links) und d) Arsen (unten rechts) in Wochenmischproben (WMP, Gesamtproben) und Einzelproben (EP, Gesamtproben, ohne „Ausreißer“ nach Abbildung 10) der Elbe nach dem MPE beim Niedrigwasser 2019 an den Messstellen Schmilka, Wittenberg und Schnackenburg sowie Durchfluss (Q, Tagesmittelwerte) an den Bezugspegeln (BG = Bestimmungsgrenze) 31

Abbildung 15: Spannweite und Mittelwert der Konzentration von Arzneistoffen in der Elbe bei Schmilka und Schnackenburg beim Niedrigwasser (NW) 2019 und 2018 sowie im Jahr 2012 (BG = Bestimmungsgrenze) 32

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: NM7Q (niedrigster mittlerer Durchfluss von 7 aufeinanderfolgenden Tagen im Kalenderjahr [m³/s]) der Pegel Dresden, Barby und Wittenberge in den Niedrigwasserjahren 2003, 2015, 2018 und 2019 sowie im Vergleichsjahr 2012 11

Tabelle 2: NM21Q (niedrigster mittlerer Durchfluss von 21 aufeinanderfolgenden Tagen im Kalenderjahr [m³/s]) der Pegel Dresden, Barby und Wittenberge in den Niedrigwasserjahren 2003, 2015, 2018 und 2019 sowie im Vergleichsjahr 2012 11

Tabelle 3: Beitrag der Hauptnebenflüsse zur Wasserführung der Elbe. MQ (mittlerer Durchfluss) und Spannweite der Tagesmittelwerte [m³/s] während der Auswertezeiträume der Niedrigwasser 2015, 2018 und 2019.....11

Tabelle 4: Messstellen des Messprogramms Extremereignisse 2019.....12

Tabelle 5: Kenngrößen mit erhöhten Messwerten an mindestens drei Messstellen des MPE beim Niedrigwasser (NW) 15.7. - 30.09.2019; x = Maximum der NW-Messwerte ist größer als das Maximum der Einzelproben-Messwerte im Vergleichsjahr 2012 15

Tabelle 6: Maximum (Max.) von Wassertemperatur, pH-Wert und elektr. Leitfähigkeit sowie Minimum (Min.) des Sauerstoffgehalts nach Feldmessungen beim Niedrigwasser 2019 an Messstellen des MPE.....16

Tabelle 7: Höchster Tagesmittelwert von Wassertemperatur, pH-Wert und elektrischer Leitfähigkeit sowie niedrigster Tagesmittelwert des Sauerstoffgehalts der Elbe beim Niedrigwasser (NW) 2019 und 2018 sowie im Gesamtjahr 2019 und 2012 nach kontinuierlicher Messung; NW-Messwerte 2019 im **Fettdruck**, wenn sie den größten bzw. beim Sauerstoffgehalt den niedrigsten Messwert darstellen 17

Tabelle 8: Maximum von Wassertemperatur, pH-Wert und elektrischer Leitfähigkeit sowie Minimum des Sauerstoffgehalts der Elbe beim Niedrigwasser (NW) 2019 und 2018 sowie im Gesamtjahr 2019 und 2012 nach kontinuierlicher Messung; NW-Messwerte 2019 im **Fettdruck**, wenn sie den größten bzw. beim Sauerstoffgehalt den niedrigsten Messwert darstellen 18

Tabelle 9: Mittelwert und Spannweite der Konzentration von abfiltrierbaren Stoffen, TOC, DOC und Chlorophyll a in der Elbe beim Niedrigwasser (NW) 2019, 2018 sowie im Jahr 2012.....21

Tabelle 10: Durchschnittliches Massenverhältnis von Natrium und Kalium sowie von Calcium und Magnesium in der Elbe und der Saale beim Niedrigwasser (NW) 2019, 2018 sowie im Jahr 2012 26

Tabelle 11: Erhöhte Konzentrationen [µg/l] diverser Schwermetalle in der Elbe beim Niedrigwasser (NW) 2019 nach dem MPE (Max. = maximale Konzentration) 27

Zusammenfassung

Auf das extreme Niedrigwasser der Elbe im Jahr 2018 folgte im Sommer und Frühherbst 2019 ein weiteres außerordentliches Niedrigwasserereignis. Dieses war kürzer als im Vorjahr, bezüglich der geringsten Wasserführung aber ähnlich intensiv ausgeprägt. Im Unterschied zum Niedrigwasser 2018 stellten sich auch in der Saale extrem geringe Durchflüsse ein, in der Havel war der mittlere Durchfluss noch deutlich geringer als 2018, während die Mulde einen höheren Durchfluss aufwies.

Hinsichtlich der Wasserbeschaffenheit wurden die Ergebnisse des „Messprogramms für hydrologische Extremereignisse an der Elbe“ der FGG Elbe im Niedrigwasserzeitraum 15.7. - 30.9.2019 ausgewertet. Einbezogen waren fünf Messstellen an der Elbe im Abschnitt von Schmilka bis Schnackenburg sowie drei mündungsnahe Messstellen an der Mulde, Saale und Havel. In etwa 14-täglichem Abstand wurden dort Wasserproben entnommen. Ferner gingen Ergebnisse aus kontinuierlichen Sondenmessungen und der Analyse von Wochenmischproben an Messstationen in die Auswertungen ein. Die Messwerte wurden der Wasserbeschaffenheit im hydrologischen Referenzjahr 2012 sowie im Niedrigwasserzeitraum 2018 vergleichend gegenübergestellt.

Die extrem hohen Wassertemperaturspitzen beim Niedrigwasser 2018 wurden 2019 nicht ganz erreicht, gleichwohl lag die Wassertemperatur im Tagesmittel an allen Messstationen zeitweise über 25 °C. Auch beim Niedrigwasser 2019 blieb der Sauerstoffhaushalt der Elbe stabil, es traten keine fischkritischen Sauerstoffkonzentrationen auf. Durch Aufkonzentration von Wasserinhaltsstoffe war die elektrische Leitfähigkeit erhöht, blieb aber an den Messstationen der Elbe hinter den Maximalwerten beim Niedrigwasser 2018 zurück. Dagegen wurden in der Saale und Havel Rekordwerte registriert. Während des Niedrigwassers wurden pH-Werte >9 als Tagesmaximum in der Elbe bei Wittenberg (bis pH 9,7) sowie bei Cumlosen und Schnackenburg gemessen. An der Mulde, die ausgeprägte Eutrophierungserscheinungen zeigte, stieg der pH-Wert bis auf die Rekordhöhe von pH 10,3.

Die sich beim Niedrigwasser 2019 gegenüber dem Niedrigwasser 2018 in höheren Chlorophyll a – Konzentrationen ausdrückende stärkere Phytoplanktonentwicklung führte an der Mittelelbe auch zu höheren Konzentrationen abfiltrierbarer Stoffe und des TOC. Wie beim Niedrigwasser 2018 war ein großer Anteil der Nährstoffe Stickstoff und Phosphor in Biomasse inkorporiert. Erst im September und nur stellenweise traten in der Elbe gegenüber dem Referenzjahr 2012 erhöhte Konzentrationen des ortho-Phosphat-Phosphors auf.

Die Chloridkonzentration war an allen Messstellen erhöht. An mehreren Messstellen der Elbe sowie an der Saale und Havel traten Rekordwerte auf. Die Sulfatkonzentration war dagegen meist unauffällig und lag in der Elbe auf ähnlichem Niveau wie beim Niedrigwasser 2018. Die Messwerte der Einzelproben standen bei Chlorid und Sulfat im Einklang mit den Ergebnissen der Wochenmischproben.

Die Konzentration von Kalium und Calcium erreichte in der Saale und stellenweise auch in der Elbe Rekordhöhe, für Natrium wurde an zwei Stellen der Elbe sowie an der Havel eine langjährige Konzentrationsspitze registriert. Der Zufluss der Saale führte in der Elbe zu einer Aufweitung des Natrium / Kalium- wie auch des Calcium / Magnesium-Verhältnisses.

Wie beim Niedrigwasser 2018 traten Nickel und Arsen an mehreren Messstellen der Elbe in erhöhter Konzentration auf. Abgesehen von Nickel wurden andere Schwermetalle nur punktuell in erhöhter Konzentration an einzelnen Stellen der Elbe nachgewiesen, dann jedoch fast immer mit höheren Messwerten als beim Niedrigwasser 2018. An einem Messtermin wurden in der Elbe bei Schmilka sehr hohe Konzentrationen von Kupfer und Zink, an einem zweiten Termin von Blei, Cadmium und Arsen gemessen. Diese Werte konnten statistisch eindeutig als „Ausreißer“ identifiziert werden. Sie spiegeln sich auch in den Konzentrationen der entsprechenden Wochenmischproben aus Schmilka nicht annähernd wider.

Wie schon bei den Auswertungen zum Niedrigwasser 2018 festgestellt wurde, bestanden bei den Schwermetallen teilweise deutliche Unterschiede zwischen dem Konzentrationsniveau der Wochenmischproben auf der einen und der Einzelproben nach dem Messprogramm Extremereignisse auf der anderen Seite. Gute Übereinstimmungen zeigten sich wiederum bei Nickel und Arsen. Die größten Abweichungen traten bei stärker an Feststoffe gebundenen Schwermetallen an der Messstelle Schnackenburg auf, wobei die Konzentration in den Wochenmischproben stets höher lag als in den Einzelproben.

Aus der Gruppe der Arzneistoffe und ihrer Metabolite traten während des Niedrigwassers 2019 Sulfamethoxazol und Carbamazepin wie beim Niedrigwasser 2018 in der Elbe in erhöhter Konzentration auf, wobei die Carbamazepin-Konzentration bei Schnackenburg höher war als beim Niedrigwasser 2018. Die weitaus höchsten Konzentrationen wurden beim Arzneistoffmetabolit Oxipurinol gemessen, der erstmalig im Messprogramm Extremereignisse einbezogen war und für den kein Vergleich zum Referenzjahr 2012 möglich ist. In der Elbe bei Schmilka war die Konzentrationsspitze von Oxipurinol in der Niedrigwasserperiode 2019 geringer als beim Niedrigwasser 2018.

1 Einleitung

Auf das langanhaltende extreme Niedrigwasser der Elbe vom Juli bis Anfang Dezember des Jahres 2018 (FGG Elbe 2020) folgte im Sommer und frühen Herbst des Jahres 2019 eine weitere außerordentlich intensiv ausgeprägte Niedrigwasserperiode. Eine Aufeinanderfolge von zwei extremen „Sommer-Niedrigwasserereignissen“ trat an der Elbe in Deutschland zuletzt in den Jahren 1934 und 1935 auf (HÜBNER & SCHWANDT 2018). Begonnen mit dem Niedrigwasserereignis im Jahr 2015 (FGG Elbe 2016) stellt das Niedrigwasser 2019 das dritte extreme „Sommer-Niedrigwasser“ der Elbe innerhalb weniger Jahre dar. Nach 2013, dem Jahr mit dem schweren Juni-Hochwasser, wurde in allen folgenden Kalenderjahren – mindestens bis einschließlich 2020 – eine in der Jahresbilanz nur unterdurchschnittliche Wasserführung der Elbe gegenüber dem langjährigen Mittelwert beobachtet.

Wie bei den Niedrigwasserereignissen 2015 und 2018, so kam auch beim Niedrigwasser 2019 das unter dem Dach der FGG Elbe entwickelte und fortgeschriebene „Messprogramm für hydrologische Extremereignisse an der Elbe“ (kurz „MPE“) zum Einsatz (FGG Elbe 2019), das von der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) koordiniert wird (BfG 2021). Das Programm hat eine abgestimmte und intensivierte Untersuchung der Wasserbeschaffenheit der Elbe bei außerordentlich hoher oder geringer Wasserführung zum Ziel. Die Messungen werden im Niedrigwasserfall von den Ländern Sachsen, Sachsen-Anhalt, Brandenburg und Niedersachsen durchgeführt, ergänzt durch Messungen der BfG und – in separater Regie – des Helmholtzzentrums für Umweltforschung (UFZ). Messergebnisse des UFZ zum Elbe-Niedrigwasser 2019 sind in UFZ (2019) dargestellt.

Formale Struktur und inhaltliche Auswertungen innerhalb des hier vorliegenden Ereignisberichts sind bewusst eng an den FGG-Bericht zum Niedrigwasser 2018 (FGG Elbe 2020) angelehnt, um Vergleiche beider Ereignisse zu erleichtern. Der Fokus liegt wiederum auf den während der Niedrigwasserphase in der Elbe gemessenen stofflichen Konzentrationen. Ein modellgestützter Vergleich ereignisbezogener Frachten von Wasserinhaltsstoffen erfolgt an anderer Stelle.

2 Hydrologische Einordnung des Niedrigwassers

Längere Phasen geringer Gebietsniederschläge, hoher Lufttemperaturen und hoher Evapotranspiration bestimmten die Ausbildung der hydrologischen Dürre 2019 im Einzugsgebiet der Elbe. In Deutschland wurden 2019 der wärmste Juni und der siebtwärmste August seit Beginn flächendeckender Temperaturmessungen im Jahre 1881 beobachtet (DWD 2019).

Im deutschen Teil des Elbeeinzugsgebietes wurden im Februar, April und August 2019 weniger als 60 % des langjährigen Gebietsniederschlagsmittels (1981 - 2010) registriert, im Juli weniger als 70 % (DWD 2019). In der Tschechischen Republik waren die Monate April mit 60 %, Juni mit 67 % und Juli 2019 mit 66 % des langjährigen Niederschlagsmittels (1981 - 2010) sehr niederschlagsarm (ČHMÚ 2020). Das Böhmische Becken sowie die Vorländer des Iser- und Riesengebirges und somit (Teil-)Einzugsgebiete der Eger (Ohře) und Iser (Jisera) waren von der Trockenheit besonders betroffen.

Die exemplarische Darstellung des Niederschlags an der DWD-Wetterstation Wittenberg in Abbildung 1 weist wiederholt Zeiträume ohne bzw. mit sehr geringem Niederschlag aus (z. B. 29.3. - 25.4.2019 [28 Tage] mit einer Niederschlagssumme von 1,5 mm, 21.5. - 5.6.2019 [16 Tage] mit 0,2 mm und 21.6. - 5.7.2019 [15 Tage] mit 0,0 mm). Die (lokal) ergiebigen Niederschläge im Juli, August und bis Ende September fielen vereinzelt und waren kaum abflusswirksam. Erst eine längere Niederschlagsperiode Ende September / Anfang Oktober war abflusswirksam und beendete die Niedrigwasserphase.

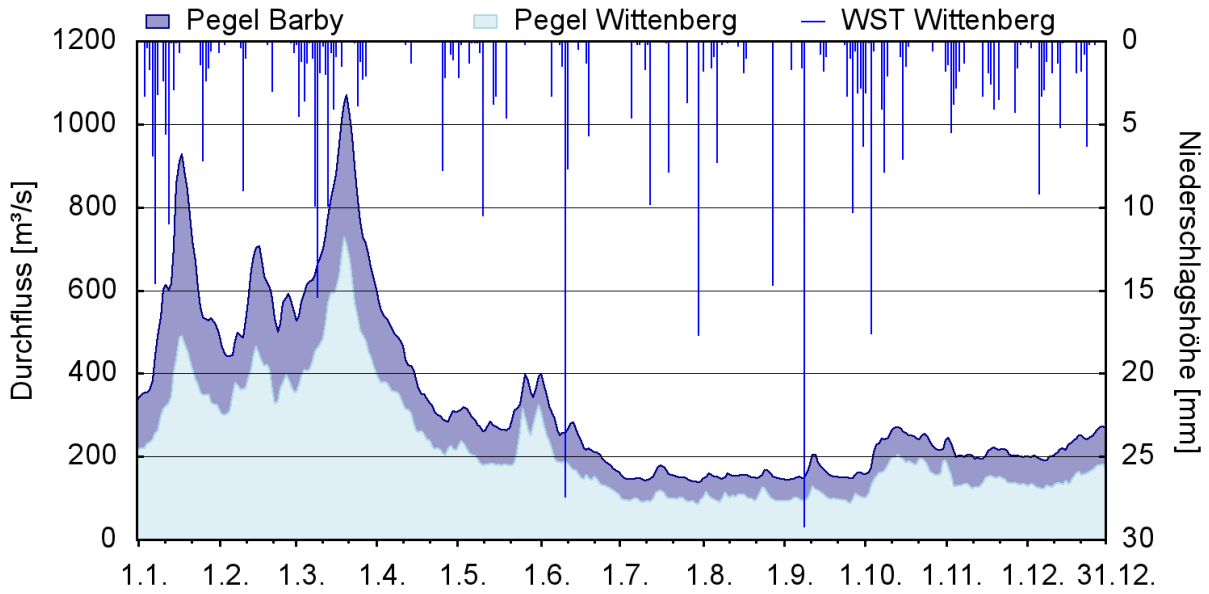

Abbildung 1: Durchfluss (Tagesmittelwerte) an den Elbepegeln Wittenberg und Barby sowie Niederschlagshöhe (Tagessumme) an der Wetterstation (WST) Wittenberg im Jahr 2019

Der Vergleich der Niedrigwasserereignisse 2019, 2018 und 2015 über den hydrologischen Kennwert NM7Q (niedrigster mittlerer Durchfluss von 7 aufeinanderfolgenden Tagen eines Jahres) in Tabelle 1 ergibt für den Pegel Dresden 2019, 2018 und 2015 eine ähnliche Intensität des Niedrigwassers, jedoch einen deutlichen zeitlichen Versatz der geringsten Wasserführung (Anfang Juli 2019, Mitte September 2018, Mitte August 2015). An den Pegeln Barby und Wittenberge waren die NM7Q-Werte 2018 und 2019 niveaugleich und deutlich niedriger als 2015. Der Zeitpunkt des Auftretens der niedrigsten Wasserführung

stimmte 2015 und 2018 an den beiden Pegeln fast taggenau überein (Mitte bzw. Ende August). 2019 gab es größere Unterschiede (Barby Ende Juli / Anfang August, Wittenberge Anfang September).

An den Pegeln Barby und Wittenberge lag 2019 das NM7Q innerhalb des Zeitraums des NM21Q. Das NM21Q (siehe Tabelle 2) ist nur geringfügig höher als das NM7Q – ein Resultat langanhaltender niedriger Wasserführung. Am Pegel Dresden liegen 2019 die Zeiträume von NM7Q und NM21Q hintereinander. Grund hierfür ist die durch Steuerung der Wasserabgabe aus Talsperren in der Tschechischen Republik stärker schwankende Wasserführung der Elbe in Sachsen. Bezogen auf das NM21Q war das Niedrigwasser 2019 nicht ganz so stark ausgeprägt wie 2018, jedoch an der Mittelelbe niedriger als 2015.

Tabelle 1: NM7Q (niedrigster mittlerer Durchfluss von 7 aufeinanderfolgenden Tagen im Kalenderjahr [m³/s]) der Pegel Dresden, Barby und Wittenberge in den Niedrigwasserjahren 2003, 2015, 2018 und 2019 sowie im Vergleichsjahr 2012

Elbepegel	2003	2012	2015	2018	2019
Dresden	93,7 (10.8.-16.8.)	127 (26.5.-1.6.)	81,7 (10.8.-16.8.)	82,8 (14.9.-20.9.)	86,3 (6.7.-12.7.)
Barby	171 (13.8.-19.8.)	232 (28.8.-3.9.)	153 (10.8.-16.8.)	140 (23.8.-29.8.)	142 (27.7.-2.8)
Wittenberge	175 (15.8.-21.8.)	299 (28.8.-3.9.)	183 (11.8.-17.8.)	167 (25.8.-31.8.)	170 (2.9.-8.9.)

Tabelle 2: NM21Q (niedrigster mittlerer Durchfluss von 21 aufeinanderfolgenden Tagen im Kalenderjahr [m³/s]) der Pegel Dresden, Barby und Wittenberge in den Niedrigwasserjahren 2003, 2015, 2018 und 2019 sowie im Vergleichsjahr 2012

Elbepegel	2003	2012	2015	2018	2019
Dresden	97,9 (8.8.-28.8.)	138 (23.5.-12.6.)	90,4 (27.7.-16.8.)	87,1 (12.8.-1.9.)	93,4 (18.7.-7.8.)
Barby	175 (11.8.-31.8.)	243 (21.8.-10.9.)	164 (28.7.-17.8.)	142 (11.8.-31.8.)	149 (21.7.-10.8.)
Wittenberge	182 (15.8.-4.9.)	316 (27.8.-16.9.)	199 (30.7.-19.8.)	168 (15.8.-4.9.)	176 (22.8.-11.9.)

Tabelle 3: Beitrag der Hauptnebenflüsse zur Wasserführung der Elbe. MQ (mittlerer Durchfluss) und Spannweite der Tagesmittelwerte [m³/s] während der Auswertezeiträume der Niedrigwasser 2015, 2018 und 2019.

Gewässer, Pegel	2015 (20.7. - 5.10.)	2018 (16.7. - 10.12.)	2019 (15.7. - 30.9.)
Schwarze Elster, Löben	4,86 (2,24 – 11,6)	3,69 (1,7 – 7,84)	1,82 (1,35 – 2,82)
Mulde, Priorau	21,5 (13,7 – 60,5)	12,2 (9,6 – 22,8)	15,3 (11,4 – 46,5)
Saale, Calbe-Grizehne	49 (36,7 - 108)	38,1 (30,9 – 57,2)	33,9 (29,2 – 55,6)
Havel, Havelberg-Stadt	24,8 (10,1 – 52,9)	21,1 (3,60 – 54,9)	13,2 (3,45 – 36,6)

Die Beiträge der Schwarzen Elster, der Saale und der Havel zur Wasserführung der Elbe waren im Mittel während des Auswertezeitraums des Niedrigwassers 2019 geringer als 2018 und 2015, im Fall der Mulde 2019 etwas höher als 2018 (Tabelle 3). Die Spannweite der Tagesmittel des Durchflusses an den einzelnen Pegeln war hoch (insbesondere an der staugeregelten Havel), so dass eine taggenaue Betrachtung der Messtermine für eine detaillierte Aufklärung des Konzentrations- und Frachtgeschehens notwendig wäre.

3 Messprogramm, ergänzende Daten und Methoden

Die Auslösung des MPE bei Niedrigwasser setzt programmgemäß eine mindestens 14-tägige Unterschreitung von Schwellenwerten des Durchflusses (Tagesmittel) an den Elbe-Pegeln Schöna (Q <105 m³/s) und Barby (Q <210 m³/s) sowie die Prognose einer weiterhin anhaltenden niedrigen Wasserführung voraus (vgl. FGG Elbe 2019). Beim Start des MPE am 15.7.2019 waren diese Vorbedingungen erfüllt. Am Pegel Schöna betrug der Durchfluss vom 27.6. - 13.7.2019 (17 Tage) im Tagesmittel nur 78,5 - 102 m³/s und am Pegel Barby vom 24.6. - 14.7.2019 (21 Tage) lediglich 142 - 205 m³/s.

Informationen über die am MPE mitwirkenden Behörden bzw. Institutionen sowie über die einbezogenen Gütemessstellen und Pegel gehen aus Abbildung 2 und Tabelle 4 hervor.

Die Messtermine des MPE wurden mit dem Koordinierten Elbemessprogramm (KEMP) abgestimmt (FGG Elbe 2018), woraus die planmäßige etwa 14-tägliche Beprobungsfrequenz resultierte (Abbildung 3). An den Messstellen Wittenberg, Elbe und Dessau, Mulde wurde anstelle des Messtermins 16.9.2019 am Folgetag gemessen. Am letzten Messtermin des MPE (14.10.2019) war die Wasserführung an allen relevanten Elbepegeln wieder über MNQ angestiegen, so dass diese Messergebnisse nicht mehr in die nachfolgend dargestellten Auswertungen einbezogen wurden. Die hier definierte extreme Niedrigwasserphase endet mit dem Messtermin am 30.9.2019.

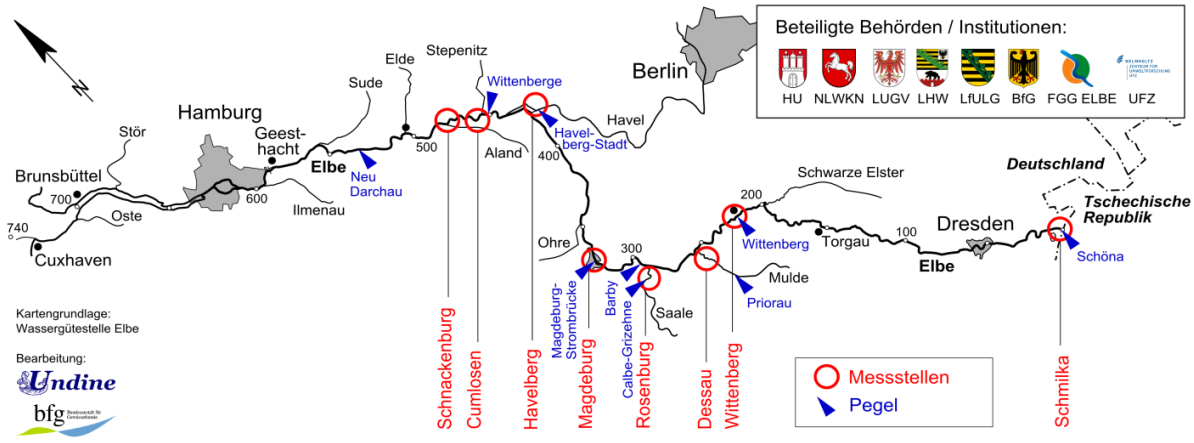

Abbildung 2: Beteiligte Behörden / Institutionen sowie Messstellen und Pegel des Messprogramms Extremereignisse beim Niedrigwasser 2019

Tabelle 4: Messstellen des Messprogramms Extremereignisse 2019

Fluss	Messstelle	Kürzel	Fluss-km	Flussseite	Bundesland
Elbe	Schmilka*	SM	3,9	rechts	Sachsen
Elbe	Wittenberg*	WB	213,8	Mitte	Sachsen-Anhalt
Elbe	Magdeburg	MD	318,1	links	Sachsen-Anhalt
Elbe	Cumlosen*	CU	470,0	rechts	Brandenburg
Elbe	Schnackenburg*	SN	474,5	links	Niedersachsen
Mulde	Dessau*	DE	7,6	links	Sachsen-Anhalt
Saale	Rosenburg	RO	4,5	rechts	Sachsen-Anhalt
Havel	Havelberg	HV	144,9	rechts	Brandenburg
* hier: zusätzlicher Einbezug von Ergebnissen der automatischen kontinuierlichen Gewässergüte-Überwachung der Länder bzw. der BfG (Radiologische Messstation Wittenberg, Fluss-km 216,6)					

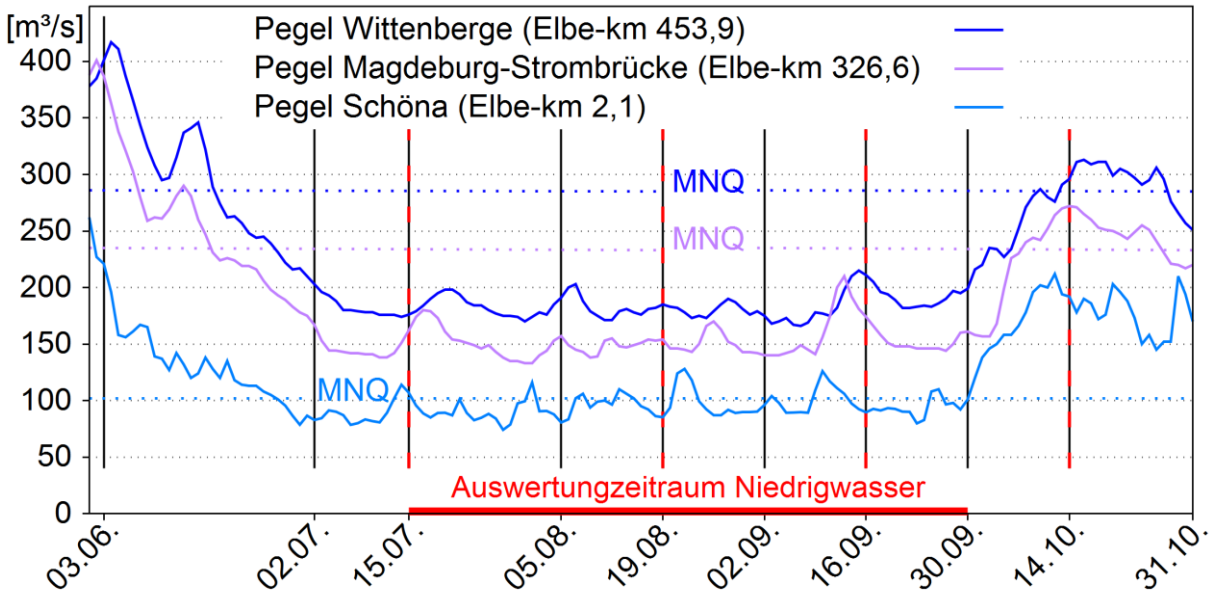

Abbildung 3: Durchfluss (Tagesmittelwerte) an ausgewählten Elbepegeln vom 1.6. - 31.10.2019 im Vergleich zum langjährigen mittleren Niedrigwasserdurchfluss ($MNQ_{1956-2019}$) und Probenahmetermine (schwarze Linien: reguläre Termine nach FGG Elbe 2018, schwarz-rote Linien: Zusatztermine im Rahmen des MPE)

Untersucht wurden im Spektrum des KEMP (FGG Elbe 2018) enthaltene Basiskenngrößen der Wasserbeschaffenheit, Hauptionen, Nährstoffe, Schwermetalle und Arsen, schwerlösliche halogenierte Kohlenwasserstoffe, Arzneistoffe sowie einzelne bio- bzw. bakteriologische Kenngrößen. Die Analysen erfolgten gemäß der nach KEMP (FGG Elbe 2018) vorgesehenen Methodik.

Eine Zusammenstellung der nach dem MPE erhobenen Daten findet sich in BfG (2021). Perspektivisch werden die Messwerte des MPE 2019 wie die Messwerte aus den vorausgehenden MPE-Einsätzen im Datenportal der FGG Elbe (2021) aufgenommen. Neben diesen Messergebnissen stützt sich die nachfolgend vorgenommene Auswertung im Wesentlichen auf folgende Datengrundlagen:

- Durchfluss (Tagesmittelwerte) an Pegeln der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung (WSV), bereitgestellt von der BfG,
- Ergebnisse kontinuierlicher Messungen von Basiskenngrößen der Wasserbeschaffenheit der Elbe im Jahr 2018 und 2019 aus Landesmessstationen (nach FGG Elbe 2021) und der Radiologischen Messstation Wittenberg (BfG),
- Messergebnisse der Länder zur Wasserbeschaffenheit von Einzelproben sowie Wochenmischproben bis zum Ende des Jahres 2019 nach FGG Elbe (2021).

Als Bewertungsgrundlage werden die Verhältnisse beim Niedrigwasser 2019 (Zeitraum 15.7. - 30.09.2019; Dauer: 78 Tage) in methodischer Analogie zu FGG Elbe (2016, 2020) verglichen mit:

- dem Niedrigwasser 2018 (16.7. - 10.12.2018; Dauer: 148 Tage) als vorausgehendes extremes Niedrigwasserereignis,
- dem Jahr 2012 als hydrologisches „Normal-" / Referenzjahr ohne ausgeprägtes Hoch- oder Niedrigwasser,
- dem Gesamtjahr 2019.

Wenn nicht anders vermerkt, nehmen die Vergleiche zu Messwerten außerhalb des MPE nur auf Messwerte von Einzelproben (Stichproben) Bezug. Vergleiche zu Langzeitdatenreihen beziehen sich auf Einzelproben-Intervallmessungen gemäß FGG Elbe (2021). Messwerte beim Niedrigwasser 2019, die den Höchstwert des Vergleichsjahres 2012 an der betreffenden Messstelle überschreiten, werden als „erhöht“ oder „auffällig“ bezeichnet. Zur Mittelwertberechnung von Messreihen wurden Messergebnisse unter der Bestimmungsgrenze mit der Hälfte des Wertes dieser Bestimmungsgrenze angenommen. Ein Mittelwert wurde nur ausgewiesen, wenn mindestens die Hälfte der Messwerte quantitativ bestimmt werden konnte. Bei Elementen, deren Konzentration in unfiltrierten „Gesamtproben“ und filtrierten Proben bestimmt wurde, lag in Einzelfällen der Messwert der filtrierten geringfügig über dem Messwert der unfiltrierten Probe. In diesen Fällen wurde die Konzentration der unfiltrierten Probe auch für die filtrierte Probe zugrunde gelegt. Stoffe in der filtrierten Probe (0,45 µm-Filter) werden ohne Berücksichtigung von kolloidalen Bindungsformen als „gelöst“ bezeichnet.

4 Wasserbeschaffenheit

Beim Niedrigwasser 2019 wiesen zahlreiche Kenngrößen der Wasserbeschaffenheit an einzelnen Stellen und Beprobungsterminen erhöhte Messwerte auf (vgl. BfG 2021). Bei den in Tabelle 5 zusammengestellten Kenngrößen zeigten sich an mindestens drei Probestellen auffällige Messergebnisse. Hervorzuheben sind insbesondere die Kenngrößen elektrische Leitfähigkeit, Kalium, Natrium, Chlorid, Nickel und Arsen mit erhöhten Messwerten an der Mehrzahl der Probestellen. Arzneistoffe sind in Tabelle 5 nicht enthalten, da sie gemäß dem MPE nur in der Elbe bei Schmilka und Schnackenburg gemessen wurden. Auf diesbezügliche Auffälligkeiten wird in Kapitel 4.6.2 eingegangen.

Tabelle 5: Kenngrößen mit erhöhten Messwerten an mindestens drei Messstellen des MPE beim Niedrigwasser (NW) 15.7. - 30.09.2019; x = Maximum der NW-Messwerte ist größer als das Maximum der Einzelproben-Messwerte im Vergleichsjahr 2012

Gewässer	**Elbe**					**Mulde**	**Saale**	**Havel**
Kenngröße / Messstelle	SM	WB	MD	CU	SN	DE	RO	HV
Wassertemperatur	x			x			x	
elektrische Leitfähigkeit		x	x	x	x	x	x	x
abfiltrierbare Stoffe				x	x	x		x
TOC					x	x		x
Calcium			x		x		x	
Kalium	x	x	x		x		x	x
Natrium	x	x	x		x	x	x	x
Chlorid	x	x	x	x	x	x	x	x
ortho-Phosphat-Phosphor		x		x				x
Nickel (gesamt)		x	x		x		x	x*
Nickel (filtriert)	x	x	x				x	
Uran (gesamt)	x					x		x*
Arsen (gesamt)	(x)		x	x		x		x*
Arsen (filtriert)			x	?	x	x		x*
Chlorophyll a				x	x	x		x

(x): nur ein „Ausreißer“ übertraf den Maximalwert des Jahres 2012 (vgl. Kapitel 4.5)
* : Vergleich mit Jahr 2012 anhand Daten der Messstelle Toppel / Havel (Fluss-km 149,2; Sachsen-Anhalt)
?: keine Vergleichswerte aus dem Jahr 2012 vorhanden; Maximalwert NW 2019 > Maximalwert NW 2018

4.1 Basiskenngrößen: Stichproben / kontinuierliche Sondenmessungen

In Tabelle 6 sind die Maximalwerte der Basiskenngrößen Wassertemperatur, pH-Wert und elektrische Leitfähigkeit sowie die Sauerstoffminima nach den Feldmessungen beim MPE zusammengestellt. Zur Einordnung und Interpretation dieser Stichproben-Messergebnisse sind in Tabelle 7 die Extremwerte nach Tagesmittelwerten und in Tabelle 8 die absoluten täglichen Extremwerte (Tagesmaxima bzw. -minima) der betreffenden vier Basiskenngrößen aus der kontinuierlichen automatischen Gewässerüberwachung der Binnenelbe aufgeführt. Die Stichproben-Messergebnisse (Tabelle 6) lagen alle innerhalb der von den Extremwerten in Tabelle 8 markierten Grenzen.

Tabelle 6: Maximum (Max.) von Wassertemperatur, pH-Wert und elektr. Leitfähigkeit sowie Minimum (Min.) des Sauerstoffgehalts nach Feldmessungen beim Niedrigwasser 2019 an Messstellen des MPE

Gewässer	**Elbe**					**Mulde**	**Saale**	**Havel**
Kenngröße / Messstelle	SM	WB	MD	CU	SN	DE	RO	HV
Max. Wassertemperatur [°C]	22,1	21,9	22,2	21,7	22,5	22,3	23,5	23,0
Max. pH-Wert	7,6	7,9	8,2	8,9	8,9	10,1	8,1	8,1
Max. elektr. Leitfähigkeit [µS/cm]	475	517	2.400	1.384	1.440	784	5.110	1.029
Min. Sauerstoffgehalt [mg/l]	6,5	7,2	7,2	9,1	9,5	8,0	7,6	6,8

Schon Ende Juni bis Anfang Juli 2019, also noch vor Beginn der hier betrachteten Niedrigwasserperiode, traten in der Elbe sehr hohe **Wassertemperaturen** auf. In dieser Phase wurden in der Elbe bei Schmilka und Wittenberg die höchsten Tagesmitteltemperaturen des Jahres ermittelt (26,0 °C bzw. 26,2 °C) (Tabelle 7). Während der Niedrigwasserperiode traten die höchsten Wassertemperaturen der Elbe im letzten Monatsdrittel des Juli bei sehr geringer Wasserführung auf (Tabelle 7 und Tabelle 8, Abbildung 4). An den Messstationen Wittenberg, Cumlosen und Schnackenburg stieg die Wassertemperatur in dieser Zeit bis über 26 °C im Tagesmittel und an einzelnen Tagen momentan auf über 27 °C (Tabelle 7 und Tabelle 8, Abbildung 4). Eine weitere Phase hoher – wenn auch nicht mehr maximaler – Wassertemperaturen erstreckte sich von Ende August bis Anfang September 2019 (Abbildung 4). Die außerordentlich hohen Wassertemperaturspitzen beim Niedrigwasser 2018 wurden im Jahr 2019 nicht ganz erreicht (Tabelle 7 und Tabelle 8), auch an der unteren Mulde (Tabelle 7 und Tabelle 8), Saale und Havel (Tabelle 6) wurden niedrigere Wassertemperaturmaxima gemessen als 2018 (vgl. FGG Elbe 2020).

In die Niedrigwasserperiode 2019 fielen die jeweils niedrigsten **Sauerstoffgehalte** des Jahres, die im Tagesmittel in der Elbe bei Schmilka nicht unter 6,0 mg/l und an den übrigen Elbe-Messstellen nicht unter 7,0 mg/l lagen (Tabelle 7). Mit Ausnahme der Messstation Schnackenburg waren die Minima des Sauerstoffgehalt höher als beim Niedrigwasser 2018. Im Tagesverlauf sank der Sauerstoffgehalt nur in der Elbe bei Schmilka und Schnackenburg unter 5,0 mg/l (Tabelle 8), und hier lediglich an jeweils einem Tag. Die niedrigsten gemessenen Konzentrationen von 4,8 mg/l am 30.7. (Schmilka) bzw. 4,6 mg/l am 31.7. (Schnackenburg) lagen über dem für Fische kritischen Niveau. Das Sauerstoff-Tagesminimum von 4,6 mg/l bei Schnackenburg wurde dort zuletzt nach dem Hochwasser 2013 unterschritten (FGG Elbe 2021).

Wie Abbildung 4 veranschaulicht, traten im Niedrigwasserzeitraum die höchsten Sauerstoffkonzentrationen wie auch die höchsten Wassertemperaturen der Elbe bei Schmilka und Schnackenburg in der zweiten Julihälfte auf. Die Tagesschwankungen des Sauerstoffgehalts waren bei Schnackenburg bis Mitte September wie auch beim Niedrigwasser 2018 deutlich größer als bei Schmilka. Bei Schmilka zeigte sich eine leicht gegenläufige Tendenz zwischen Sauerstoffgehalt und Wasserführung. In der Elbe bei Schnackenburg ging dagegen die Phase niedrigster Sauerstoffgehalte Ende Juli auch mit einer sehr geringen Wasserführung einher.

Tabelle 7: Höchster Tagesmittelwert von Wassertemperatur, pH-Wert und elektrischer Leitfähigkeit sowie niedrigster Tagesmittelwert des Sauerstoffgehalts der Elbe beim Niedrigwasser (NW) 2019 und 2018 sowie im Gesamtjahr 2019 und 2012 nach kontinuierlicher Messung; NW-Messwerte 2019 im ***Fettdruck****, wenn sie den größten bzw. beim Sauerstoffgehalt den niedrigsten Messwert darstellen*

Gewässer			**Elbe**				**Mulde**
Kenngröße / Messstation			SM	WB	CU	SN	DE
Wassertemperatur höchster Tagesmittelwert	NW 2019	Datum	29.7.	25.-26.7.	(25.7.)	25.7.	(31.8.)
		[°C]	25,2	26,1	(26,2)	26,2	(25,3)
	Jahr 2019	Datum	1.7.	26.6.	(25.7.)	25.7.	(31.8.)
		[°C]	26,0	26,2	(26,2)	26,2	(25,3)
	NW 2018	Datum	(2.8.)	31.7.	4.8.	4.8.	(9.8.)
		[°C]	(26,7)	27,2	26,9	26,9	(26,6)
	Jahr 2012	Datum	11.7.	keine	28.7.	28.7.	(21.8.)
		[°C]	23,3	Messwerte	24,4	24,4	(23,0)
Sauerstoffgehalt niedrigster Tagesmittelwert	NW 2019	Datum	30.7.	29.8./31.8	(29.-30.9.)	(30.7.)	(9.9./13.9.)
		[mg/l]	6,0	7,7	(9,0)	(**7,0**)	(7,7)
	Jahr 2019	Datum	22.6./30.7.	29.8./31.8.	(29.-30.9.)	(30.7.)	(9.9./13.9.)
		[mg/l]	6,0	7,7	(9,0)	(7,0)	(7,7)
	NW 2018	Datum	(10.8.)	5.8.	9.8.	21.9./18.10.	(13.-14.9.)
		[mg/l	(5,4)	7,2	7,7	8,8	(7,0)
	Jahr 2012	Datum	8.7.	keine	14.7.	14.7.	(30.7.)
		[mg/l]	6,6	Messwerte	8,2	9,0	(5,7)
pH-Wert höchster Tagesmittelwert	NW 2019	Datum	20.7.	23.-25.7.	(30.7./16.8.)	1.8./6.9.*	(12.8.)
			8,1	**9,5**	(8,8)	8,8	**(10,0)**
	Jahr 2019	Datum	23.4./19.5.*	14.5./25.7.*	(31.5.-1.6.)	22.4./8.5.*	(12.8.)
			9,2	9,5	(9,3)	9,2	(10,0)
	NW 2018	Datum	(26.7.)	19.11./30.11.*	15.8./30.8.*	26.8./2.9.*	(10.8.)
			(7,8)	8,2	8,8	8,7	(9,3)
	Jahr 2012	Datum	21.-22.5.	keine	17.4./21.5.*	13.-14.5.	(20.-21.8.)
			9,3	Messwerte	8,9	9,1	(9,1)
Elektr. Leitfähigkeit höchster Tagesmittelwert	NW 2019	Datum	24.9.	27.9.	(21.9.)	14.9.	(10.9.)
		[µS/cm]	486	550	(1.430)	1.520	(848)
	Jahr 2019	Datum	19.11.	18.12.	(21.9.)	14.9.	(10.9.)
		[µS/cm]	501	576	(1.430)	1.520	(848)
	NW 2018	Datum	(10.12.)	5.12.	28.9.	28.9.	(25.9.)
		[µS/cm]	(528)	617	1.666	1.747	(1.123)
	Jahr 2012	Datum	16.12.	keine	2.6.	5.6.	(29.11.)
		[µS/cm]	526	Messwerte	1.380	1.340	(801)

(…) Schmilka/Elbe: große Datenlücke: 9. - 31.10.2018
Cumlosen/Elbe: große Datenlücken: 20.8. - 17.9.2019; 1.10. - 31.12.2019
Schnackenburg/Elbe (nur Sauerstoffgehalt): große Datenlücke: 27.8. - 4.9.2019
Dessau/Mulde: große Datenlücken: 12.9. - 19.9.2012; 22.9. - 12.10.2012/19.7. - 7.8.2018/19.4. - 6.8.2019

* Maximalwert tritt häufiger auf (angegeben ist das erste und letzte Messdatum)

*Tabelle 8: Maximum von Wassertemperatur, pH-Wert und elektrischer Leitfähigkeit sowie Minimum des Sauerstoffgehalts der Elbe beim Niedrigwasser (NW) 2019 und 2018 sowie im Gesamtjahr 2019 und 2012 nach kontinuierlicher Messung; NW-Messwerte 2019 im **Fettdruck**, wenn sie den größten bzw. beim Sauerstoffgehalt den niedrigsten Messwert darstellen*

Gewässer			**Elbe**				**Mulde**
Kenngröße / Messstation			SM	WB	CU	SN	DE
Wassertemperatur Maximum	NW 2019	Datum [°C]	29.7. 25,9	25.7. 27,4	25.7. 27,2	25.7. 27,4	(31.8.) (26,0)
	Jahr 2019	Datum [°C]	26.6./1.7.* 26,5	26.6./25.7. 27,4	25.7. 27,2	25.7. 27,4	(31.8.) (26,0)
	NW 2018	Datum [°C]	(1.8.) (27,4)	31.7. 28,2	3.-4.8. 27,7	26.7. 27,8	(9.8.) (27,3)
	Jahr 2012	Datum [°C]	6.7. 24,0	keine Messwerte	28.7. 24,7	28.7. 24,8	(20.8.) (23,9)
Sauerstoffgehalt Minimum	NW 2019	Datum [mg/l]	30.7. 4,8	1.8. 6,8	30.7. 6,5	(31.7.) **(4,6)**	(29.8.) (6,1)
	Jahr 2019	Datum [mg/l]	30.7. 4,8	1.8. 6,8	30.7. 6,5	(31.7.) (4,6)	(29.8.) (6,1)
	NW 2018	Datum [mg/l	(4.8.) (4,5)	29.7. 5,9	9.8. 5,6	29.7. 7,1	(17.7.) (5,9)
	Jahr 2012	Datum [mg/l]	9.7. 6,0	keine Messwerte	15.7. 7,5	15.7. 8,2	(30.7.) (4,9)
pH-Wert Maximum	NW 2019	Datum	20.7. 8,5	23.7. **9,7**	30.7. 9,1	25.7. 9,2	(12.8./26.8.) (**10,3**)
	Jahr 2019	Datum	10.5./19.5.* 9,4	23.7. 9,7	1.6. 9,5	22.4./7.5.* 9,3	(12.8./26.8.) (10,3)
	NW 2018	Datum	(20.7./19.9.*) (7,9)	3.8./6.8. 8,5	25.7./29.8.* 9,0	18.7./29.8.* 8,9	(10.8.) (9,5)
	Jahr 2012	Datum	21./22.5. 9,5	keine Messwerte	14.5./20.5.* 9,1	13.5. 9,2	(20./21.8.) (9,4)
Elektr. Leitfähigkeit Maximum	NW 2019	Datum [µS/cm]	23.9. 496	27.9. 554	(5.8./12.8.) (1.460)	13.-14.9. 1.560	(10.9.) (1.040)
	Jahr 2019	Datum [µS/cm]	19.11. 528	18.12. 580	(5.8./12.8.) (1.460)	13.-14.9. 1.560	(10.9.) (1.040)
	NW 2018	Datum [µS/cm]	(10.12.) (539)	5.12. 622	28.9. 1.695	28.9. 1.766	(25.9.) (1.332)
	Jahr 2012	Datum [µS/cm]	16.12. 532	keine Messwerte	2.6. 1.470	5.6. 1.350	(30.11.) (865)

(…) Schmilka/Elbe: große Datenlücke: 9. - 31.10.2018
Cumlosen/Elbe: große Datenlücken: 20.8. - 17.9.2019; 1.10. - 31.12.2019
Schnackenburg/Elbe (nur Sauerstoffgehalt): große Datenlücke: 27.8. - 4.9.2019
Dessau/Mulde: große Datenlücken: 12.9. - 19.9.2012; 22.9. - 12.10.2012/19.7. - 7.8.2018/19.4. - 6.8.2019
* Maximalwert tritt häufiger auf (angegeben ist das erste und letzte Messdatum)

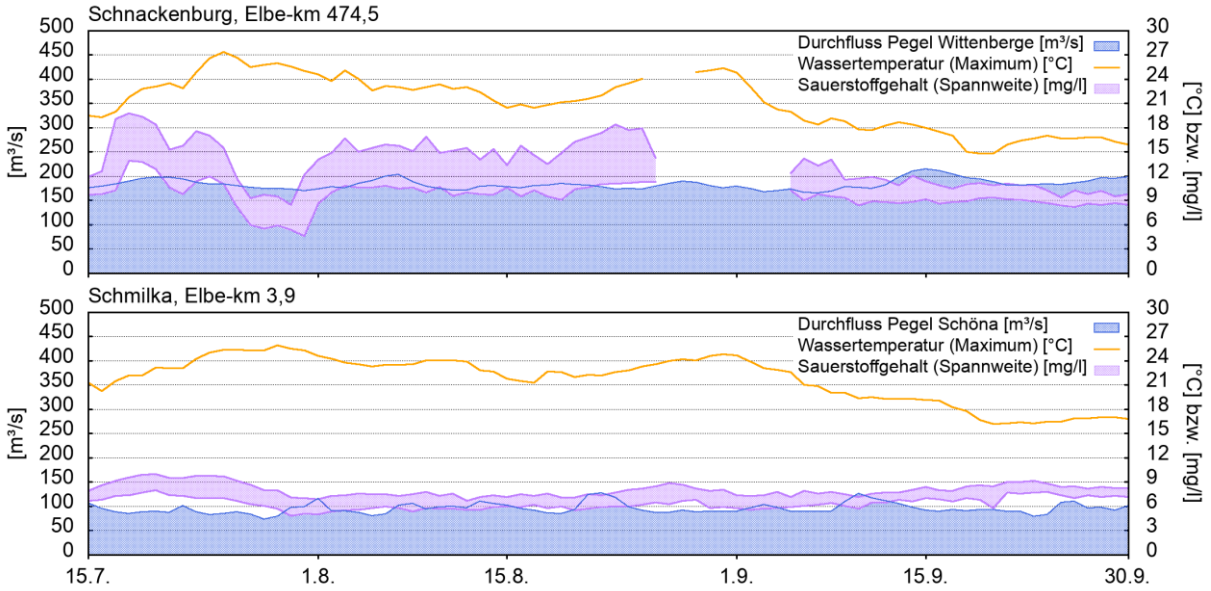

Abbildung 4: Sauerstoffgehalt (tägliche Spannweite) und Wassertemperatur (Tagesmaximum) der Elbe während des Niedrigwassers 2019 an den Messstationen Schmilka und Schnackenburg (Messstörung Sauerstoffgehalt: 27.8. - 4.9.2019, Wassertemperatur: 26.8. - 28.8.2019) im Vergleich zum Durchfluss (Tagesmittelwerte)

Tagesmittelwerte des **pH-Werts** über pH 9 traten im Jahr 2019 an allen Messstationen der Elbe auf, aber nur bei Wittenberg auch während der Niedrigwasserperiode, ansonsten im Zeitraum Ende April bis Anfang Juni (Tabelle 7). In der Elbe bei Wittenberg wurden im letzten Drittel des Juli drei aufeinanderfolgende Tagesmittelwerte von pH 9,5 und am 23. Juli ein Tagesmaximum von pH 9,7 registriert (Tabelle 7 und Tabelle 8). Diese Werte übertreffen die Maximalwerte bei Wittenberg während des Niedrigwassers 2018 deutlich. An den übrigen Elbe-Messstellen lagen die pH-Wert-Spitzen (höchste Tagesmittelwerte und Tagesmaxima) beim Niedrigwasser 2019 etwas höher oder auf gleichem Niveau wie beim Niedrigwasser 2018. Bei Cumlosen und Schnackenburg wurden während des Niedrigwassers 2019 im Tageslauf Werte bis pH 9,1 bzw. pH 9,2 gemessen (Tabelle 8).

In der Mulde bei Dessau waren im August 2019 außerordentlich hohe pH-Werte zu verzeichnen (Tabelle 7 und Tabelle 8). Der höchste Tagesmittelwert der Mulde (pH 10,0 am 12.8.) und die höchsten Messwerte im Tageslauf (pH 10,3 am 12.8. und 26.8.) übertreffen alle entsprechenden Messwerte seit 1997, dem Beginn der kontinuierlichen Datenreihe gemäß FGG Elbe (2021). Auch das Maximum der Stichprobenwerte der Mulde im Rahmen des MPE lag mit pH 10,1 (5.8.) bemerkenswert hoch (Tabelle 6).

Die maximalen Messwerte der **elektrischen Leitfähigkeit** waren an allen Messstationen der Elbe niedriger als beim Niedrigwasser 2018 (Tabelle 7 und Tabelle 8), obgleich in der für die Leitfähigkeit der Elbe sehr bedeutsamen Saale an drei Messterminen des MPE im Jahr 2019 höhere elektrischen Leitfähigkeiten gemessen wurden als maximal beim Niedrigwasser 2018 (vgl. BfG 2021). Die Messstation Rosenburg/Saale war von Ende Juni bis Anfang September 2019 außer Betrieb, so dass für den Großteil der Niedrigwasserperiode keine kontinuierlichen Messwerte vorliegen. Am 20. und 21. September wurden dort jedoch mit jeweils 5.220 µS/cm als Tagesmaximum außergewöhnlich hohe elektrische Leitfähigkeiten registriert, die alle vorhergehenden Messwerte der 1995 beginnenden kontinuierlichen

Datenreihe der Saale bei Rosenburg übertreffen und auch das Maximum des Jahres 2019 darstellen (FGG Elbe 2021). Hinsichtlich des Vergleichs zum Niedrigwasser 2018 ist zu berücksichtigen, dass für die gesamte Niedrigwasserperiode 2018 keine kontinuierlichen Messwerte der Station Rosenburg/Saale vorliegen. Von der Saale beeinflusst, traten in der Elbe bei Cumlosen und Schnackenburg die höchsten Tagesmittelwerte der elektrischen Leitfähigkeit des Jahres 2019 im September auf (Tabelle 7). In der Elbe oberhalb der Saalemündung, bei Schmilka und Wittenberg, lag das Jahresmaximum der elektrischen Leitfähigkeit im November bzw. Dezember, also außerhalb des Niedrigwasserzeitraums.

Auch in der Havel bei Havelberg wurden im Rahmen des MPE bemerkenswert hohe elektrische Leitfähigkeiten gemessen, die an drei Terminen die maximale Leitfähigkeit beim Niedrigwasser 2018 übertrafen (BfG 2021). Die am 30.9.2019 bei Havelberg registrierte Leitfähigkeit von 1.029 µS/cm (Tabelle 6) wurde bei Intervallmessungen nach der im Jahr 1988 beginnenden Datenreihe für Toppel / Havelberg in FGG Elbe (2021) nur einmal überschritten, und zwar im Januar 2007.

4.2 Abfiltrierbare Stoffe, organischer Kohlenstoff, Chlorophyll a, Nährstoffe

Erhöhte Konzentrationen **abfiltrierbarer Stoffe** traten beim Niedrigwasser 2019 zeitweilig an den Elbe-Messstellen Cumlosen und Schnackenburg sowie an der Mulde bei Dessau und an der Havel bei Havelberg auf. Nur an diesen Messstellen wurden auch erhöhte Konzentrationen von **Chlorophyll a** und mit Ausnahme von Cumlosen auch erhöhte **TOC**-Konzentrationen festgestellt (Tabelle 9). Offensichtlich waren die relativ hohen Konzentrationen abfiltrierbarer Stoffe durch eine starke Algen- bzw. Phytoplankton-Entwicklung begründet. Besonders hohe Messwerte für abfiltrierbare Stoffe, TOC und Chlorophyll a wurden an der Unteren Mittelelbe und an der Mulde am 5.8.2019 gemessen. Abbildung 5 zeigt die fast parallele Entwicklung der Konzentration abfiltrierbarer Stoffe und des Chlorophyll a sowie den gleichgerichteten Trend des TOC in der Elbe. An der unteren Havel wurde die höchste Konzentration abfiltrierbarer Stoffe erst Mitte September registriert und ging hier auch mit dem maximalen Messwert für Chlorophyll a einher.

Beim Niedrigwasser 2019 war die Konzentration der abfiltrierbaren Stoffe (Ausnahme: Obere Elbe bei Schmilka) und des Chlorophyll a in der Elbe höher, beim TOC nur leicht höher als beim Niedrigwasser 2018 (Tabelle 9). Oberhalb von Mulde und Saale, bei Schmilka und Wittenberg, wurde das Konzentrationsmaximum von Chlorophyll a des Jahres 2012 beim Niedrigwasser 2019 weit unterschritten, an der Unteren Mittelelbe dagegen übertroffen.

Erhöhte Konzentrationen des **DOC** wurden nur an der Mulde und Havel gemessen. Während an der Havel nur ein erhöhter Messwert zu verzeichnen war, lagen an der Mulde bei Dessau von Anfang August bis Ende September erhöhte DOC-Konzentrationen vor. Das dortige Konzentrationsmaximum am 2.9.2019 stellt mit 8,4 mg/l DOC den höchsten Messwert der Datenreihe seit 1991 dar (FGG Elbe 2021).

Tabelle 9: Mittelwert und Spannweite der Konzentration von abfiltrierbaren Stoffen, TOC, DOC und Chlorophyll a in der Elbe beim Niedrigwasser (NW) 2019, 2018 sowie im Jahr 2012

Gewässerabschnitt Kenngröße / Messstelle		Obere Elbe Schmilka		Obere Mittelelbe Wittenberg		Untere Mittelelbe Schnackenburg	
abfiltrierbare Stoffe [mg/l]	NW 2019	<10	(<10)	14	(7,2 – 36)	34	(<5 – 60)
	NW 2018	<10	(<10 – 19)	9,0	(4,0 – 24)	16	(<5,0 – 36)
	Jahr 2012	11	(<10 – 76)	22	(7,0 – 39)	20	(<5,0 – 48)
TOC [mg/l]	NW 2019	6,7	(6,2 – 7,3)	7,2	(6,3 – 8,1)	10,7	(6,8 – 14,0)
	NW 2018	6,4	(4,9 – 7,3)	5,8	(5,0 – 6,5)	9,2	(6,6 – 13,7)
	Jahr 2012	6,6	(5,2 – 11)	7,8	(5,4 – 11)	9,1	(6,4 – 13,6)
Chlorophyll a [µg/l]	NW 2019	11	(5,4 – 24)	16	(4,0 – 36)	145	(19 – 290)
	NW 2018	6,0	(3,0 – 15)	7,0	(2,0 – 21)	55	(2,0 – 150)
	Jahr 2012	27	(3,0 – 83)	66	(2,0 – 204)	84	(<1,0 – 240)

Die während des Niedrigwassers 2019 ermittelten Stickstoff-Konzentrationen (**Ammonium-, Nitrat-, Nitrit-** und **Gesamtstickstoff**) waren an der Elbe, Mulde und Saale an allen Messstellen unauffällig. An der Havel bei Havelberg wurde lediglich am 30.9.2019 ein erhöhter Messwert des Nitrat-Stickstoffs festgestellt (1,2 mg/l NO_3-N), der das dortige Maximum des Jahres 2012 (1,0 mg/l NO_3-N) auch nur wenig übertrifft. Insgesamt ergibt sich hinsichtlich der Stickstoff-Kenngrößen das gleiche unauffällige Bild wie beim Niedrigwasser 2018.

Ebenfalls wie beim Niedrigwasser 2018 wiesen die Konzentrationen des **Gesamt-Phosphat-Phosphors** in der Elbe – mit einer Ausnahme bei Schnackenburg (5.8.2019: 0,18 mg/l $P_{ges.}$) – sowie in der Mulde und Saale keine erhöhten Messwerte auf. In der Havel bei Havelberg wurden dagegen während beider Niedrigwasserereignisse durchgängig erhöhte Konzentrationen des Gesamt-Phosphat-Phosphors gemessen. Mit maximal 0,23 mg/l $P_{ges.}$ traten dort aber nicht ganz so hohe Konzentrationsspitzen auf wie 2018.

Die Konzentration des **ortho-Phosphat-Phosphors** war zeitweise an der Havel sowie in der Elbe an jeweils einem Messtermin bei Wittenberg (17.9.2019: 0,13 mg/l ortho-PO_4-P) und Cumlosen (30.9.2019: 0,08 mg/l ortho-PO_4-P) erhöht. Von Mitte Juli bis Anfang September 2019 lag die Konzentration des ortho-Phosphat-Phosphors in der Unteren Mittelelbe bei Cumlosen und Schnackenburg dagegen unter der Bestimmungsgrenze. In dieser Phase ist gemäß der hohen Konzentrationen des Chlorophyll a von einer starken Inkorporation von Phosphor durch Phytoplankton auszugehen.

Abbildung 5 veranschaulicht den inversen Verlauf der Konzentration des ortho-Phosphat-Phosphors zur Konzentration des Chlorophyll a, der abfitrierbaren Stoffe und – schwächer ausgeprägt – zur Konzentration des TOC. Die dargestellten Entwicklungen waren auch beim Niedrigwasser 2018 zu beobachten.

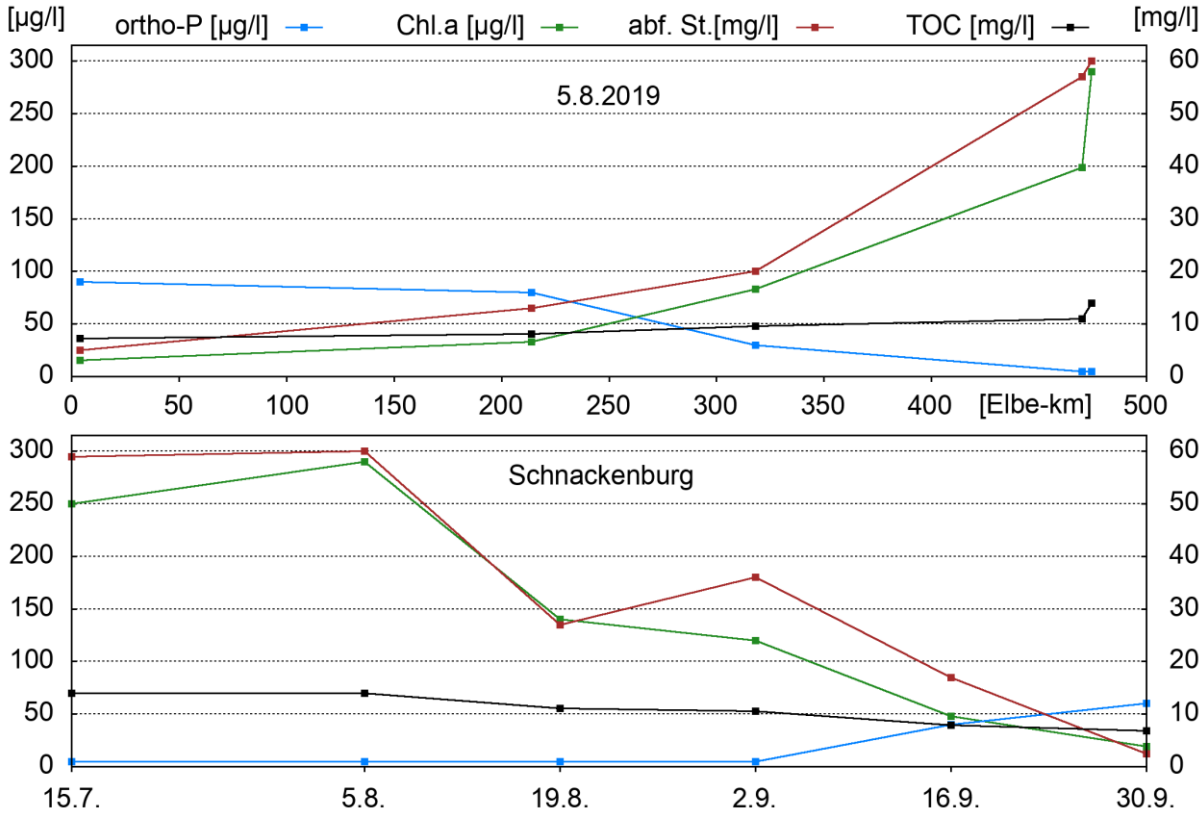

Abbildung 5: Konzentration von ortho-Phosphat-Phosphor (ortho-P), Chlorophyll a (Chl.a), abfiltrierbaren Stoffen (abf. St.) und TOC in der Elbe; oben: im Längsverlauf zwischen Schmilka und Schnackenburg am 5.8.2019; unten bei Schnackenburg vom 15.7. - 30.9.2019

4.3 Chlorid und Sulfat

Wie aus Tabelle 5 hervorgeht, war die **Chlorid**konzentration die einzige Kenngröße, die aufgrund der Einzelproben-Untersuchung im Rahmen des MPE an allen Messstellen erhöhte Werte aufwies. Die Spannweiten der Chloridkonzentration und ihre Mittelwerte sind in Abbildung 6 dargestellt. Es fällt sofort ins Auge, dass das Wasser der Saale, das die Salzkonzentration der Elbe maßgeblich beeinflusst, noch stärker mit Chlorid angereichert war als beim Niedrigwasser 2018. Die höchste Konzentration der Saale bei Rosenburg betrug 1.400 mg/l Cl^- (5.8.2019) und wurde dort zuletzt im Jahr 1991 überschritten. Die hohe Chloridkonzentration der Saale dürfte den wesentlichen Grund dafür darstellen, dass in der Elbe bei Magdeburg (links) noch etwas höhere Chloridkonzentrationen als 2018 gemessen wurden. Die dortige Konzentrationsspitze von 580 mg/l Cl^- am 5.8.2019 übertraf ebenfalls alle vorhergehenden Messwerte aus Einzelproben seit 1991 (FGG Elbe 2021). An der Unteren Mittelelbe bei Cumlosen und Schnackenburg entsprach das Chlorid-Konzentrationsniveau beim Niedrigwasser 2019 den Verhältnissen des Niedrigwassers 2018. Bei Cumlosen wurde mit 303 mg/l Cl^- am 5.8.2019 das dortige Konzentrationsmaximum beim Niedrigwasser 2018 noch geringfügig überschritten und damit ein neuer Spitzenwert seit Beginn der Einzelproben-Datenreihe im Jahr 1993 erreicht (FGG Elbe 2021).

Auch in der Elbe oberhalb der Saale war die Chloridkonzentration gegenüber dem Maximum des Referenzjahres 2012 zeitweise (Schmilka) bzw. dauerhaft (Wittenberg) erhöht. Erwähnenswert erscheint der Messwert der Elbe bei Wittenberg am 15.7.2019, der mit 99 mg/l Cl^- höher lag als alle Messwerte der dort im Jahr 1989 beginnenden Einzelproben-Datenreihe (FGG Elbe 2021).

An der Havel bei Havelberg traten ebenfalls noch höhere Chloridkonzentrationen auf als beim Niedrigwasser 2018. Wird die 1989 beginnende Einzelproben-Messwertreihe der Messstelle „Toppel / Havelberg“ nach FGG Elbe (2021) zugrunde gelegt, so wurden am 2.9., 16.9. und 30.9.2019 mit 160 bis 171 mg/l Cl^- alle Messwerte dieser Reihe übertroffen.

Die analysierten Chloridkonzentrationen der Einzelproben nach dem MPE stimmten für die Elbe bei Schmilka und Wittenberg sehr gut mit den Konzentrationen der Wochenmischproben aus dem Monitoring der Länder überein (Abbildung 7). Auffällig war die hohe Chloridkonzentration der Wochenmischprobe aus Wittenberg vom 22. - 28.7.2019, die mit 130 mg/l Cl^- nicht nur alle bisherigen Wochenmischprobenergebnisse an dieser Stelle (Datenreihe seit 2013 nach FGG Elbe 2021) sondern auch alle Messwerte der bereits erwähnten dortigen Einzelproben-Datenreihe deutlich übertraf. Bezüglich der Elbe bei Schnackenburg waren die Chloridkonzentrationen in den Wochenmischproben stets (leicht) höher als in den Proben des MPE und erreichten mit bis zu 326 mg/l Chlorid (5. - 11.8.2019) den höchsten Wert einer Wochenmischprobe seit 1990 (FGG Elbe 2021).

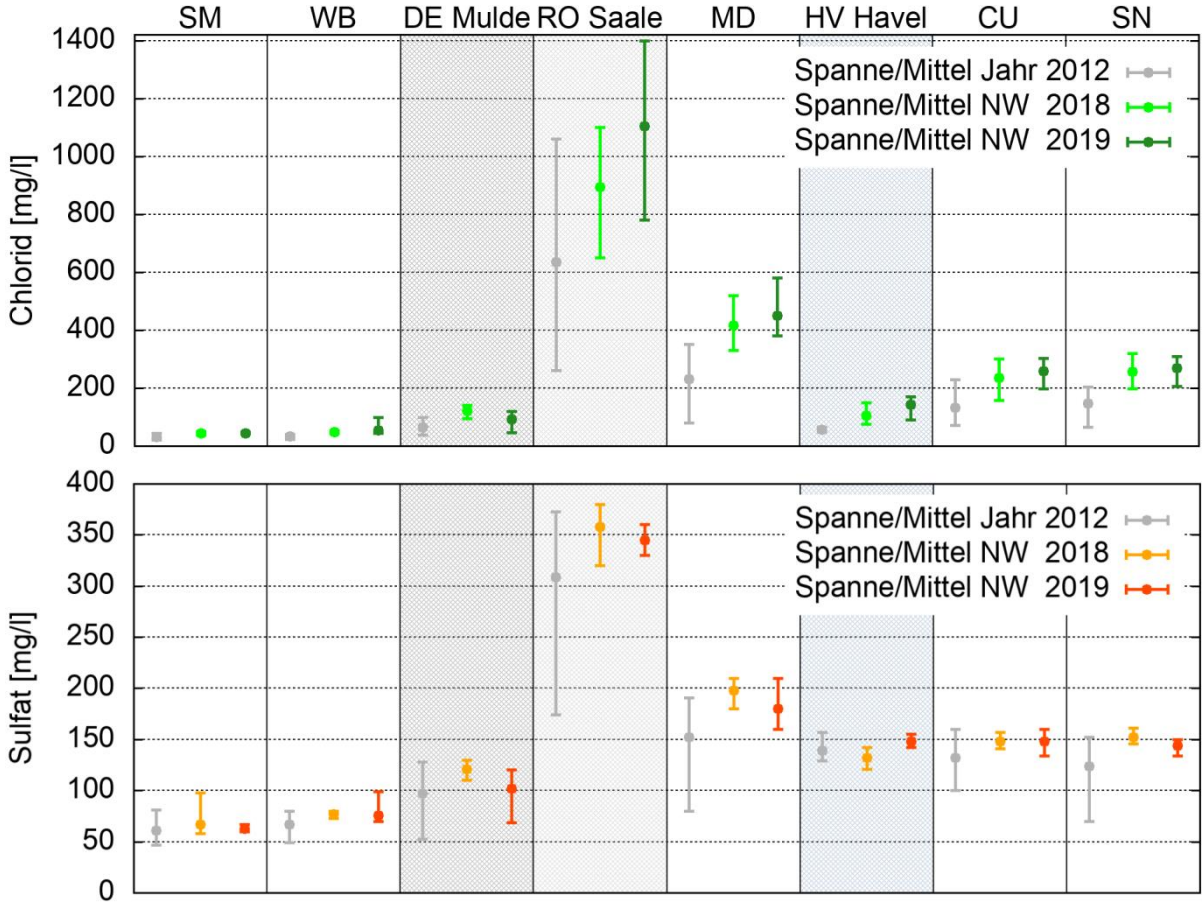

Abbildung 6: Spannweite und Mittelwert der Konzentration von Chlorid (oben) und Sulfat (unten) in Elbe, Mulde, Saale und Havel beim Niedrigwasser (NW) 2019, 2018 und im Jahr 2012

Die **Sulfat**konzentrationen waren beim Niedrigwasser 2019 zwar an allen Messstellen des MPE im Mittel höher als im Durchschnitt des Jahres 2012, die maximale Konzentration in diesem Vergleichsjahr wurde aber nur in der Elbe bei Wittenberg und Magdeburg übertroffen (Abbildung 6). Verglichen mit dem Niedrigwasser 2018 lagen die Sulfatkonzentrationen in der Elbe beim Niedrigwasser 2019 auf ähnlichem Niveau. Die Sulfatkonzentrationen in den Einzelproben der Elbe bei Schmilka, Wittenberg und Schnackenburg stimmten in der Regel gut mit den Konzentrationen in den Wochenmischproben überein (Abbildung 7).

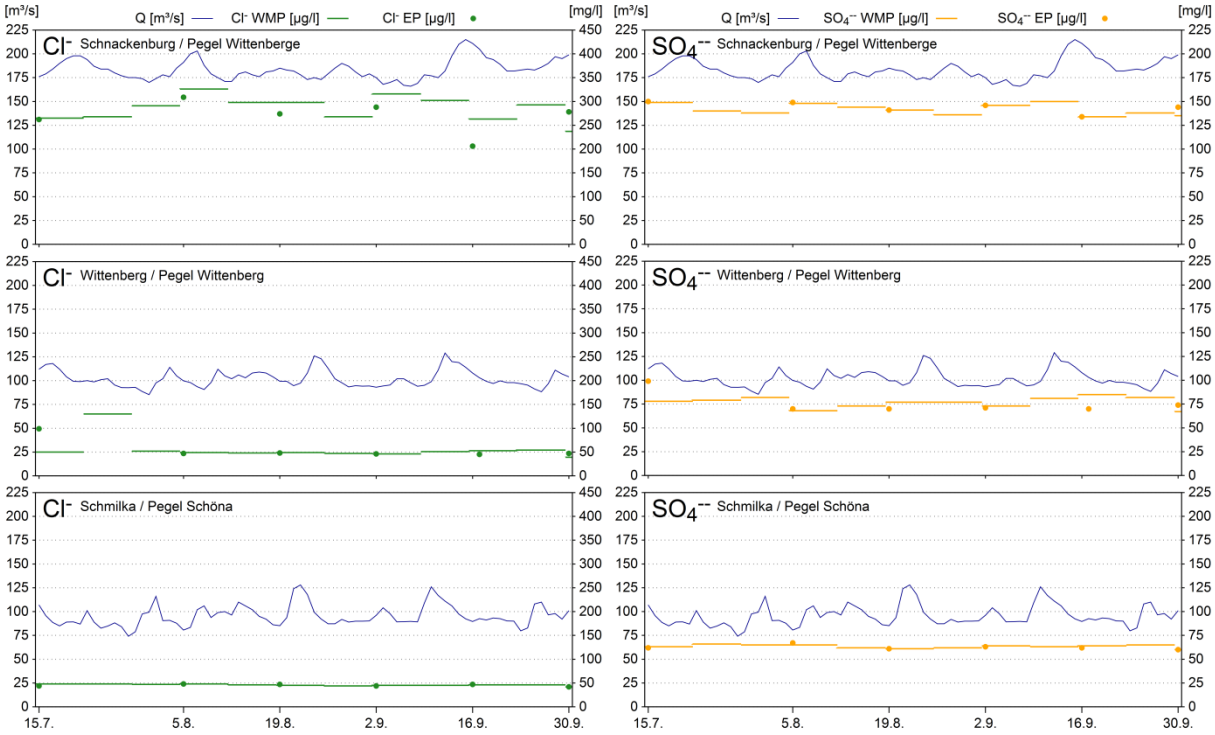

Abbildung 7: Konzentration von Chlorid (links) und Sulfat (rechts) in Wochenmischproben (WMP) und Einzelproben (EP) nach dem MPE beim Niedrigwasser 2019 an den Elbe-Messstellen Schmilka, Wittenberg und Schnackenburg sowie Durchfluss (Q, Tagesmittelwerte) an den Bezugspegeln

4.4 Metalle

Aufgrund der großen Bedeutung der Saale für die Konzentration der Alkali- (Natrium, Kalium) und Erdalkalimetalle (Calcium, Magnesium) in der Elbe sind in Abbildung 8 und Abbildung 9 die Konzentrationen dieser Metalle in der unteren Saale bei Rosenburg wiedergegeben. Ferner sind das Massenverhältnis der Natrium- und Kalium- sowie das der Calcium- und Magnesiumionen dargestellt. Es wird deutlich, dass in der Saale beim Niedrigwasser 2019 im Vergleich zum Niedrigwasser 2018 und zum Referenzjahr 2012 die höchsten Natrium-, Kalium- und Calciumkonzentrationen auftraten. Die Spannweite des Verhältnisses der Natrium- und Kaliumionen in der Saale im Referenzjahr 2012 wurde während des Niedrigwassers 2019 nur an zwei Messterminen leicht nach oben überschritten, beim Niedrigwasser 2018 blieb das Verhältnis in allen Fällen im Streubereich von 2012 (Abbildung 8). Dagegen zeigte sich in der Saale eine tendenzielle Aufweitung des Calcium- / Magnesium-Verhältnisses mit abnehmendem Durchfluss, wobei der Anteil des Calciums beim Niedrigwasser 2019 an einigen Messterminen auffällig groß war (Abbildung 9).

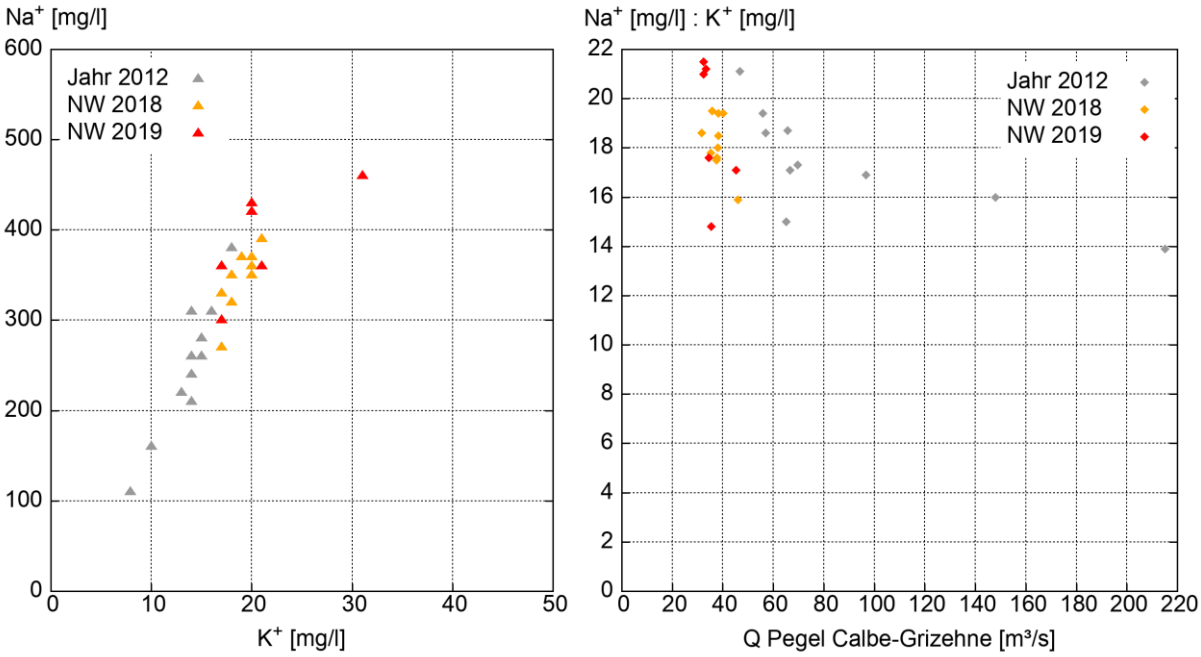

Abbildung 8: Links: Konzentration von Natrium und Kalium in der Saale bei Rosenburg beim Niedrigwasser (NW) 2019, 2018 und im Jahr 2012; rechts: Massenverhältnis von Natrium und Kalium an derselben Messstelle im Vergleich zum Durchfluss (Q, Tagesmittelwerte) beim NW 2019, 2018 und im Jahr 2012

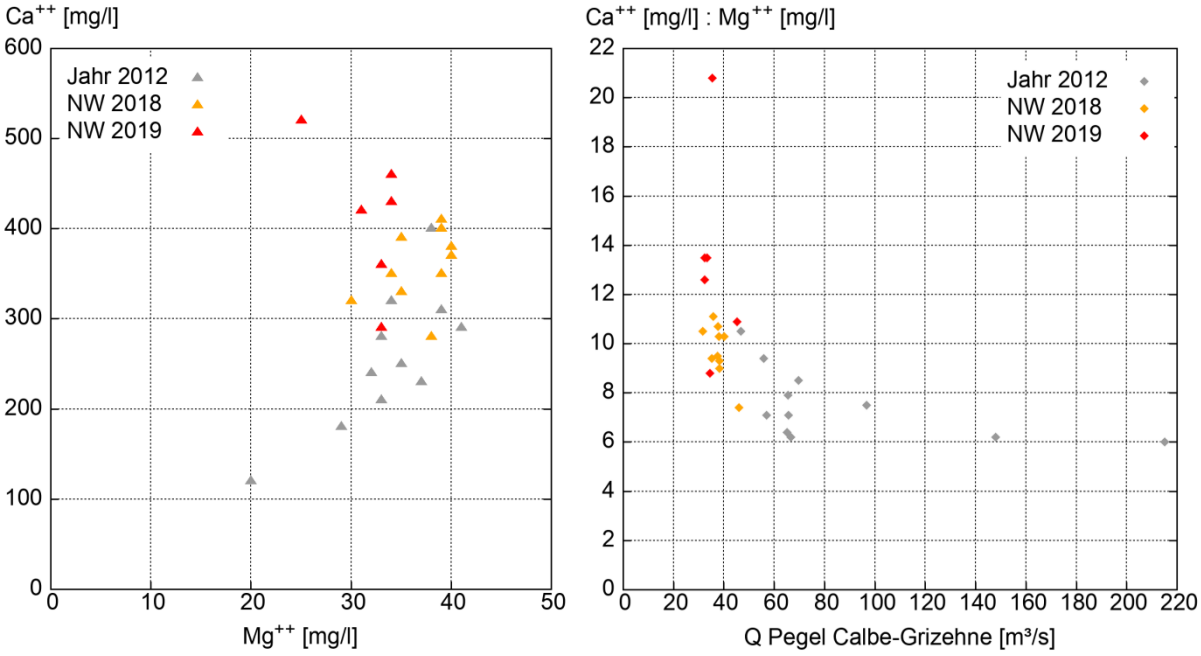

Abbildung 9: Links: Konzentration von Calcium und Magnesium in der Saale bei Rosenburg beim Niedrigwasser (NW) 2019, 2018 und im Jahr 2012; rechts: Massenverhältnis von Calcium und Magnesium an derselben Messstelle im Vergleich zum Durchfluss (Q, Tagesmittelwerte) beim NW 2019, 2018 und im Jahr 2012

Die in Tabelle 10 dargestellten Ionenverhältnisse zeigen, dass beim Niedrigwasser 2019 in der Elbe unterhalb der Saalemündung bei Schnackenburg im Vergleich zur Elbe bei Wittenberg (oberhalb der Saalemündung) sowohl ein erweitertes Natrium / Kalium- als auch ein erweitertes Calcium / Magnesium-Massenverhältnis vorlagen. Ein entsprechender

Einfluss der Saale liegt nahe und zeigte sich grundsätzlich auch im Referenzjahr 2012 sowie beim Niedrigwasser 2018. Die Aufweitung des Natrium / Kalium- wie auch des Calcium / Magnesium-Massenverhältnisses in der Elbe war jedoch unterhalb der Saalemündung beim Niedrigwasser 2019 am stärksten.

Tabelle 10: Durchschnittliches Massenverhältnis von Natrium und Kalium sowie von Calcium und Magnesium in der Elbe und der Saale beim Niedrigwasser (NW) 2019, 2018 sowie im Jahr 2012

Na^+ / K^+		2012	NW 2018	NW 2019
Elbe	WB	4,4	4,9	5,7
Saale	RO	17,8	18,2	18,9
Elbe	SN	7,9	8,8	9,0
Ca^{++} / Mg^{++}				
Elbe	WB	5,0	4,8	5,0
Saale	RO	7,5	9,8	13,4
Elbe	SN	6,3	6,9	7,6

Bezüglich der Natrium-, Kalium- und Calciumkonzentrationen traten beim Niedrigwasser 2019 in der Elbe, Mulde, Saale und Havel – im Vergleich zu den langjährigen Einzelproben-Messreihen (Intervallmessungen) an der betreffenden Messstelle nach FGG Elbe (2021) – folgende bemerkenswerte Konzentrationsspitzen auf:

a) Natrium: Elbe bei Wittenberg 69 mg/l Na^+ (15.7.2019): höchste Konzentration der Messreihe (seit 1989); Havel bei Havelberg 83 mg/l Na^+ (30.9.2019): höchste Konzentration der Messreihe „Toppel / Havelberg“ seit 1989; Elbe bei Schnackenburg 140 mg/l Na^+ (5.8.2019): höchste Konzentration seit 1998;
b) Kalium: Elbe bei Schmilka 8,1 mg/l K^+ (2.9.2019): höchste Konzentration seit 1995; Saale bei Rosenburg 31 mg/l K^+ (5.8.2019): höchste Konzentration seit 1994; Elbe bei Magdeburg (links) 18 mg/l K^+ (5.8.2019): höchste Konzentration seit 1993; Elbe bei Schnackenburg 15 mg/l K^+ (2.9.2019): höchste Konzentration der Messreihe seit 1993;
c) Calcium: Saale bei Rosenburg 520 mg/l Ca^{++} (5.8.2019): höchste Konzentration der Messreihe (seit 1986); Elbe bei Schnackenburg 140 mg/l Ca^{++} (5.8.2019): gleichzeitig Konzentrationsspitze beim Niedrigwasser 2018, vorher zuletzt im Jahr 1994 überschritten.

4.5 Schwermetalle / Arsen

Wie aus Tabelle 5 zu entnehmen ist, traten unter den Schwermetallen (zuzüglich Arsen) während des Niedrigwassers 2019 insbesondere bei Nickel und Arsen erhöhte Konzentrationen auf. Bei den weiteren im Rahmen des MPE untersuchten Schwermetallen wurden an mindestens einer und höchstens an zwei Messstellen der Elbe auffällige Konzentrationen gemessen (Tabelle 11). Die Analyse der Gesamt- und der filtrierten Probe der Elbe bei Schmilka vom 19.8.2019 ergab außerordentlich hohe Kupfer- und Zinkkonzentrationen, die statistisch eindeutig als „Ausreißer“ definiert werden können (Abbildung 10). Dies gilt auch für die dortigen Messwerte der Blei-, Cadmium- und Arsenkonzentration in der Gesamtprobe vom 16.9.2019. Die „Ausreißer“ bei Kupfer am 19.8.2019 (110 mg/l in der Gesamt- und filtrierten Probe) sowie von Arsen am 16.9.2019 (17 mg/l in der Gesamtprobe) stellen die mit großem Abstand höchsten Konzentrationen der ab 1995 zugrunde gelegten Messwertreihen dar. In der Gesamtprobe vom 16.9.2019 wurden in der Elbe bei Schmilka zusätzlich zu den genannten und in Abbildung 10 dargestellten „Ausreißern“ nochmals – wenn auch auf deutlich niedrigerem Niveau – eine erhöhte Kupfer- und Zinkkonzentration sowie eine erhöhte Urankonzentration festgestellt (Tabelle 11).

Unterhalb von Schmilka traten – jeweils nur im Monat August – in der Elbe bei Magdeburg leicht erhöhte Chromkonzentrationen, bei Schnackenburg eine einmalig erhöhte Kupferkonzentration sowie bei Wittenberg und Cumlosen einmalig (leicht) erhöhte Quecksilberkonzentrationen auf (Tabelle 11). Mit einer Ausnahme (Cadmium, filtrierte Probe bei Schmilka) übertrafen alle in Tabelle 11 dargestellten Konzentrationsmaxima beim Niedrigwasser 2019 auch das Maximum des Niedrigwassers 2018.

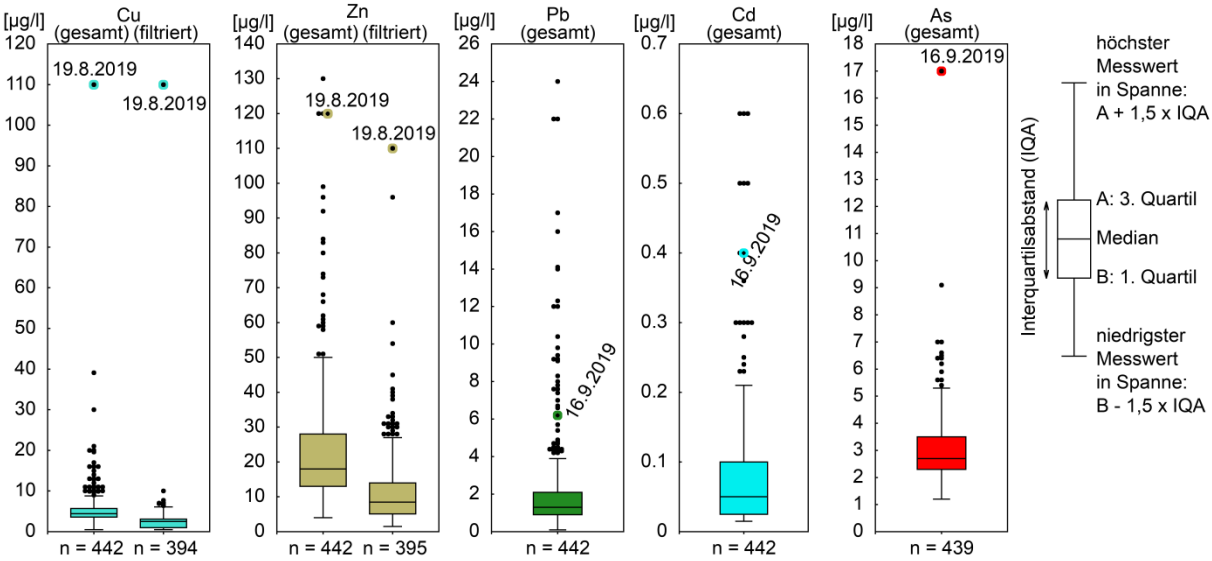

Abbildung 10: Boxplots der Kupfer-, Zink-, Blei-, Cadmium- und Arsenkonzentration in der Elbe bei Schmilka im Zeitraum 1995 bis 2019; markiert sind die hohen Konzentrationen („Ausreißer“) am 19.8.2019 (Cu, Zn) bzw. 16.9.2019 (Pb, Cd, As) (Datenquelle: LFULG 2021)

Tabelle 11: Erhöhte Konzentrationen [µg/l] diverser Schwermetalle in der Elbe beim Niedrigwasser (NW) 2019 nach dem MPE (Max. = maximale Konzentration)

Kenngröße		Messstelle	Datum	NW 2019	Max. 2012	Max. NW 2018
Blei	(gesamt)	Schmilka	16.09.2019	6,2*	3,6	0,9
Cadmium	(gesamt)	Schmilka	16.09.2019	0,40*	0,10	0,08
	(filtriert)	Schmilka	19.08.2019	0,06	<0,03	0,06
Chrom	(gesamt)	Magdeburg	19.08.2019	1,3	1,2	1,2
	(filtriert)	Magdeburg	05.08.2019	1,1	<1,0	1,0
			19.08.2019	1,1		
Kupfer	(gesamt)	Schmilka	19.08.2019	110*	5,7	4,3
			16.09.2019	7,8		
		Schnackenburg	05.08.2019	6,9	5,5	4,2
	(filtriert)	Schmilka	19.08.2019	110*	3,5	4,2
			16.09.2019	5,9		
Queck-silber	(gesamt)	Wittenberg	05.08.2019	0,022	0,020	0,017
		Cumlosen	05.08.2019	0,062	0,046	0,060
Uran	(gesamt)	Schmilka	16.09.2019	1,6	1,3	1,5
Zink	(gesamt)	Schmilka	19.08.2019	120*	26	20
			16.09.2019	44		
	(filtriert)	Schmilka	15.07.2019	19	13	17
			19.08.2019	110*		
* „Ausreißer“ (siehe Text und Abbildung 10)						

Spannweite und Mittelwert der Nickelkonzentrationen beim Niedrigwasser 2019 sind in Abbildung 11 dargestellt. In der Elbe bei Wittenberg, Magdeburg und Schnackenburg wurden in den Gesamtproben gegenüber dem Referenzjahr 2012 erhöhte Konzentrationen gemessen, die unterhalb des Zuflusses von Mulde und Saale auch noch geringfügig höher waren als beim Niedrigwasser 2018. In der Mulde wurden relativ niedrige, in der Saale und Havel dagegen relativ hohe Nickelkonzentrationen analysiert.

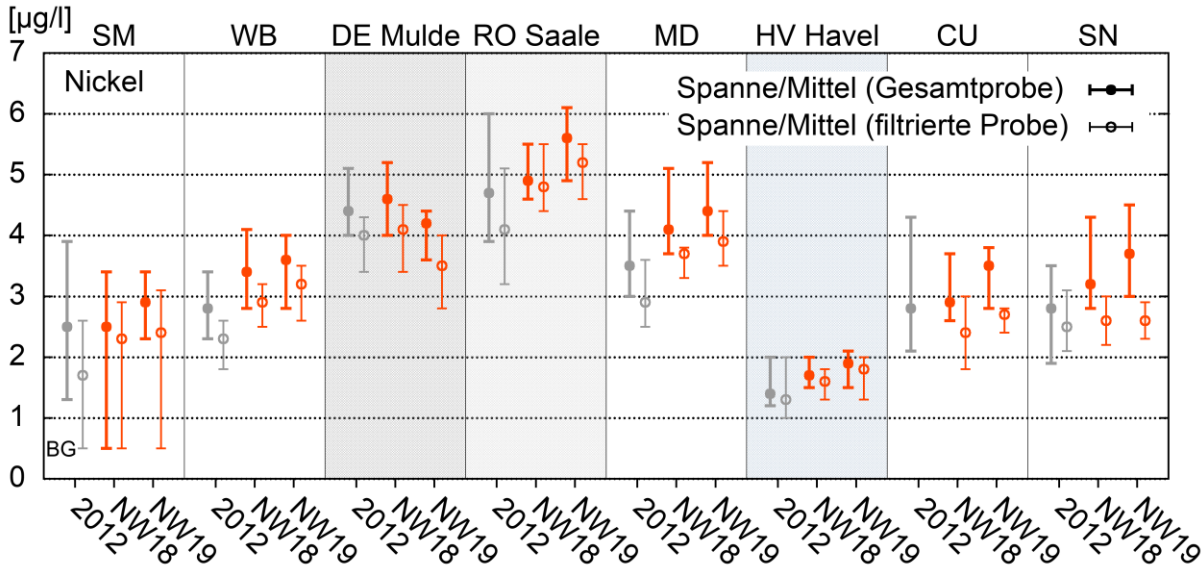

Abbildung 11: Spannweite und Mittelwert der Konzentration von Nickel in Elbe, Mulde, Saale und Havel beim Niedrigwasser (NW) 2019, 2018 und im Jahr 2012 (BG = Bestimmungsgrenze)

Die Arsenkonzentration der Elbe war beim Niedrigwasser 2019 oberhalb der Mulde-Mündung – mit Ausnahme des bereits erwähnten „Ausreißers“ bei Schmilka vom 16.9.2019 – unauffällig (Abbildung 12). In der für sehr hohe Arsenkonzentrationen bekannten Mulde wurden im Mittel noch deutlich höhere Konzentrationen gemessen als beim Niedrigwasser 2018, bei den filtrierten Proben auch eine höhere Konzentrationsspitze (18 mg/l). In der Elbe bei Magdeburg, Cumlosen und bezüglich der filtrierten Probe auch bei Schnackenburg traten erhöhte Arsenkonzentrationen auf, die im Mittel auch leicht höher lagen als beim Niedrigwasser 2018.

In Abbildung 13 und Abbildung 14 wurden die Schwermetall- und Arsenkonzentrationen der Einzelproben im Rahmen des MPE – dort wo es möglich war – den Ergebnissen der Analyse von Wochenmischproben gegenübergestellt. Sehr gute Übereinstimmungen im Konzentrationsniveau von Einzelproben und Wochenmischproben an allen drei betreffenden Messstationen (Schmilka, Wittenberg und Schnackenburg) ergaben sich für Nickel und Arsen. Die stärksten Abweichungen traten bei Blei, Quecksilber, Cadmium und Zink an der Messstation Schnackenburg auf, wobei die Konzentration in den Mischproben stets (Blei, Zink), fast immer (Cadmium) bzw. überwiegend (Quecksilber) größer war als in den Einzelproben.

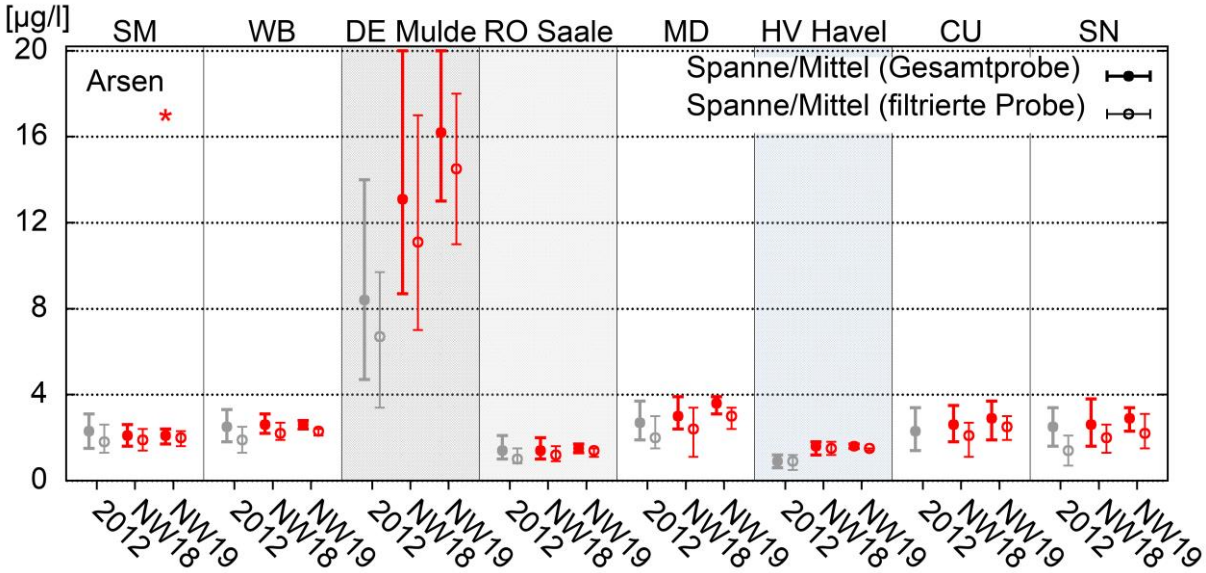

Abbildung 12: Spannweite und Mittelwert der Konzentration von Arsen in Elbe, Mulde, Saale und Havel beim Niedrigwasser (NW) 2019, 2018 und im Jahr 2012 (= „Ausreißer“, nicht in Mittelwertbildung einbezogen, vgl. Text und Abbildung 10)*

Im Zeitraum zweite Julihälfte bis Anfang August 2019, in dem zwischen den Einzelproben des MPE das längste Intervall bestand (drei Wochen), traten in Wochenmischproben der Elbe bei Wittenberg bei allen untersuchten Elementen relativ hohe Konzentrationen auf. In der Elbe bei Schnackenburg wurden in der Mischprobe der Woche vom 29.7. bis 4.8.2019 die höchsten Blei-, Cadmium-, Nickel-, Quecksilber- und Zinkkonzentrationen gemessen.

Das Konzentrationsniveau der „Ausreißer“ an der Messstation Schmilka (Abbildung 10) wurde in den dortigen Wochenmischproben nicht annähernd erreicht.

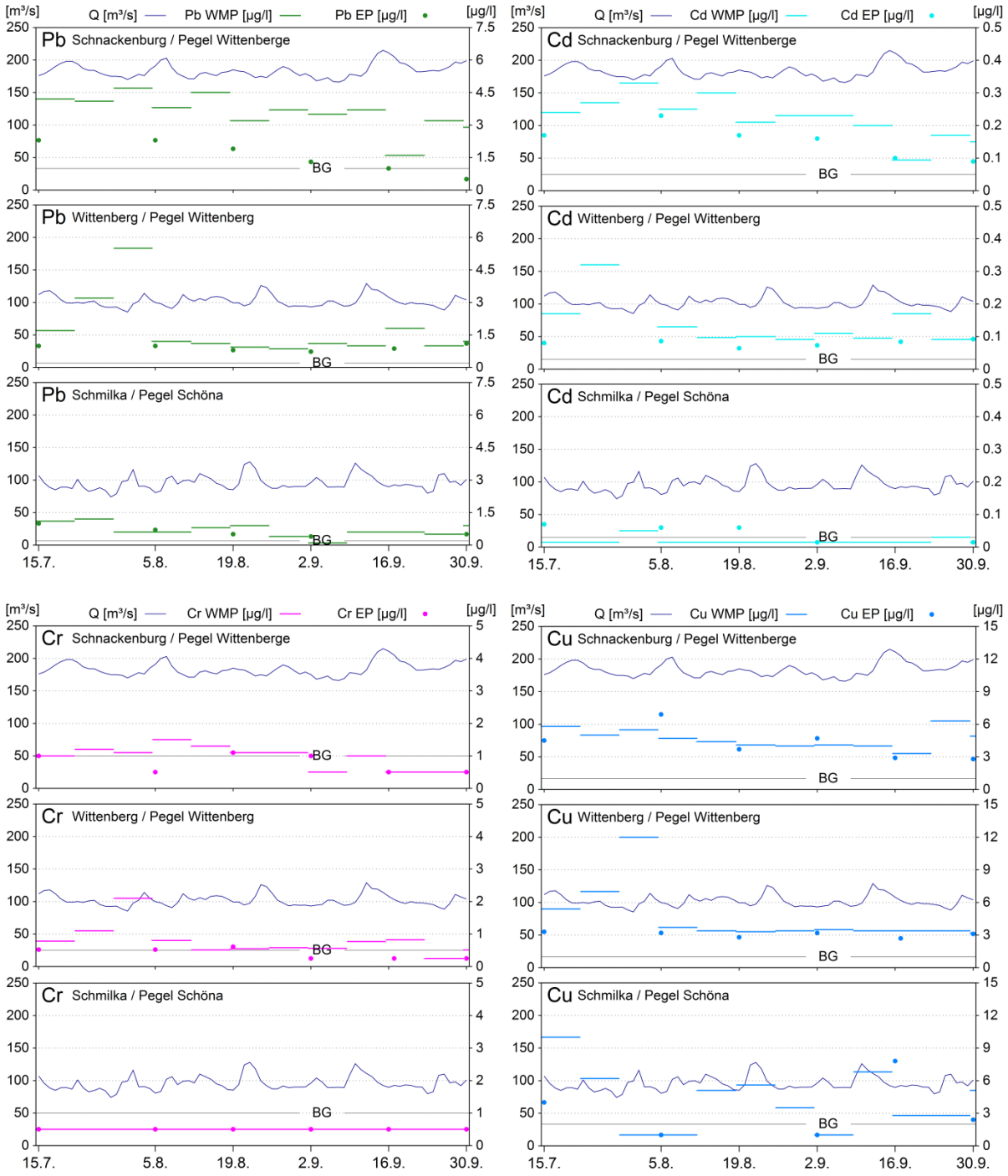

Abbildung 13a/b/c/d: Konzentration von a) Blei (oben links), b) Cadmium (oben rechts, c) Chrom (unten links) und d) Kupfer (unten rechts) in Wochenmischproben (WMP, Gesamtproben) und Einzelproben (EP, Gesamtproben, ohne „Ausreißer“ nach Abbildung 10) nach dem MPE beim Niedrigwasser 2019 an den Elbe-Messstellen Schmilka, Wittenberg und Schnackenburg sowie Durchfluss (Q, Tagesmittelwerte) an den Bezugspegeln (BG = Bestimmungsgrenze)

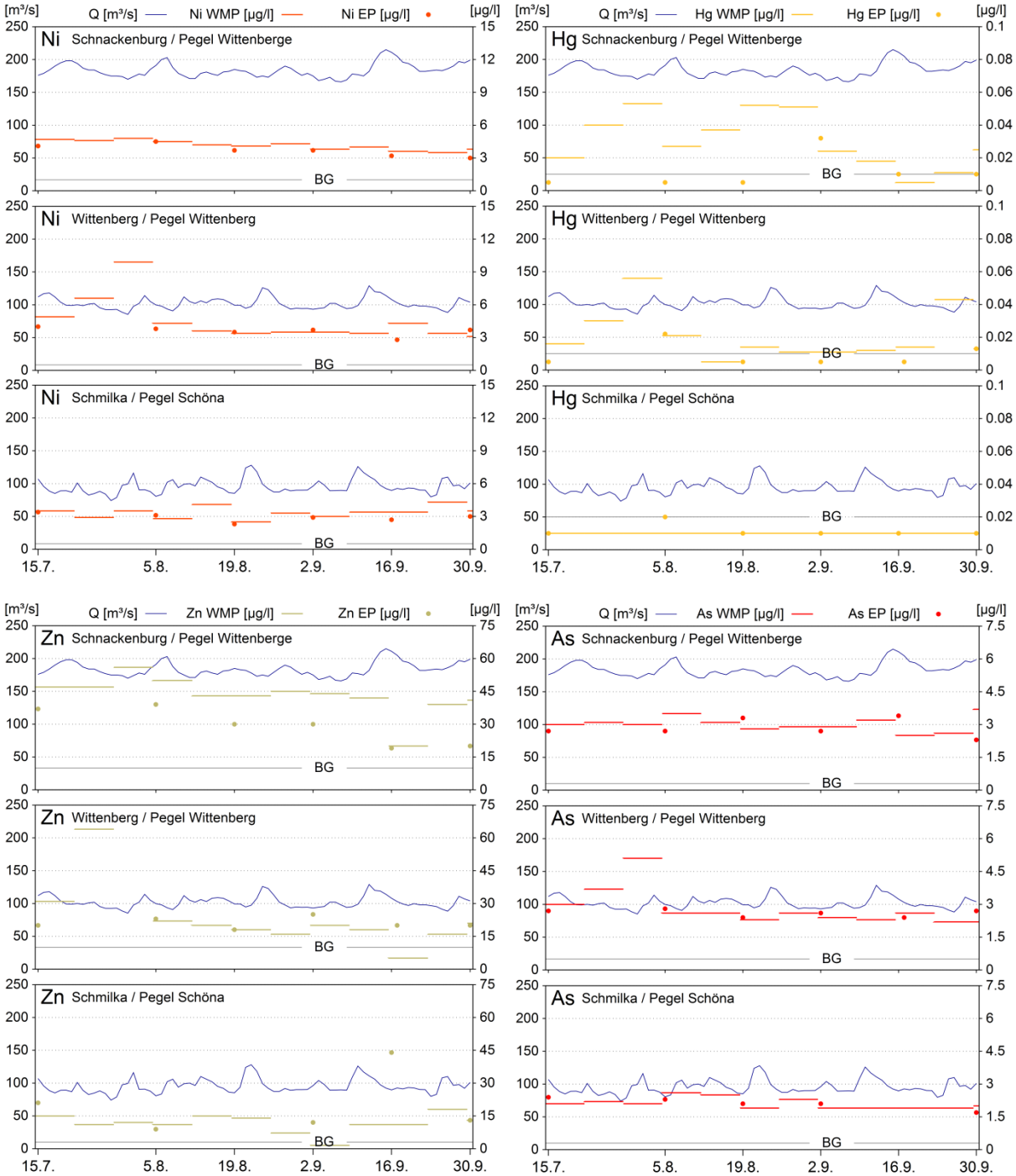

Abbildung 14a/b/c/d: Konzentration von a) Nickel (oben links), b) Quecksilber (oben rechts, c) Zink (unten links) und d) Arsen (unten rechts) in Wochenmischproben (WMP, Gesamtproben) und Einzelproben (EP, Gesamtproben, ohne „Ausreißer“ nach Abbildung 10) der Elbe nach dem MPE beim Niedrigwasser 2019 an den Messstellen Schmilka, Wittenberg und Schnackenburg sowie Durchfluss (Q, Tagesmittelwerte) an den Bezugspegeln (BG = Bestimmungsgrenze)

4.6 Organische Spurenstoffe

4.6.1 Schwerflüchtige chlorierte Kohlenwasserstoffe

Die schwerflüchtigen chlorierten Kohlenwasserstoffe HCH (α-, β-, δ-, γ-Hexachlorcylohexan) sowie DDT, DDE und DDD (jeweils o,p´- und p,p´-), die außer an der Havel und an der Elbe

bei Cumlosen an allen Stellen des MPE gemessen wurden, traten in fast ausschließlich sehr niedrigen bzw. unter der Bestimmungsgrenze liegenden Konzentrationen auf. Auffällig waren lediglich die Messwerte für α-HCH und β-HCH der Mulde am 17.9.2019. Die Konzentration betrug jeweils 17 ng/l und wurde dort nach FGG Elbe (2021) in beiden Fällen zuletzt im Sommer 2015 übertroffen (beim Niedrigwasser 2018 erfolgte an der Mulde bei Dessau keine Messung chlorierter Kohlenwasserstoffe).

4.6.2 Arzneistoffe und Metabolite

Die Konzentration von Arzneistoffen wurde im Rahmen des MPE nur an den Elbe-Messstellen Schmilka und Schnackenburg untersucht (Abbildung 15). Erhöhte Konzentrationen traten während des Niedrigwassers 2019 beim Antikonvulsivum Carbamazepin sowie bei Schnackenburg auch im Fall des Antibiotikums Sulfamethoxazol auf. Gegenüber dem Niedrigwasser 2018 wurden nur in der Elbe bei Schnackenburg, und hier nur für Carbamazepin sowie sehr geringfügig auch für Sulfamethoxazol höhere Konzentrationen gemessen. Die maximalen Konzentrationen der Schmerzmittel Diclofenac und Ibuprofen befanden sich – soweit bestimmbar – beim Niedrigwasser 2019 sowohl im Vergleich zum Jahr 2012 als auch gegenüber dem Niedrigwasser 2018 auf niedrigem Niveau.

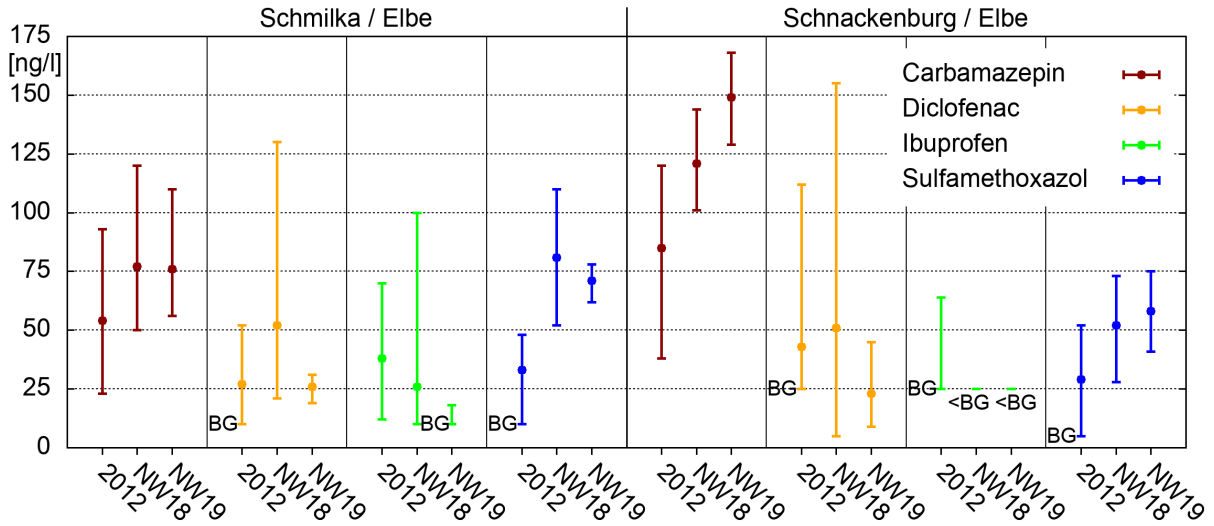

Abbildung 15: Spannweite und Mittelwert der Konzentration von Arzneistoffen in der Elbe bei Schmilka und Schnackenburg beim Niedrigwasser (NW) 2019 und 2018 sowie im Jahr 2012 (BG = Bestimmungsgrenze)

Beim Niedrigwasser 2019 gehörte Oxipurinol, ein Metabolit des Arzneistoffs Allopurinol, der zur Hemmung von Harnsäurebildung eingesetzt wird, erstmals zum Untersuchungsspektrum des MPE. In der Elbe bei Schmilka wurden 1.500 - 1.900 ng/l, bei Schnackenburg 2.030 - 3.550 ng/l Oxipurinol gemessen. Vergleiche zum Jahr 2012 sind nicht möglich. Bei Schmilka traten sowohl im Jahresgang 2019 (Maximum 2.300 ng/l Oxipurinol am 2.12.2019) als auch beim Niedrigwasser 2018 (Maximum 2.700 ng/l Oxipurinol am 10.12.2018) höhere Konzentrationen auf als beim Niedrigwasser 2019 (LfLUG 2021).

5 Einordnung der Ergebnisse

5.1 Wasserführung

Die Abfolge zweier Jahre mit ausgeprägter Sommerdürre wie 2018 und 2019 in Mitteleuropa ist nach HARI et al. (2020) in den vergangenen 250 Jahren beispielslos. Für Sachsen berichtet MÜLLER (2021) für die Jahre 2018, 2019 und 2020 von einem erheblichen Niederschlagsdefizit gegenüber dem Mittel der Jahre 1981 – 2010 sowie dauerhaft niedrigen Grundwasserständen seit 2018.

Die Wasserführung der oberen Elbe in Sachsen wurde während des Niedrigwassers 2019 – wie auch bei den vorangegangenen Niedrigwasserereignissen – wesentlich durch Wasserabgaben aus Talsperren in der Tschechischen Republik gestützt. Da der Abfluss unterhalb der Moldaukaskade im Juli, August und September 2019 nahezu kontinuierlich 40 m³/s betrug und unterhalb der Eger-Talsperre stetig 8,5 m³/s Wasser abflossen (LfULG 2019), kann für die Elbe bei Schmilka wie im Vorjahr während der Niedrigwasserperiode ein „Zuschusswasseranteil“ in einer Größenordnung um 50 % angenommen werden.

Der mehrtägige mittlere Durchfluss (Zeitstufen 7 und 21 Tage) lag beim Niedrigwasser 2019 auf einem geringfügig höheren Niveau im Vergleich zum Niedrigwasser 2018. Die Niedrigwasserdauer war deutlich kürzer. Vor dem massiven Talsperrenbau im Elbegebiet in den 1950er und 1960er Jahren waren im 20. Jahrhundert extreme Sommer/Herbst-Niedrigwasserereignisse meist stärker ausgeprägt (HÜBNER & SCHWANDT 2018) als die Niedrigwasserereignisse der letzten Jahre.

5.2 Wasserbeschaffenheit

Wahrscheinlich als Folge des hohen Anteils an Talsperrenwasser in der oberen Elbe während des Niedrigwassers 2019 wiesen bei Schmilka einige Kenngrößen der Wasserbeschaffenheit, die an anderen Messstellen der Elbe erhöht waren, keine auffälligen Messwerte auf. Dazu zählen beispielsweise – wie auch schon beim Niedrigwasser 2018 – elektrische Leitfähigkeit, Calcium, ortho-Phosphat-Phosphor und Chlorophyll a (vgl. Tabelle 5). Mit fortschreitendem Fließweg der Elbe trat der verdünnende Einfluss des Talsperrenwassers zunehmend in den Hintergrund.

5.2.1 Basiskenngrößen

In der Elbe bei Schmilka und Wittenberg – nicht jedoch bei Cumlosen und Schnackenburg – wurden die höchsten Wassertemperaturen (Tagesmittel und Tagesmaximum) des Jahres 2019 bereits vor Beginn der hier definierten Niedrigwasserperiode gemessen (Tabelle 7, Tabelle 8), wobei der Wert des höchsten Tagesmaximums bei Wittenberg sowohl Ende Juni als auch während des Niedrigwassers Ende Juli auftrat. In dieser Hinsicht nimmt das Niedrigwasser 2019 gegenüber den Niedrigwasserereignissen 2015 und 2018 eine Zwischenstellung ein, da die maximalen Wassertemperaturen beim Niedrigwasser 2015 an den Elbe-Messstationen unterhalb von Schmilka vor der Niedrigwasserperiode auftraten (FGG Elbe 2016), während sie beim Niedrigwasser 2018 insgesamt in den Niedrigwasserzeitraum fielen (FGG Elbe 2020).

Wie dargestellt, wurden die außerordentlich hohen Wassertemperaturspitzen beim Niedrigwasser 2018 im Jahr bzw. beim Niedrigwasser 2019 nicht ganz erreicht. Dies zeigen auch die hier nicht dargestellten kontinuierlichen Messungen an der Messstation Zehren (Elbe-km 89,6) (vgl. FGG Elbe 2021). Vergleiche anhand der Messstation Dommitzsch (Elbe-km 172,6) sind nicht möglich, da das Entnahmesystem der Station vom 1.7. bis 7.10.2019 trocken gefallen war (BfUL 2020). Beim Niedrigwasser 2019 wurde an allen Elbe-Messstationen wie auch an der Mulde bei Dessau die häufig als ökologisch kritische Schwelle für Flüsse zugrunde gelegte Wassertemperatur von 25 °C (z. B. KOOP et al. 2007, BfG 2018) zeitweise überschritten. Auch aus Sicht der Trinkwasserversorger sollte die Wassertemperatur in Fließgewässern nicht über 25 °C steigen (ERM-Koalition 2020).

In der Niedrigwasserperiode 2019 traten wie auch bei den vorausgehenden Niedrigwasserereignissen 2018 und 2015 keine fischkritischen Sauerstoffzustände auf (vgl. BfUL 2020). Für Flüsse wie die Elbe in dem hier betrachteten Laufabschnitt wurde nach der Oberflächengewässerverordnung (OGewV; 20.6.2016 I 1373) ein Orientierungswert zum Sauerstoffgehalt für den guten ökologischen Zustand / das gute ökologische Potenzial von >7 mg/l O_2 ausgewiesen, und zwar als Mittelwert aus den Jahresminimalwerten von maximal drei aufeinander folgenden Kalenderjahren. Ein Sauerstoffgehalt von 7,0 mg/l wurde im Tagesmittel (Tabelle 7) wie beim Niedrigwasser 2018 nur bei Schmilka unterschritten. Die Tagesminima des Sauerstoffgehalts (Tabelle 8) lagen an allen Messstationen unter 7,0 mg/l O_2, wobei die geringsten Gehalte in der Elbe vom 30.7. bis 1.8. auftraten, also kurz nach den Tagen mit maximaler Wassertemperatur. Auch das Sauerstoff-Tagesminimum an der Messstation Zehren (6,1 mg/l am 31.7.) fiel in diesen Zeitraum (FGG Elbe 2021). Vermutlich sind die niedrigen Sauerstoffgehalte auf hohe Biomasse-Abbauraten der vorher temperatur- und strahlungsbedingt forcierten Phytoplankton-Entwicklung zurückzuführen.

Wie im Jahr 2018 traten die höchsten pH-Werte in der Elbe im Jahr 2019 bereits im Frühjahr auf (Tabelle 7, Tabelle 8), lediglich bei Wittenberg fiel der höchste pH-Wert auch (Tagesmittel) bzw. exklusiv (Tagesmaximum) in den Niedrigwasserzeitraum. Als Grund für die hohen pH-Werte im Frühjahr ist wiederum eine starke Phytoplankton-Aktivität („Frühjahrsblüte“) anzunehmen (vgl. FGG Elbe 2020), die sich in relativ hohen Konzentrationen von Chlorophyll a widerspiegelte. So wurden in der Elbe bei Wittenberg und Magdeburg (links) am 6. Mai und 3. Juni die höchsten Konzentrationen von Chlorophyll a im Jahr 2019 gemessen (FGG Elbe 2021). Dass die pH-Wert-Spitzen in der Elbe während des Niedrigwassers etwas höher ausfielen als beim Niedrigwasser 2018, kann ebenfalls mit stärkerer Phytoplankton-Aktivität, indiziert durch höhere Konzentrationen von Chlorophyll a (Tabelle 9), begründet werden. Ein begünstigender Einflussfaktor für die Entwicklung hoher pH-Wert-Spitzen in der Elbe bei Wittenberg im Niedrigwasserzeitraum kann darin gesehen werden, dass die Schwarze Elster in dieser Zeit nur eine äußerst geringe Wasserführung aufwies (Tabelle 3). Somit floss der Elbe oberhalb von Wittenberg deutlich weniger Flusswasser mit niedrigerem pH-Wert zu als beim Niedrigwasser 2018. Der pH-Wert der Schwarzen Elster bei Gorsdorf schwankte im Zeitraum der beiden Jahre 2018 und 2019 nach monatlichen Einzelproben lediglich zwischen pH 7,2 und pH 7,6 (FGG Elbe 2021).

Nach der OGewV besteht für den guten ökologischen Zustand / das gute ökologische Potenzial für die hier betrachtete Elbe ein Maximalwert von pH 8,5 als Mittelwert aus den Jahresmaximalwerten von maximal drei aufeinander folgenden Kalenderjahren. Dieses pH-Wert-Maximum wurde während des Niedrigwassers an den Messstationen der Elbe unterhalb von Schmilka zeitweise überschritten, im gesamten Jahr 2019 an allen

Messstationen (Tabelle 7). Das nach ERM-Koalition (2020) ausgewiesene pH-Wert-Maximum für Fließgewässer von pH 9 wurde während des Niedrigwassers im Tagesmittel in der Elbe bei Wittenberg, in der Mulde bei Dessau sowie als Tagesmaximum (Tabelle 8) auch in der Elbe bei Cumlosen und Schnackenburg überschritten.

Wie beim Niedrigwasser 2018 wurden in der Mulde bei Dessau die höchsten pH-Werte gemessen, in beiden Fällen waren es dort auch die höchsten Werte des jeweiligen Jahres. Wie aufgezeigt wurde, stieg der pH-Wert der Mulde im August 2019 an einzelnen Tagen im Tagesverlauf bis über pH 10, und damit höher als 2018. Als Ursache sind auch hier die Folgen einer starken Phytoplankton-Entwicklung anzunehmen, worauf hohe Konzentrationen von Chlorophyll a, TOC, DOC und abfiltrierbarer Stoffe hindeuten (vgl. Kapitel 4.2).

Wie es in Niedrigwasserperioden durch Aufkonzentration von Wasserinhaltsstoffen typisch ist, wiesen außer Schmilka (vgl. Kapitel 5.2) alle Probestellen des MPE beim Niedrigwasser 2019 erhöhte Messwerte der elektrischen Leitfähigkeit auf (Tabelle 5). Im Unterschied zum Niedrigwasser 2018, bei dem in der Elbe und Mulde langjährige Rekordwerte der elektrischen Leitfähigkeit gemessen wurden (FGG Elbe 2020), traten diese beim Niedrigwasser 2019 in der Saale und Havel auf. Damit spiegeln sich bezüglich der Nebenflüsse gleichzeitig die abweichenden hydrologischen Verhältnisse bei den beiden Ereignissen wider: während 2018 die Mulde außerordentlich wenig Wasser führte, traf dies 2019 auf die Saale und Havel zu, wobei die Havel 2018 zwar kurzzeitig eine ähnlich niedrige Wasserführung erreichte wie 2019, im Mittel der Niedrigwasserperiode aber deutlich mehr Wasser führte (Tabelle 3). Die geringe Wasserführung der Saale ist auch als wesentlicher Grund dafür anzunehmen, dass die elektrische Leitfähigkeit der Elbe bei Cumlosen und Schnackenburg hinter den Höchstwerten beim Niedrigwasser 2018 zurückblieb (Tabelle 7, Tabelle 8), obgleich die Ionenkonzentration in der Saale höher war als 2018 (vgl. Kapitel 4.3 und 4.4). In der Elbe bei Magdeburg am linken Ufer, vor der vollständigen Einmischung des Saalewassers in die Elbe, war das Leitfähigkeitsmaximum (Tabelle 6) dagegen etwas höher als maximal beim Niedrigwasser 2018 und 2015 (BfG 2021).

5.2.2 Kenngrößen mit engem Bezug zur trophischen Entwicklung

Wie in Kapitel 4.2 dargelegt wurde, kam es in der Elbe während des Niedrigwassers 2019 infolge des sommerlichen Phytoplanktonwachstums zu einer gegenläufigen Konzentrationsentwicklung von Chlorophyll a, abfiltrierbaren Stoffen und TOC auf der einen Seite und der Nährstoffkonzentration, dargestellt am Beispiel des ortho-Phosphat-Phophors, auf der anderen Seite. Diese lehrbuchmäßig ausgeprägte Entwicklung war grundsätzlich zu erwarten und wurde auch bei den Niedrigwasserereignissen 2015 und 2018 beobachtet (FGG Elbe 2016, 2020). Die stärksten Eutrophierungserscheinungen zeigten sich auch beim Niedrigwasser 2019 bei Schnackenburg. Der dort gemessene TOC übertraf mit Konzentrationen bis 14,0 mg/l (Tabelle 9) phasenweise bei weitem den Orientierungswert nach der OGewV für den guten ökologischen Zustand / das gute ökologische Potenzial von <7 mg/l TOC als Mittelwert von maximal drei aufeinander folgenden Jahren.

Das Phytoplanktonwachstum im August fiel – gemessen an der Konzentration des Chlorophyll a – beim Niedrigwasser 2019 insbesondere in der Unteren Mittelelbe stärker aus als 2018 und war bei Schnackenburg auch größer als im Referenzjahr 2012. Dementsprechend und analog zu den hohen TOC-Werten war auch die Konzentration abfiltrierbarer Stoffe in der Elbe bei Schnackenburg höher als 2018 und im Referenzjahr.

Da im Verlauf des Niedrigwassers ein mehr oder weniger großer Teil des Phosphors in Biomasse inkorporiert war, wird die Phosphorbelastung der Elbe am besten durch die Konzentrationen des Gesamt-Phosphors (unfiltrierte Proben) deutlich (vgl. BfG 2021), auch wenn fast alle Messwerte unter dem Maximum des Referenzjahres blieben. Der Orientierungswert nach der OGewV für den guten ökologischen Zustand / das gute ökologische Potenzial von ≤0,10 mg/l P_{ges} als Mittelwert von maximal drei aufeinander folgenden Jahren wurde während des Niedrigwassers 2019 an allen Messstellen der Elbe an jedem Messtermin überschritten. Zur Reduzierung der Nährstoffbelastung in der Elbe existiert eine Nährstoffminderungsstrategie (IKSE 2018).

5.2.3 Hauptionen

Wie in Kapitel 4.3 und 4.4 dargestellt, wurden im Verlauf des Niedrigwassers 2019 insbesondere in der Saale und Havel, wo die Wasserführung noch geringer war als bei den vorhergehenden Niedrigwasserereignissen (Tabelle 3), aber auch an Messstellen der Elbe langjährige Rekordkonzentrationen des Anions Chlorid und der Kationen Natrium, Kalium und Calcium gemessen. Da sich auch beim Niedrigwasser 2018 bei genau diesen Hauptionen außerordentlich hohe Konzentrationen einstellten, kann hier bezüglich der Belastungsursachen und der Einordnung der Konzentrationen gegenüber bestehenden Verordnungen, Regelwerken und Zielsetzungen weitgehend auf die Ausführungen in FGG Elbe (2020) verwiesen werden.

Die aufgezeigten langjährigen Konzentrationsspitzen in der Elbe bei Wittenberg hinsichtlich Natrium (69 mg/l) und Chlorid (99 mg/l) in der Einzelprobe vom 15.7.2019 sowie die dort auffälligen 130 mg/l Chlorid in der Wochenmischprobe vom 22.-28.7.2019 lassen kurzzeitig stark erhöhte anthropogene Einleitungen vermuten, da an dieser Stelle alle übrigen Messwerte der beiden Kenngrößen während des Niedrigwassers wie auch im gesamten Jahr 2019 auf deutlich geringerem Niveau lagen (FGG Elbe 2021). Gleichwohl übertrafen beim Niedrigwasser die Chlorid-, Natrium- und Kaliumkonzentrationen bei Wittenberg wie auch andernorts in der Elbe häufig oder sogar stets das Maximum im Referenzjahr 2012. An dieser Stelle sei noch erwähnt, dass in der oberhalb von Wittenberg zufließenden Schwarzen Elster trotz ihrer extrem geringen Wasserführung im Niedrigwasserzeitraum 2019 (Tabelle 3) an der Messstelle bei Gorsdorf geringere Natrium- und Chloridkonzentrationen gemessen wurden als beim Niedrigwasser 2018 (FGG Elbe 2021).

Die sehr hohen Salzkonzentrationen der Saale während des Niedrigwassers 2019 überschritten bei weitem die Ansprüche an die Wasserqualität aus Sicht der Wasserrahmenrichtlinie (z. B. HALLE et al. 2017), des Trinkwasserschutzes und einer eventuellen Bewässerungswirtschaft (vgl. FGG Elbe 2020). Die sehr hohen Calciumkonzentrationen in der Saale bei gleichzeitig unauffälligen Magnesiumkonzentrationen entsprechen der in HÜBNER & SCHWANDT (2018) dargestellten Aufweitung des Calcium-/Magnesiumverhältnisses in diesem Fluss.

Die Salzbelastung der Saale kann als maßgeblicher Grund für die dargestellten langjährigen Konzentrationsspitzen von Chlorid, Natrium, Kalium und Calcium in der Elbe unterhalb der Saalemündung gelten. Aus gewässerökologischer Sicht erscheint unter anderem die Kombination aus erhöhten Chlorid- und erhöhten Kaliumkonzentrationen bedenklich, da Kaliumchlorid in der Reihe der Kation-Chlorid-Salze als besonders toxisch gilt (WOLFRAM et al. 2014).

5.2.4 Schwermetalle und Arsen

Hinsichtlich der an mehreren Messstellen der Elbe erhöhten Konzentrationen von Nickel und Arsen, die sowohl in Gesamt- als auch in filtrierten Proben gemessen wurden, ergibt sich eine Parallele zum Niedrigwasser 2018. Es kann als typisch für Niedrigwasserereignisse gelten, dass gerade Elemente, die zu großen Anteilen in der gelösten Phase auftreten (wie Nickel und Arsen in der Elbe), relativ hohe Konzentrationen erreichen. Für stärker an Partikel gebundene Elemente besteht im Niedrigwasserfall aufgrund der geringeren Fließgeschwindigkeit mehr Zeit zur Sedimentation bzw. zur Bindung an Feststoffe im Gewässerbett. Diese Prozesse werden auch dadurch begünstigt, dass sich ein größerer Anteil des Wasservolumens in Kontakt mit Ufer und Sohle befindet (vgl. BYRNE et al. 2020). Nicht zuletzt erfolgen keine oder kaum diffuse Einträge in die fließende Welle durch Einschwemmung aus dem Einzugsgebiet oder durch Sohlerosion. Die im Vergleich zum Niedrigwasser 2018 höheren Konzentrationen abfiltrierbarer Stoffe in der Elbe können maßgeblich auf die stärkere Phytoplanktonentwicklung zurückgeführt werden. Dieser Einfluss ließ auch keine höheren Konzentrationen partikelgebundener Schwermetalle erwarten.

Im Gegensatz zum Niedrigwasser 2018 wurden bei Schmilka einige Schwermetalle sowie Arsen punktuell in so hoher Konzentration gemessen, dass diese Werte als „Ausreißer“ zu bezeichnen sind. Eine Erklärung für die außerordentlich hohen Konzentrationen von Blei, Cadmium und Arsen in der Gesamtprobe vom 16.9.2019 könnte sein, dass sich ein Erzpartikel in der Probe befunden haben könnte. Dafür sprechen relativ hohe Konzentrationen weiterer Schwermetalle in dieser Probe (Kupfer, Uran, Zink) sowie die – abgesehen von Kupfer – unauffälligen Konzentrationen in der filtrierten Probe (vgl. Tabelle 11, BfG 2021). Für die „Ausreißer“ bei Kupfer und Zink am 19.8.2019 bei Schmilka kommt eine solche Begründung nicht in Frage, da auch die filtrierte Probe außergewöhnlich hohe Konzentrationen aufwies. Dies deutet auf eine anthropogene Kontamination hin.

Verglichen mit den Anforderungen nach der OGewV, die für Schwermetalle und Halbmetalle in Wasserproben bisher lediglich für die gelösten Anteile von Blei, Cadmium, Nickel und Quecksilber zulässige Höchstkonzentrationen ausweist, ergaben sich wie beim Niedrigwasser 2018 keine Überschreitungen (vgl. FGG Elbe 2020).

Die höheren Konzentrationen einiger Schwermetalle in den Wochenmischproben gegenüber den Einzelproben an der Messstelle Schnackenburg, die auch schon beim Niedrigwasser 2018 festgestellt wurden, könnten möglicherweise auf die Aufwirbelungen von Sediment durch die nahe der Messstelle verkehrende Elbfähre zurückgeführt werden. Dafür spricht zum einen, dass sich die größten Unterschiede bei stärker an Feststoffe gebundenen Schwermetallen wie beispielsweise bei Blei zeigten. Zum anderen waren während des Niedrigwassers auch die TOC-Konzentrationen in den Mischproben immer höher als in den Einzelproben (FGG Elbe 2021).

5.2.5 Arzneistoffe und Metabolite

Die niedrigen Konzentrationen von Diclofenac und Ibuprofen während des Niedrigwassers lassen sich im ersteren Fall auf den intensiven photolytischen Abbau und im letzteren Fall auf hohe Eliminationsraten in Klärlagen und das anzunehmende (weitgehende) Ausbleiben von Mischwasserabschlägen zurückführen (vgl. FGG Elbe 2020).

Da Sulfamethoxazol in gewissem, wenn auch geringerem Maße als Diclofenac, durch Sonnenlicht transformiert wird (BAHNMÜLLER et al. 2014), wären nicht nur in der Elbe bei Schmilka, sondern auch bei Schnackenburg geringere Konzentrationen als beim Niedrigwasser 2018 zu erwarten gewesen, weil 2019 der Spätherbst mit weniger intensiver Sonneneinstrahlung nicht mehr zur Niedrigwasserperiode gehörte. Wie aus FGG Elbe (2021) zu ersehen ist, wurden in der Saale bei Rosenburg beim Niedrigwasser 2019 höhere Konzentrationen von Sulfamethoxazol (bis 93 ng/l am 30.9.2019) gemessen als in der Elbe. So könnte eine relativ hohe Belastung der Saale den Grund für die gegenüber dem Niedrigwasser 2018 nicht zurückgegangene Konzentration von Sulfamethoxazol bei Schnackenburg darstellen. Leider liegen für das Niedrigwasser 2018 keine Vergleichswerte von Arzneistoffen aus der Saale bei Rosenburg vor. Der für anthropogene Spurenstoffe (wie Arzneistoffe) von der ERM-Koalition (2020) festgelegte Zielwert von maximal 100 ng/l wurde in der Niedrigwasserperiode 2019 wie im Fall von Diclofenac und Ibuprofen auch bei Sulfamethoxazol nicht überschritten.

Dagegen wurde Carbamazepin in der Elbe – wie auch schon beim Niedrigwasser 2018 – auch in Konzentrationen über 100 ng/l gemessen. Bei Schnackenburg lag sogar schon das Minimum der Konzentration in Niedrigwasserzeitraum darüber. Carbamazepin gilt wegen des geringen Rückhalts in Kläranlagen und der Persistenz im Gewässer als Tracer für kommunales Abwasser (z. B. SCHEURER et al. 2011). In Niedrigwasserperioden ist eine Aufkonzentration zu erwarten. Die gegenüber dem Niedrigwasser 2018 höheren Konzentrationen in der Elbe bei Schnackenburg könnten wiederum großenteils auf den Einfluss der Saale zurückgehen, in der bei Rosenburg bis zu 290 ng/l Carbamazepin (30.9.2019) gemessen wurden.

In mehr als 10-fach höherer Konzentration als Carbamazepin trat Oxipurinol in der Elbe auf, bei Schnackenburg wurden bis zu 3.550 ng/l gemessen. Als Jahresdurchschnitts-Umweltqualitätsnorm für Oxipurinol werden nach WÜNNEMANN et al. (2020) 14.000 ng/l vorgeschlagen. Dagegen beruft sich die AWE (2020) auch für Oxipurinol auf den Zielwert der ERM-Koalition (2020) von 100 ng/l. Da von Seiten der AWE im Jahr 2019 maximal 3000 ng/l Oxipurinol im Elbegebiet analysiert wurden, wird für diesen Spurenstoff ein Reduzierungsbedarf von 97 % gesehen (AWE 2020).

6 Literatur / Quellen

AWE (ARBEITSGEMEINSCHAFT DER WASSERVERSORGER IM EINZUGSGEBIET DER ELBE) (2020): Qualität der Elbe und ausgewählter Nebenflüsse unter dem Gesichtspunkt der Trinkwasseraufbereitung, Berichtsjahr 2018/2019: 24 S., Anh., Torgau; https://www.awe-elbe.de/downloads.html?file=files/inhalt/downloads/AWE%20Bericht%202018-2019.pdf.pdf (Abruf: 14.12.2020)

BAHNMÜLLER, S., GUNTEN, V., U. & CANONICA, S. (2014): Sunlight-induced transformation of sulfadiazine and sulfamethoxazole in surface waters and wastewater effluents. - Water Research 57: 183-192, Amsterdam, NL [u. a.]; http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2014.03.019 (Abruf: 27.11.2019)

BFG (BUNDESANSTALT FÜR GEWÄSSERKUNDE) (2018): Niedrigwasser-Berichtsperiode 03.08. - 09.08.2018: Fließend Warmwasser, https://www.bafg.de/DE/07_Nachrichten/Archiv/2018/BfG_Niedrigwasserbericht_180809.pdf?__blob=publicationFile (letzter Abruf: 16.3.2021)

BFG (BUNDESANSTALT FÜR GEWÄSSERKUNDE) (2021): Informationsplattform Undine: Information zum Messprogramm Extremereignisse der FGG Elbe mit Mess-/ Analysendaten zur Wasserbeschaffenheit beim Niedrigwasser der Elbe im Jahr 2015, 2016, 2018 und 2019; http://undine.bafg.de/elbe/extremereignisse/elbe_mp_extremereignisse.html (letzter Abruf: 06.01.2021)

BFUL (STAATLICHE BETRIEBSGESELLSCHAFT FÜR UMWELT UND LANDWIRTSCHAFT - FREISTAAT SACHSEN) (2020): Bericht der Gewässergütemessstationen 2019: Schmilka, Zehren, Dommitzsch und Görlitz, Bearb. HEISE, S.; Stand: 31.3.2020, 18 S., Anh., Nossen; https://www.wasser.sachsen.de/download/Stationsbericht2019.pdf (Abruf: 14.12.2020)

BYRNE, P., ONNIS, P., RUNKEL, R.L., FRAU, I., LYNCH, S.F.L. & EDWARDS, P. (2020): Critical Shifts in Trace Metal Transport and Remediation Performance under Future Low River Flows, Environmental Science & Technology 54: 15742-15750, Washington, D.C.; https://doi.org/10.1021/acs.est.0c04016 (Abruf: 7.4.2021)

ČHMÚ (ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV) (2020): Roční zpráva o hydrometeorologické situaci v České republice 2019 [Jahresbericht über die hydrometeorologische Situation in der Tschechischen Republik 2019], 32 S., Praha, CZ; https://www.chmi.cz/files/portal/docs/hydro/sucho/Zpravy/ROK_2019.pdf (Abruf: 13.1.2021)

DWD (DEUTSCHER WETTERDIENST) (2019): Monatlicher Klimastatus Deutschland [Januar – Dezember] 2019, Offenbach am Main, Selbstverlag Deutscher Wetterdienst; https://www.dwd.de/DE/leistungen/pbfb_verlag_monat_klimastatus/monat_klimastatus.htm (Abruf: 16.4.2020)

ERM (EUROPEAN RIVER MEMORANDUM) – KOALITION (2020): Europäisches Fließgewässermemorandum zur qualitativen Sicherung der Trinkwassergewinnung, 15 S.; https://www.iawr.org/timm/download.php?file=data/docs/aktuell/european-river-memorandum-2020-de.pdf (Abruf: 15.12.2020)

FGG (FLUSSGEBIETSGEMEINSCHAFT) ELBE (2016): Wasserbeschaffenheit und Schadstofftransport beim extremen Niedrigwasser der Elbe von Juli bis Oktober 2015, Bearb.: HÜBNER, G. & SCHWANDT, D.; Fachberichte Hochwasser/Niedrigwasser; https://www.fgg-elbe.de/files/Download-Archive/Fachberichte/Hochwasser_Niedrigwasser/Bericht_Niedrigwasser_2015.pdf (Abruf: 11.12.2020)

FGG (FLUSSGEBIETSGEMEINSCHAFT) ELBE (2018): Koordiniertes Elbemessprogramm (KEMP) 2019, Stand: 4.12.2018; https://www.fgg-elbe.de/files/Download-Archive/Messprogramme/fggelbe/KEMP_2019_endfassung_homepage.pdf (letzter Abruf: 10.12.2020)

FGG (FLUSSGEBIETSGEMEINSCHAFT) ELBE (2019): Messprogramm für hydrologische Extremereignisse an der Elbe, Stand: 1.9.2016 mit angepasstem Anhang 2 vom 22.1.2019; https://www.fgg-elbe.de/files/Download-Archive/Messprogramme/fggelbe/MP_Extremereignisse_Fortschreibung_01_09_2016_Anlage_2angepasst_01_2019.pdf (Abruf: 11.12.2020)

FGG (FLUSSGEBIETSGEMEINSCHAFT) ELBE (2020): Wasserbeschaffenheit der Elbe während des extremen Niedrigwassers von Juli bis Dezember 2018, Bearb.: HÜBNER, G. & SCHWANDT, D., Fachberichte Hochwasser/Niedrigwasser; https://www.fgg-elbe.de/files/Download-Archive/Fachberichte/Hochwasser_Niedrigwasser/Elbe_Niedrigwasserbericht_2018_Stand_2020_05-08.pdf (Abruf: 11.12.2020)

FGG (FLUSSGEBIETSGEMEINSCHAFT) ELBE (2021): Elbe-Datenportal: Fachinformationssystem (FIS); https://www.elbe-datenportal.de/FisFggElbe/content/start/ (letzter Abruf: 16.4.2021)

HALLE, M., MÜLLER, A. & BELLACK, E. (2017): Schwellenwerte und Bioindikatoren zur gewässerökologischen Beurteilung des Salzgehalts von Fließgewässern gemäß EG-WRRL, Korrespondenz Wasserwirtschaft 10 (9): 525-535, Hennef; https://doi.org/10.3243/kwe2017.09.001 (Abruf: 16.4.2021)

HARI, V., RAKOVEC, O., MARKONIS, Y., HANEL, M. & KUMAR, R. (2020): Increased future occurrences of the exceptional 2018 - 2019 Central European drought under global warming, Scientific Reports (Nature) 10: 12207; https://doi.org/10.1038/s41598-020-68872-9 (letzter Abruf: 3.12.2020)

HÜBNER, G. & SCHWANDT, D. (2018): Extreme low flow and water quality – a long-term view on the River Elbe, Erdkunde – Archive for Scientific Geography 72 (3): 235-251; https://doi.org/10.3112/erdkunde.2018.03.05 (letzter Abruf: 20.11.2019)

IKSE (INTERNATIONALE KOMMISSION ZUM SCHUTZ DER ELBE) (2018): Strategie zur Minderung der Nährstoffeinträge in Gewässer in der internationalen Flussgebietseinheit Elbe, Bearb.: Rosendorf, P. et al., 83 S., Magdeburg; https://www.ikse-mkol.org/fileadmin/media/user_upload/D/06_Publikationen/01_Wasserrahmenrichtlinie/2018_IKSE_Strategie_NP.pdf (Abruf: 23.3.2021)

KOOP, J.H.E., BERGFELD, T. & KELLER, M. (2007): Einfluss von extremen Niedrigwasser-Ereignissen und gleichzeitigen „Hitzeperioden“ auf die Ökologie von Bundeswasserstraßen, Hydrologie und Wasserbewirtschaftung 51 (5): 202-209; http://www.hywa-online.de/einfluss-von-extremen-niedrigwasser-ereignissen-und-gleichzeitigen-hitzeperioden-auf-die-oekologie-von-bundeswasserstrassen/ (letzter Abruf: 16.3.2021)

LFLUG (LANDESAMT FÜR LANDWIRTSCHAFT, UMWELT UND GEOLOGIE SACHSEN) (2019): Gewässerkundliche Monatsberichte: Juli 2019, August 2019, September 2019; https://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/infosysteme/lhwz/hydrologische-wochen-und-monatsberichte.html (letzter Abruf: 12.3.2019)

LFLUG (LANDESAMT FÜR LANDWIRTSCHAFT, UMWELT UND GEOLOGIE SACHSEN) (2021): Datenportal iDA; https://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/infosysteme/ida/pages/map/default/index.xhtml (letzter Abruf: 18.1.2021)

MÜLLER, U. (2021): Trockenheit – mehr als nur Wassermangel? In: 44. Dresdner Wasserbaukolloquium „Wasserbau zwischen Hochwasser und Wassermangel“, Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen 65: 163-174, Dresden; https://henry.baw.de/bitstream/handle/20.500.11970/107431/Dresdner-Wasserbaukolloquium-44_Heft-65_2021_Gesamt_PDFA-2b.pdf?sequence=1&isAllowed=y#page=174 (letzter Abruf: 8.4.2021)

SCHEURER, M., STORCK, F.R., GRAF, C., BRAUCH, H.-J., RUCK, W., LEV, O. & LANGE, F.T. (2011): Correlation of six anthropogenic markers in wastewater, surface water, bank filtrate, and soil aquifer treatment, Journal of Environmental Monitoring 13: 966-973, London; https://doi.org/10.1039/C0EM00701C (Abruf: 24.6.2020)

UFZ (HELMHOLTZZENTRUM FÜR UMWELTFORSCHUNG) (2019): Aktuelle Berichte zu Effekten von Extremereignissen auf Fließgewässer, Stand: 2.10.2019; https://www.ufz.de/index.php?de=44471 (Abruf: 12.3.2021)

WOLFRAM, G., RÖMER, J., HÖRL, C., STOCKINGER, W., RUZICSKA, K. & MUNTEANU, A. (2014): Chlorid - Auswirkungen auf die aquatische Flora und Fauna, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien; https://www.bmlrt.gv.at/dam/jcr:250fe6a2-18af-4b2a-99bb-a25d6ff87f3d/Chlorid%20Studie.pdf (Abruf: 30.3.2021)

WÜNNEMANN, H., WEIß, K., ARNDT, D., BAUMANN, M., WEIß, R., FERLING, H., SCHOLZ-GÖPPEL, K., BUCHER, K., FEICK, C., HARTMANN, G., KITZING, P., SZYJA, M. & SCHWAIGER, J. (2020): Umweltqualitätsnormen für Binnengewässer – Überprüfung der Gefährlichkeit neuer bzw. prioritärer Substanzen, UBA Texte 233/2020, 212 S., Dessau-Roßlau; https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2020_12_09_texte_233-2020_umweltqualitaetsnormen_binnengewaesser.pdf (Abruf: 16.4.2021)

www.fgg-elbe.de