



Wasserbeschaffenheit und Schadstofftransport beim extremen Niedrigwasser der Elbe von Juli bis Oktober 2015



Elbe bei Schnackenburg (links) am 14.8. 2015

Herausgeber:
Flussgebietsgemeinschaft Elbe



Impressum

Gemeinsamer Bericht der Bundesländer der Flussgebietsgemeinschaft Elbe:

Freistaat Bayern
Land Berlin
Land Brandenburg
Freie und Hansestadt Hamburg
Land Mecklenburg-Vorpommern
Land Niedersachsen
Freistaat Sachsen
Land Sachsen-Anhalt
Land Schleswig-Holstein
Freistaat Thüringen

und der Bundesrepublik Deutschland

Redaktion: Arbeitsgruppe Oberflächengewässer (AG OW) der FGG Elbe

Koordinierung: Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG), Koblenz



Foto Deckblatt: © Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN)

Stand: November 2016

Bearbeitung: Dr. Gerd Hübner (BfG)
Dr. Daniel Schwandt (BfG)



Zusammenfassung

Während der außerordentlich geringen Wasserführung der Elbe von Juli bis Oktober 2015 kam das „Messprogramm für hydrologische Extremereignisse an der Elbe“ erstmalig bei einem Niedrigwasser zum Einsatz. Im Rahmen dieses Sondermessprogramms der Flussgebietsgemeinschaft (FGG) Elbe, das von der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) koordiniert wird, wurden vom 20.7. - 5.10.2015 an fünf Messstellen der Elbe zwischen Schmilka und Schnackenburg sowie mündungsnah an Saale, Mulde und Havel Wasserproben entnommen. Die Ergebnisse dieser (vier bis) sechs Einzelbeprobungen je Messstelle wurden zeitnah auf der Informationsplattform Undine (<http://undine.bafg.de>) veröffentlicht. Die Wasserproben wurden auf Basiskonzentrationen, Hauptionen (inklusive Nährstoffe), Schwer- und Halbmetalle sowie organische Spurenstoffe untersucht. Zusätzlich wurden Ergebnisse der kontinuierlichen chemisch-physikalischen Gewässerüberwachung an Messstationen im Elbegebiet einbezogen. Zur Einordnung und Auswertung der Messergebnisse erfolgten Vergleiche mit dem hydrologischen „Normaljahr“ 2012 und dem Niedrigwasser 2003.

Das Niedrigwasser 2015 war gekennzeichnet durch hohe Wassertemperaturen, deren Maximum meist schon Anfang Juli erreicht wurde, niedrige Sauerstoffgehalte (jedoch oberhalb kritischer Werte) und in der Mittel- und Unterelbe auch durch außerordentlich hohe elektrische Leitfähigkeiten. An der Messstelle Schmilka wurde der verdünnende Einfluss des Zuschusswassers aus tschechischen Talsperren deutlich. An allen unterhalb befindlichen Messstellen der Elbe waren auffällig hohe Konzentrationen von Chlorid, Sulfat und ortho-Phosphat-Phosphor zu verzeichnen. Verglichen mit dem Niedrigwasser 2003 erreichte die Salzbelastung ein sehr ähnliches Niveau, während die Konzentrationen der abfiltrierbaren Stoffe und des Chlorophyll a in der Elbe auffällig gering waren.

Stellenweise traten in den Gesamtproben sowie insbesondere auch in den filtrierten Proben erhöhte Schwermetallkonzentrationen auf. Chrom, Kupfer und Nickel waren an mehreren, Arsen an allen Messstellen auffällig. Nur an der Messstelle Schnackenburg übertrafen die Konzentrationsspitzen mehrerer Schwermetalle (Cadmium, Chrom, Kupfer, Quecksilber) und des Arsens die Höchstkonzentrationen beim Niedrigwasser 2003. Dafür könnte die Rücklösung und / oder Resuspension dieser Schadstoffe aus belasteten Sedimenten verantwortlich sein.

Bei Isomeren des HCH und DDT traten punktuell erhöhte Konzentrationen auf: δ -HCH und p,p'-DDT in der Elbe bei Wittenberg, γ - und δ -HCH in der Mulde. Unter den Arzneistoffen war die Konzentration des Carbamazepins bei Schnackenburg leicht und die des Sulfamethoxazols bei Schmilka und Schnackenburg deutlich erhöht.

Bei Betrachtung der Stofffrachten zeigte sich der für die Wasserbeschaffenheit der Elbe maßgebliche Einfluss der Saale bezüglich zahlreicher Schadstoffe, zu denen insbesondere Chlorid, Zink, Cadmium, Uran und Blei zählten. Die Arsenfracht der Elbe erhöhte sich dagegen am stärksten nach dem Zufluss der Mulde, in der auch die mit Abstand höchsten Arsen-Konzentrationen auftraten.

Das Messprogramm Extremereignisse lieferte insgesamt eine repräsentative Datengrundlage zur Einordnung und Interpretation der Wasserbeschaffenheit der Elbe beim Niedrigwasser 2015. Somit wurde auch im Fall eines extremen Niedrigwassers die Praxistauglichkeit dieses Messprogramms unter Beweis gestellt.



Inhalt

Zusammenfassung.....	3
1. Einleitung.....	5
2. Messprogramm, Datengrundlage und Methoden.....	6
3. Wasserbeschaffenheit.....	10
3.1 Wassertemperatur, Sauerstoffgehalt, elektrische Leitfähigkeit.....	10
3.2 Abfiltrierbare Stoffe, Nährstoffe, Chlorophyll a.....	12
3.3 Salzbelastung.....	15
3.4 Schwermetalle, Arsen, Bor.....	16
3.5 Organische Spurenstoffe.....	21
4. Stoffströme / Frachten.....	24
4.1 Abfiltrierbare Stoffe, POC, Chlorophyll a.....	24
4.2 Chlorid.....	24
4.3 Schwermetalle und Arsen.....	25
4.4 Arzneistoffe.....	28
5. Diskussion.....	30
6. Schlussbemerkung.....	34
7. Literatur / Quellen.....	35
Anhang: A1-A4	



1. Einleitung

Von Juli bis Oktober 2015 trat eine langanhaltende Niedrigwasserphase der Elbe mit zeitweise extrem niedriger Wasserführung auf. Vergleichbare Niedrigwasserereignisse wurden zuletzt in den Jahren 2003 und 1964 beobachtet (<http://undine.bafg.de>). Im Jahr 2015 lag der Zeitraum der geringsten Wasserführung sowohl der Binnenelbe in Deutschland als auch der Unterläufe ihrer Hauptzuflüsse Mulde, Saale und Havel zwischen Ende Juli und Mitte August. Die niedrigsten Durchflüsse wurden ab Ende der ersten (Muldepegel Priorau) bis zum Anfang der dritten Augustwoche (Havelpegel Havelberg-Stadt, Elbepegel Neu Darchau) verzeichnet. Regenfälle zu Beginn der zweiten Augushälfte führten zu einer kurzzeitigen Zunahme der Wasserführung. Ab Ende August/Anfang September bis zum Ende der ersten Oktoberwoche war die Wasserführung der Elbe wieder außerordentlich gering. An der unteren Mittelelbe (Pegel Wittenberge) wurde der langjährige mittlere Niedrigwasserdurchfluss erst Mitte Oktober wieder überschritten.

Dieser Bericht untersucht die Wasserbeschaffenheit und den Stofftransport der Binnenelbe während des Niedrigwassers unter Berücksichtigung der Hauptzuflüsse. Als wesentliche Grundlage dienen die Ergebnisse aus dem „Messprogramm für hydrologische Extremereignisse an der Elbe“ (kurz: „Messprogramm Extremereignisse“) der Flussgebietsgemeinschaft Elbe (FGG ELBE 2015a). Bei diesem Messprogramm erfolgen Probenahme und Analytik in der Regie der beteiligten Bundesländer (im Niedrigwasserfall: Sachsen, Sachsen-Anhalt, Brandenburg und Niedersachsen) sowie durch das Helmholtzzentrum für Umweltforschung (UFZ). Das Messprogramm Extremereignisse wird von der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) koordiniert. Es hat sich bereits beim Junihochwasser 2013 in der Praxis bewährt (z. B. HÜBNER & SCHWANDT 2014). Im Jahr 2015 gelangte es zum ersten Mal bei einem Niedrigwasserereignis zum Einsatz.

Analog zu den Auswertungen zum Elbehochwasser 2013 (SCHWANDT & HÜBNER 2014) handelt es sich auch bei dem vorliegenden Bericht im Wesentlichen um eine vergleichende Darstellung und Bewertung. Sowohl Abweichungen zur Situation bei „normalen“ hydrologischen Verhältnissen als auch Unterschiede und Gemeinsamkeiten zum vorausgegangenen Niedrigwasserereignis 2003 werden herausgearbeitet. Schwerpunkte bilden die Konzentration und der Transport von Schadstoffen, wobei insbesondere Schwermetalle und Arsen im Fokus stehen.



Foto 1: Elbe in Magdeburg (Domfelsen) am 27.7.2015 (© Ilka Carls)



2. Messprogramm, Datengrundlage und Methoden

Das Messprogramm Extremereignisse wurde nach etwa 14-tägiger Unterschreitung der auf Tagesmittelwerte bezogenen Auslöseschwellen des Durchflusses an den Elbepegeln Schöna (5.-17.7.2015: $Q < 105 \text{ m}^3/\text{s}$), Wittenberg (4.-20.7.2015: $Q < 135 \text{ m}^3/\text{s}$), Barby (2.-20.7.2015: $Q < 210 \text{ m}^3/\text{s}$) und Wittenberge (2.-20.7.2015: $Q < 275 \text{ m}^3/\text{s}$) planmäßig ab dem 20.7.2015 durchgeführt.

Die Messstellen und Pegel, auf die in diesem Bericht Bezug genommen wird, sind Abbildung 1 bzw. Tabelle 1 zu entnehmen.

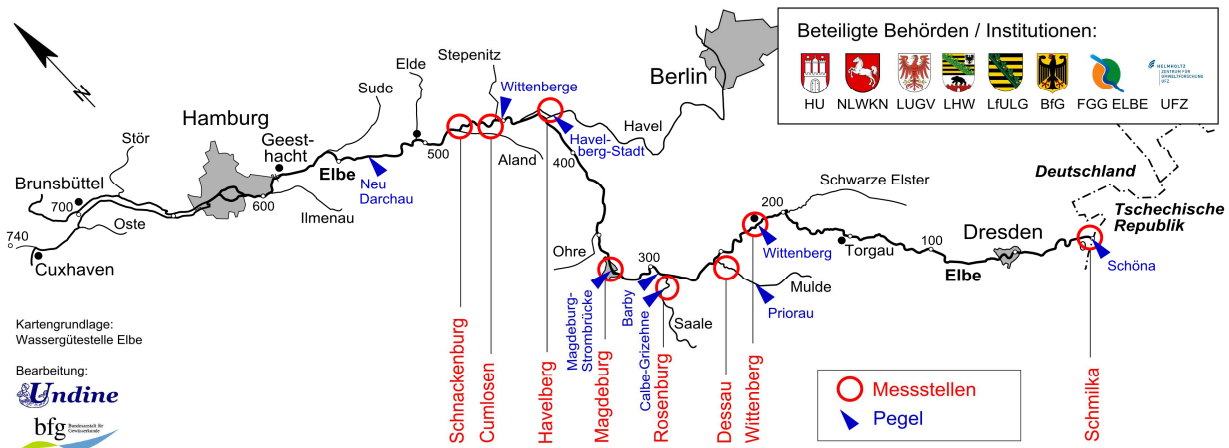


Abb. 1: Beteiligte Behörden / Institutionen, Messstellen und Pegel des Messprogramms Extremereignisse beim Niedrigwasser 2015

Tab. 1: Messstellen des Messprogramms Extremereignisse 2015 sowie – im Kursivdruck – weitere in die Auswertung einbezogene Messstationen der Binnenelbe

Fluss	Messstelle	Kürzel	Fluss-km	Flussseite	Bundesland
Elbe	Schmilka	SM	3,9	rechts	Sachsen
<i>Elbe</i>	<i>Zehren</i>	<i>ZE</i>	<i>89,6</i>	<i>links</i>	<i>Sachsen</i>
<i>Elbe</i>	<i>Dommitzsch</i>	<i>DO</i>	<i>172,6</i>	<i>links</i>	<i>Sachsen</i>
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

*: bei Frachtberechnung „Magdeburg Mitte“ mit Kürzel „MDm“ (siehe Text)

Die Termine der in der Regel im 14-tägigen Abstand durchgeführten Beprobung (Abb. 2) orientierten sich am Koordinierten Elbemessprogramm (KEMP) (FGG ELBE 2015b). Die letzte Beprobung fand am 19.10.2015 statt. Da die Wasserführung zu dieser Zeit bereits wieder deutlich zugenommen hatte, beziehen sich die Auswertungen zum Niedrigwasser auf den Zeitraum vom 20.7. bis 5.10.2015. In diesem Zeitraum erfolgten an Elbe und Saale sechs Probenahmen im Rahmen des Messprogramms Extremereignisse. Die Elbe bei Cumlosen wurde in zwei Fällen terminlich abweichend von Abbildung 2 beprobt (31.8. statt 1.9. und 28.9. statt 5.10.).



Die Probenahmen erfolgten an der Havel am 17.8., 31.8., 14.9., 28.9. und 19.10.2015, an der Mulde am 17.8. und 1.9.2015. Bei den nachfolgenden Auswertungen wurden aus Sachsen-Anhalt ergänzende Daten zur Wasserbeschaffenheit von Mulde und Havel hinzugezogen, die im Niedrigwasserzeitraum an übereinstimmenden Messterminen gemäß KEMP (FGG ELBE 2015b) gewonnen wurden.

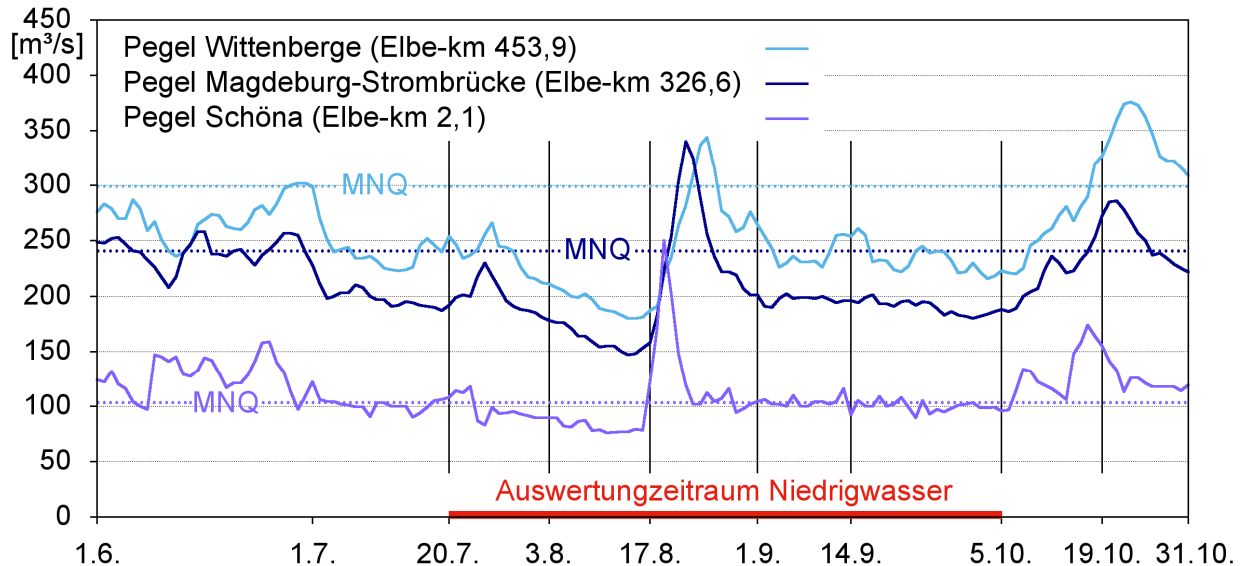


Abb. 2: Durchfluss (Tagesmittelwerte) an ausgewählten Elbepegeln vom 1.6.-31.10.2015 im Vergleich zum langjährigen mittleren Niedrigwasserdurchfluss ($MNQ_{1955-2015}$) und Probenahmetermine des Messprogramms Extremereignisse (senkrechte Linien)

Untersucht wurden im Spektrum des KEMP (FGG ELBE 2015b) enthaltene Basiskenngrößen der Wasserbeschaffenheit, Hauptionen (inklusive Nährstoffe), Schwermetalle, Arsen, Bor, schwerlösliche halogenierte Kohlenwasserstoffe, Arzneistoffe sowie einzelne bio- bzw. bakteriologische Kenngrößen. Die Analysen erfolgten gemäß der nach KEMP (FGG ELBE 2015b) vorgesehenen Methodik.

Eine Zusammenstellung der nach dem Messprogramm Extremereignisse erhobenen Daten inklusive der vorgenannten Messwertergänzungen zur Mulde und Saale kann von der Informationsplattform Undine (<http://undine.bafg.de>) abgerufen werden. Die Messergebnisse sind auch im Fachinformationssystem der FGG Elbe (www.elbe-datenportal.de) enthalten.

Neben diesen Messergebnissen stützt sich die nachfolgend vorgenommene Auswertung auf folgende Datengrundlagen:

- Durchfluss (Tagesmittelwerte) an Pegeln der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung (WSV), bereitgestellt von der BfG,
- Durchfluss (Tagesmittelwerte) am Muldepegel Priorau, übermittelt vom Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft (LHW) Sachsen-Anhalt,
- Ergebnisse kontinuierlicher Messungen von Basiskenngrößen der Wasserbeschaffenheit der Elbe aus Landesmessstationen (bis einschließlich 2014 nach FGG ELBE 2016, für 2015: unmittelbar von den betreffenden Landesinstitutionen übermittelte Daten),
- Messergebnisse der Länder zur Wasserbeschaffenheit von Einzelproben (nach FGG ELBE 2016),



- Messergebnisse (Einzelproben) des Landesamtes für Umwelt (LfU) Brandenburg zur Messstelle Havelberg/Havel der Jahre 2003 und 2012,
- Messergebnisse (Einzelproben) des Landesbetriebs für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen Anhalt zur Messstelle Magdeburg (rechts), Jahr 2015.

Als Bewertungsgrundlage werden die Verhältnisse beim Niedrigwasser 2015 in methodischer Analogie zu SCHWANDT & HÜBNER (2014) verglichen mit:

- dem Niedrigwasser 2003 (letztes vorausgehendes extremes Niedrigwasserereignis),
- dem Jahr 2012 als „hydrologisches Normaljahr“ ohne ausgeprägtes Hoch- oder Niedrigwasser,
- dem Gesamtjahr 2015 (soweit diese Daten bis zum 30.6.2016 verfügbar waren).

Das Niedrigwasser 2003 trat im Wesentlichen in den Monaten Juli bis September auf, wobei – wie beim Niedrigwasser 2015 – im August die niedrigste Wasserführung der Elbe zu beobachten war (vgl. <http://undine.bafg.de>). Um für den Vergleich übereinstimmende Verhältnisse in Bezug auf Jahreszeit und Ereignisdauer zu definieren, wird auch im Fall des Niedrigwassers 2003 der Zeitraum 20.7.-5.10. als Niedrigwasserzeitraum festgelegt.

Wenn nicht anders vermerkt, nehmen die Vergleiche zu Messwerten außerhalb des Messprogramms Extremereignisse nur auf Messwerte aus der Einzelbeobachtung (Intervallmessung) Bezug. Messwerte beim Niedrigwasser 2015, die den Höchstwert des Vergleichsjahres 2012 an der betreffenden Messstelle überschreiten, werden als „erhöht“ oder „auffällig“ bezeichnet. Zur Mittelwertberechnung von Messreihen wurden Messwerte unter der Bestimmungsgrenze mit der Hälfte des Wertes dieser Bestimmungsgrenze angenommen. Ein Mittelwert wurde nur ausgewiesen, wenn mindestens die Hälfte der Messwerte und der berechnete Mittelwert über der Bestimmungsgrenze lagen. Bei Elementen, deren Konzentration in unfiltrierten und filtrierten Proben bestimmt wurde, lag in Einzelfällen der Messwert der filtrierten geringfügig über dem Messwert der unfiltrierten Probe. In diesen Fällen wurde bei der Auswertung die Konzentration der unfiltrierten Probe auch für die filtrierte Probe zugrunde gelegt.



*Foto 2: Messstation Schmilka/Elbe am 13.8.2015
(© Staatliche Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft Sachsen)*



Die Frachten der Stoffe wurden durch Multiplikation ihrer Konzentration mit dem entsprechenden Tagesmittelwert des Durchflusses am Bezugspegel ermittelt. Die Konzentration des partikulären organischen Kohlenstoffs (POC) wurde durch Subtraktion der Konzentrationen des TOC und DOC ermittelt, woraus wie beschrieben POC-Tagesfrachten berechnet wurden. Die Frachtberechnung der Schwermetalle und des Arsens erfolgte ausschließlich mit den Messwerten der unfiltrierten Proben (Gesamtproben).

Die Elbe bei Magdeburg weist bekanntermaßen durch das noch nicht vollständig eingemischte Saalewasser signifikante Unterschiede im Gewässerchemismus auf der rechten und linken Seite des Querprofils auf (Details z. B. in WEIGOLD & BABOROWSKI 2009). Frachtberechnungen mit einem für das gesamte Querprofil erhobenen Durchflusswert dürfen daher nicht nur anhand der Stoffkonzentration auf einer Flussseite vorgenommen werden. Hier wurde der arithmetische Mittelwert der Konzentration am linken und rechten Ufer zur Frachtberechnung eingesetzt. Da für das rechte Elbeufer deutlich weniger Messwerte vorliegen und auch nur ein Teil der Kenngrößen des Messprogramms Extremereignisse gemessen wurden, war nur eine eingeschränkte Frachtberechnung möglich. Zur Kennzeichnung des Einbezugs der rechten Flussseite wird die Messstelle Magdeburg im Frachtkapitel als „Magdeburg Mitte“ bzw. „MDm“ bezeichnet.

Aufgrund der nur punktuellen Beprobung und den Unsicherheiten bei der Messung von Stoffkonzentration und Durchfluss haben die berechneten Frachten den Charakter von Schätzwerten.



3. Wasserbeschaffenheit

Einen Überblick über Kenngrößen, die beim Niedrigwasser 2015 an mehreren Messstellen auffällige Werte aufwiesen, gibt Tabelle 2. Neben Wassertemperatur, elektrischer Leitfähigkeit und Sauerstoffgehalt waren dies vor allem Hauptionen wie Kalium, Natrium, Chlorid, Sulfat sowie einzelne Schwermetalle, Arsen und Bor.

Tab. 2: Kenngrößen mit erhöhten Messwerten an mindestens drei Messstellen beim Niedrigwasser (20.7.-5.10.2015); x = Messwert ist größer als das Maximum der Einzelproben-Messwerte im Vergleichsjahr 2012 (Sauerstoffgehalt: kleiner als das Minimum 2012)

Gewässer	Elbe					Mulde	Saale	Havel
	SM	WB	MD	CU	SN	DE	RO	HV
Wassertemperatur	x	x		x	x	x	x	x
Elektrische Leitfähigkeit		x	x	x	x	x	x	
Sauerstoffgehalt	x	x	x				x	
Calcium		x	x		x	x		
Magnesium			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
Sulfat		x	x	x	x		x	
ortho-Phosphat-Phosphor		x	x	x	x			
Chrom (gesamt)		x	x		x		x	
Kupfer (filtriert)		x			x	x		
Nickel (filtriert)	x	x				x		
Arsen (gesamt)			x	x	x	x		x*
Arsen (filtriert)	x	x	x		x	x	x	x*
Bor (gesamt)			x			x		x*
Bor (filtriert)			x		x	x		x*

*: Vergleich zum Jahr 2012: Daten der Messstelle Toppel/Havel (Fluss-km 149,2; Land Sachsen-Anhalt)

3.1 Wassertemperatur, Sauerstoffgehalt, elektrische Leitfähigkeit

Zur Einordnung und Interpretation der im Niedrigwasserzeitraum auffälligen Kenngrößen Wassertemperatur, elektrische Leitfähigkeit und Sauerstoffgehalt standen für das gesamte Jahr 2015 kontinuierlich erhobene Messergebnisse aus der automatischen Überwachung (Sonden) an mehreren Messstationen der Binnenelbe zur Verfügung. In Tabelle 3 sind Extremwerte aus dieser Überwachung (nach Tagesmittelwerten) für die Niedrigwasserereignisse 2015 und 2003 und die Jahre 2015 und 2012 vergleichend gegenübergestellt. Als Ergänzung sind im Anhang 1 die absoluten Extremwerte (Momentanwerte) der betreffenden Kenngrößen zusammengestellt.

Die Wassertemperatur der Elbe erreichte an den Messstationen unterhalb von Schmilka bereits in der ersten Juliwoche 2015, also noch vor dem hier betrachteten Niedrigwasserzeitraum, die höchsten Werte. Die Wassertemperatur stieg an allen Stationen höher als im Jahr 2012 und auch höher als beim Niedrigwasser 2003. Im Juli 2015 wurden absolute Temperaturspitzen von 27-28 °C gemessen (Anhang 1). Bei Schmilka traten die höchsten Temperaturen des Elbewassers im Monat August auf. Dies war auch während des Niedrigwassers 2003 an allen Messstationen der Fall, wobei die Wassertemperaturen jedoch unter 27 °C blieben (Anhang 1).



Der niedrigste Tagesmittelwert des Sauerstoffgehalts der Elbe an einzelnen Messstationen während der Niedrigwasserperiode 2015 stellt in allen Fällen auch den niedrigsten Tagesmittelwert des Jahres dar und ist geringer als der niedrigste Tagesmittelwert des Jahres 2012 und des Niedrigwassers 2003. An den Messstationen von Zehren bis Schnackenburg blieb der Sauerstoffgehalt im Tagesmittel über 6,0 mg/l und als Minimum über 5,0 mg/l (Anhang 1). Das sauerstoffärmste Wasser wurde bei Schmilka ermittelt. Hier sank der Sauerstoffgehalt als Tagesmittelwert am 17. August auf 5,0 mg/l und als Momentanwert auf 4,7 mg/l (Anhang 1). Alle Messwerte des Sauerstoffgehalts lagen oberhalb des fischkritischen Bereichs (ca. 3 mg/l).

Die während des Niedrigwassers 2015 ermittelten höchsten Messwerte der elektrischen Leitfähigkeit des Elbewassers an den Messstationen von Schmilka bis Dommitzsch (484-530 $\mu\text{S}/\text{cm}$ im Tagesmittel) waren niedriger als Messwerte von Ende Oktober/Anfang November 2015 sowie niedriger als die Höchstwerte des Jahres 2012 und des Niedrigwassers 2003 (vgl. Anhang 1). Bei Cumlosen und Schnackenburg trat die höchste elektrische Leitfähigkeit des Elbewassers im Jahr 2015 während des Niedrigwassers im August auf. Die dortigen höchsten Messwerte (Cumlosen: 1489 $\mu\text{S}/\text{cm}$ Tagesmittel, 1518 $\mu\text{S}/\text{cm}$ absolut / Schnackenburg: 1678 $\mu\text{S}/\text{cm}$ Tagesmittel, 1697 $\mu\text{S}/\text{cm}$ absolut) übertreffen alle Werte des Jahres 2012 und des Niedrigwassers 2003 (vgl. Anhang 1).

Tab. 3: Höchster Tagesmittelwert der Wassertemperatur und der elektrischen Leitfähigkeit sowie niedrigster Tagesmittelwert des Sauerstoffgehalts der Elbe beim Niedrigwasser 2015 und 2003 (20.7.-5.10.) sowie in den Jahren 2015 und 2012 nach kontinuierlicher Messung; Niedrigwasser-Messwerte 2015 im **Fettdruck**, wenn sie den größten bzw. beim Sauerstoffgehalt den niedrigsten Messwert darstellen

Messstation		SM	ZE	DO	CU	SN
Wassertemperatur höchster Tagesmittelwert	Niedrigwasser 2015 Datum [°C]	13.8. 26,3	11.8./14.8. 26,3	{10.8}. {25,9}	7.8. 25,0	7.8. 25,1
	Jahr 2015 Datum [°C]	13.8. 26,3	5.7. 26,4	5.7. 26,9	5.7. 26,4	5.7. 26,5
	Jahr 2012 Datum [°C]	11.7. 23,3	{29.8}. {22,1}	5.7. 25,6	28.7. 24,4	28.7. 24,4
	Niedrigwasser 2003 Datum [°C]	4.-5.8./13.8. 25,1	{{4.8.}} {{25,9}}	{5.8.} {25,7}	{9.8.} {25,9}	9.8. 25,7
Sauerstoffgehalt niedrigster Tagesmittelwert	Niedrigwasser 2015 Datum [mg/l]	17.8. 5,0	18.8. 6,1	{24.7.} {6,1}	19.8. 6,4	19.8. 6,6
	Jahr 2015 Datum [mg/l]	17.8. 5,0	18.8. 6,1	24.7. 6,1	19.8. 6,4	19.8. 6,6
	Jahr 2012 Datum [mg/l]	8.7. 6,6	{1.9.} {7,8}	26.8. 7,2	14.7. 8,2	14.7. 9,0
	Niedrigwasser 2003 Datum [mg/l]	{28.7.} {7,4}	{{28.7.}} {{8,7}}	{29.7.} {10,2}	{15.8.} {7,6}	14.8. 10,1
Elektr. Leitfähigkeit höchster Tagesmittelwert	Niedrigwasser 2015 Datum [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	1.9. 484	7.8. 517	{8.-9.8.} {530}	21.8. 1489	21.8. 1678
	Jahr 2015 Datum [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	30.10. 515	5.11. 570	6.11. 575	21.8. 1489	21.8. 1678
	Jahr 2012 Datum [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	16.12. 526	{16.12.} {632}	{17.12.} {601}	2.6. 1380	5.6. 1340
	Niedrigwasser 2003 Datum [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	6.8. 517	{{18.9.}} {{560}}	{{5.8.}} {{575}}	{{24.8.}} {{1440}}	15.9. 1560
{...}	10-24 % Datenlücken (bei ZE große zusammenhängende Datenlücke vom 7.6.-28.8.2012)					
{{...}}	25-49 % Datenlücken					

Die Messergebnisse der Einzelbeprobung der Elbe gemäß Messprogramm Extremereignisse fügen sich mit einer Ausnahme in den aus Anhang 1 hervorgehenden Wertebereich ein: Für die Elbe bei Schmilka wurde am 1.9.2015 bei der Einzelbeprobung eine elektrische Leitfähigkeit



von 497 $\mu\text{S}/\text{cm}$ gemessen. Dieser Messwert übertrifft den im Anhang 1 nach der kontinuierlichen Messung ausgewiesenen Maximalwert der Niedrigwasserperiode 2015 (488 $\mu\text{S}/\text{cm}$) geringfügig. Beide Werte, deren Abweichung innerhalb der Messwerttoleranz liegt, wurden am selben Tag gemessen.

Aus Abbildung 3 ist der Verlauf des Sauerstoffgehalts und des täglichen Wassertemperaturmaximums der Elbe aus der kontinuierlichen Messung an den Stationen Zehren und Schnackenburg während des Niedrigwassers 2015 zu entnehmen. Das tägliche Wassertemperaturmaximum der Elbe nahm bei Zehren und Schnackenburg einen grundsätzlich ähnlichen Verlauf, wobei bei Zehren in der Regel etwas höhere Wassertemperaturen gemessen wurden. Die höchsten Wassertemperaturen im Niedrigwasserzeitraum traten in der zweiten Augustwoche auf und überschritten bei Zehren zu dieser Zeit fast täglich 27 °C. Der Sauerstoffgehalt bei Zehren zeigte nur sehr geringe Tagesschwankungen und blieb vom 20. Juli bis Ende September zwischen ca. 6-9 mg/l. Die geringsten Sauerstoffwerte traten bei Zehren und Schnackenburg zu Beginn des kurzzeitigen Anstiegs der Wasserführung in der zweiten Augushälfte auf. In der Elbe bei Schnackenburg war der Sauerstoffgehalt bis Mitte September höher als in Zehren und unterlag auch größeren täglichen Schwankungen (Sauerstoffspitzenwerte bis über 18 mg/l).

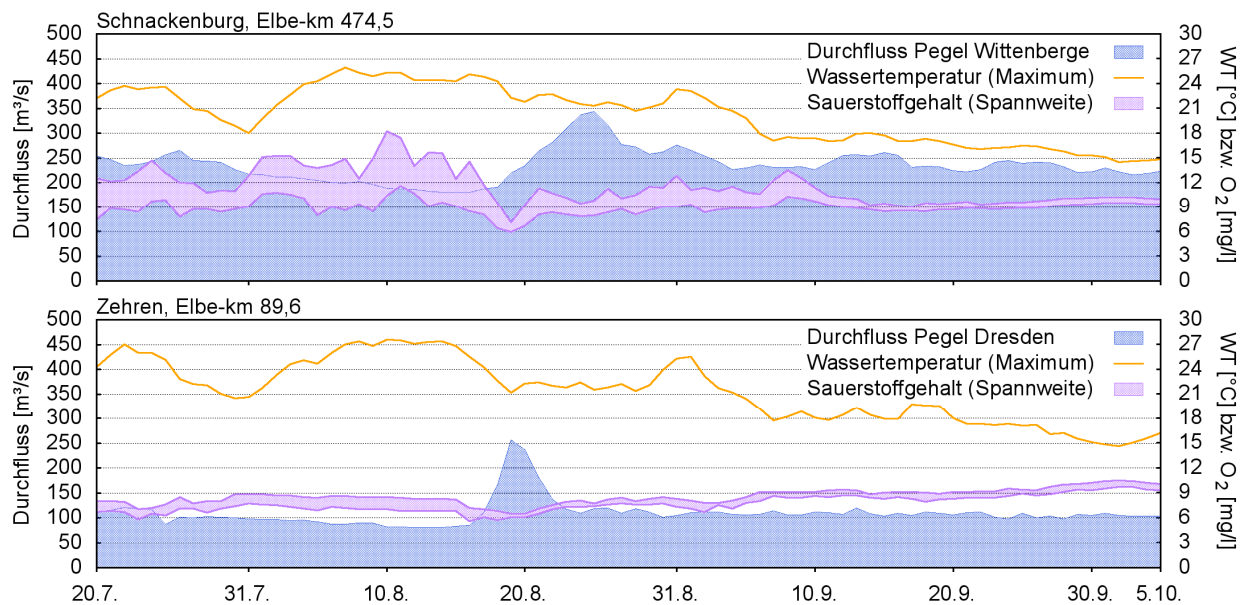


Abb. 3: Sauerstoffgehalt (tägliche Spannweite) und Wassertemperatur (WT; tägliches Maximum) der Elbe aus kontinuierlicher Messung an den Messstationen Zehren und Schnackenburg im Vergleich zum Durchfluss (Tagesmittelwerte) während des Niedrigwassers 2015

3.2 Abfiltrierbare Stoffe, Nährstoffe, Chlorophyll a

Die Konzentration abfiltrierbarer Stoffe der Elbe blieb im Niedrigwasserzeitraum 2015 an den Messstellen Schmilka und Wittenberg unter 10 mg/l, bei Magdeburg unter 20 mg/l und bei Cumlosen unter 30 mg/l (Abb. 4). Die dortigen durchschnittlichen und höchsten Konzentrationen waren geringer als im Jahr 2012. Bei Schnackenburg übertraf die Konzentration abfiltrierbarer Stoffe dagegen am 3.8.2015 mit 52 mg/l das Maximum des Jahres 2012 und lag auch durchschnittlich über dem Mittelwert dieses Vergleichsjahres. Die Konzentration abfiltrierbarer Stoffe erreichte im Wasser der Havel während des Niedrigwassers 2015 maximal 9,3 mg/l, überschritt aber den dortigen Höchstwert des Jahres 2012 (7,3 mg/l) im August dreimal. In der Mulde und Saale war die Konzentration abfiltrierbarer Stoffe beim Niedrigwasser dagegen geringer als im Jahr 2012.



Während des Niedrigwassers 2015 war die Konzentration abfiltrierbarer Stoffe der Elbe und ihrer Hauptzuflüsse an allen Messstellen deutlich geringer als beim Niedrigwasser 2003 (Abb. 4). Als wesentlicher Grund dafür ist eine stärkere Algenentwicklung im Jahr 2003 anzusehen, die aus den erheblich höheren Konzentrationen des Chlorophyll a beim Niedrigwasser 2003 abgeleitet werden kann (Abb. 5).

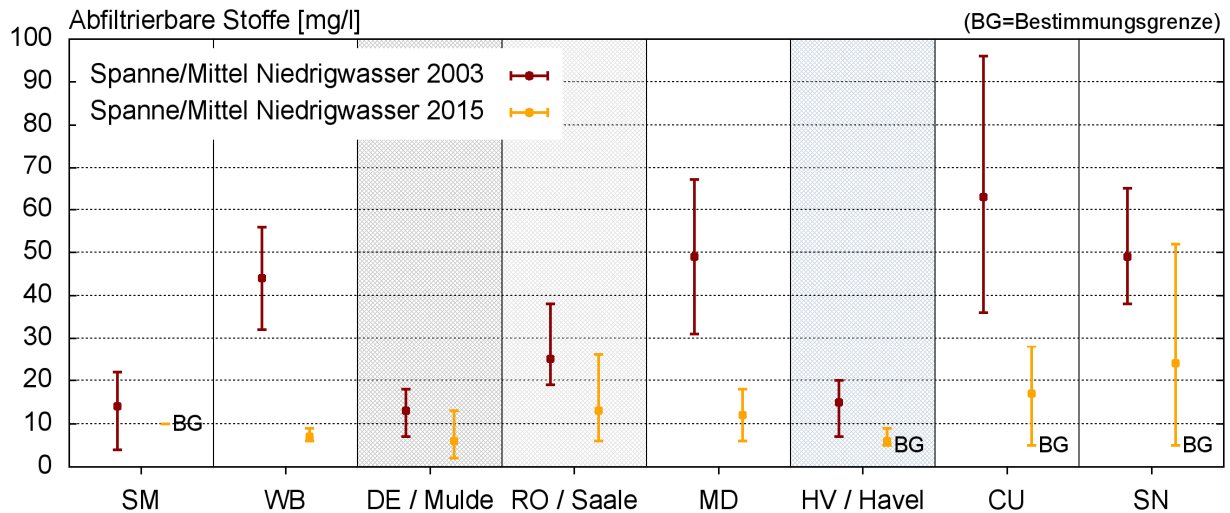


Abb. 4: Konzentration abfiltrierbarer Stoffe in Elbe, Mulde, Saale und Havel beim Niedrigwasser 2015 ($n = 6$; DE: $n = 4$) im Vergleich zum Niedrigwasser 2003 ($n = 6$; SM: $n = 11$) im Zeitraum 20.7.-5.10.

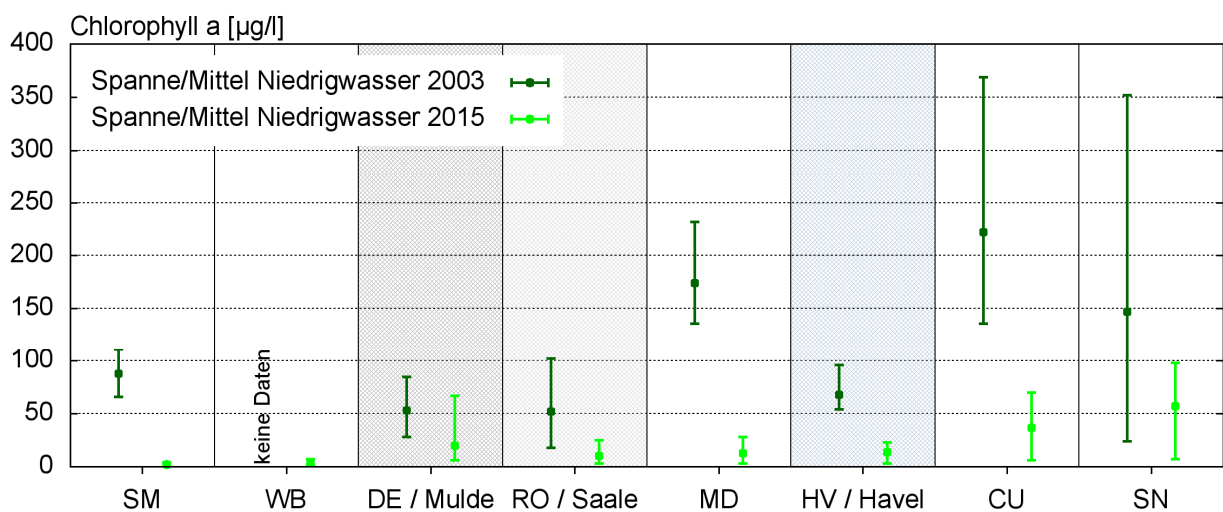


Abb. 5: Konzentration von Chlorophyll a in Elbe, Mulde, Saale und Havel beim Niedrigwasser 2015 ($n = 6$; HV: $n = 4$) im Vergleich zum Niedrigwasser 2003 ($n = 3 - 6$) im Zeitraum 20.7.-5.10.

Die Konzentration des Chlorophyll a war während des Niedrigwassers 2015 auch gegenüber dem Vergleichsjahr 2012 in der Elbe und der Saale auffällig gering, selbst wenn im Jahr 2012 nur der Zeitraum von Juli bis Oktober betrachtet wird (Anhang A2). Lediglich in der Havel war die Konzentration des Chlorophyll a beim Niedrigwasser 2015 verglichen mit den aktuellen Verhältnissen des Gewässers relativ hoch und überschritt mit $23 \mu\text{g/l}$ bzw. $20 \mu\text{g/l}$ im August zweimal den Jahreshöchstwert 2012 ($14 \mu\text{g/l}$). Die somit anzunehmende stärkere Algenentwicklung dürfte auch die gegenüber dem Jahr 2012 festgestellte höhere Konzentration abfiltrierbarer Stoffe in der Havel während der Niedrigwasserperiode 2015 erklären.



Zu den Nährstoffverhältnissen im Wasser der Elbe und ihren Hauptzuflüssen beim Niedrigwasser 2015 ist festzustellen, dass hinsichtlich der gemessenen Stickstoffverbindungen keine auffällig erhöhten Konzentrationen ermittelt wurden. Daher wird auf Stickstoff hier kein weiterer Bezug genommen.

In der Havel bei Havelberg wurden an vier aufeinanderfolgenden Terminen im August/September 2015 relativ hohe Konzentrationen von Gesamtphosphor gemessen (0,16-0,21 mg/l), die den dortigen Höchstwert des Jahres 2012 (0,15 mg/l) übertreffen. Beim Niedrigwasser 2003 (20.7.-5.10.) erreichte die höchste Konzentration an dieser Messstelle 0,44 mg/l Gesamtphosphor. An der Elbe, Mulde und Saale bewegten sich die Gesamtphosphor-Konzentrationen während des Niedrigwassers 2015 innerhalb der Spannweite des Vergleichsjahres 2012, lediglich in der Elbe bei Schnackenburg wurde am 1.9. mit 0,19 mg/l ein etwas höherer Gesamtphosphor-Messwert als im Jahr 2012 ermittelt. Während des Niedrigwassers 2003 traten bei Schnackenburg mehrfach Gesamtphosphor-Konzentrationen über 0,20 mg/l auf.

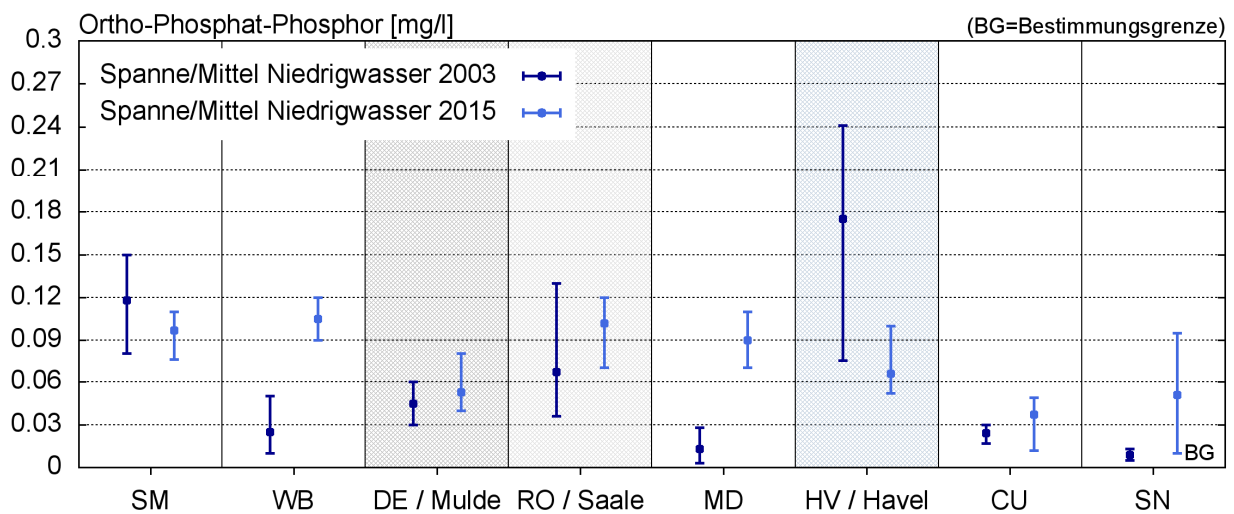


Abb. 6: Konzentration von ortho-Phosphat-Phosphor in Elbe, Mulde, Saale und Havel beim Niedrigwasser 2015 (n = 6; DE: n = 4) im Vergleich zum Niedrigwasser 2003 (n = 6; SM: n = 11) jeweils im Zeitraum 20.7.-5.10.

An den Messstellen der Elbe bei Wittenberg, Magdeburg, Cumlosen und Schnackenburg war die Konzentration des ortho-Phosphat-Phosphors beim Niedrigwasser 2015 zeitweilig höher als der maximale Messwert im Jahr 2012. Spannweite und Mittelwerte der Konzentration des ortho-Phosphat-Phosphors an allen Messstellen sind in Abb. 6 vergleichend zum Niedrigwasser 2003 dargestellt. In der Elbe, mit Ausnahme der Messstelle Schmilka, sowie in der Mulde und im Durchschnitt auch in der Saale war die Konzentration des ortho-Phosphat-Phosphors beim Niedrigwasser 2015 höher als 2003, an der Havel bei Havelberg dagegen deutlich niedriger. Den relativ hohen Konzentrationen des ortho-Phosphat-Phosphors in der Elbe stehen - wie aufgezeigt - auffällig niedrige Konzentrationen des Chlorophyll a gegenüber. Offensichtlich stellt die geringe Algenentwicklung beim Niedrigwasser 2015 den wesentlichen Grund für die relativ hohen Konzentrationen des „Algennährstoffs“ ortho-Phosphat-Phosphor dar. Die gegenläufige Entwicklung der Konzentration von ortho-Phosphat-Phosphor und Chlorophyll a in der Elbe wird auch bei der exemplarischen Gegenüberstellung der Messergebnisse am 17.8.2015 deutlich (Abb. 7). An diesem Tag wurden bei Cumlosen und Schnackenburg die niedrigsten Konzentrationen des ortho-Phosphat-Phosphors und die höchsten Konzentrationen des Chlorophyll a im Niedrigwasserzeitraum 2015 gemessen.

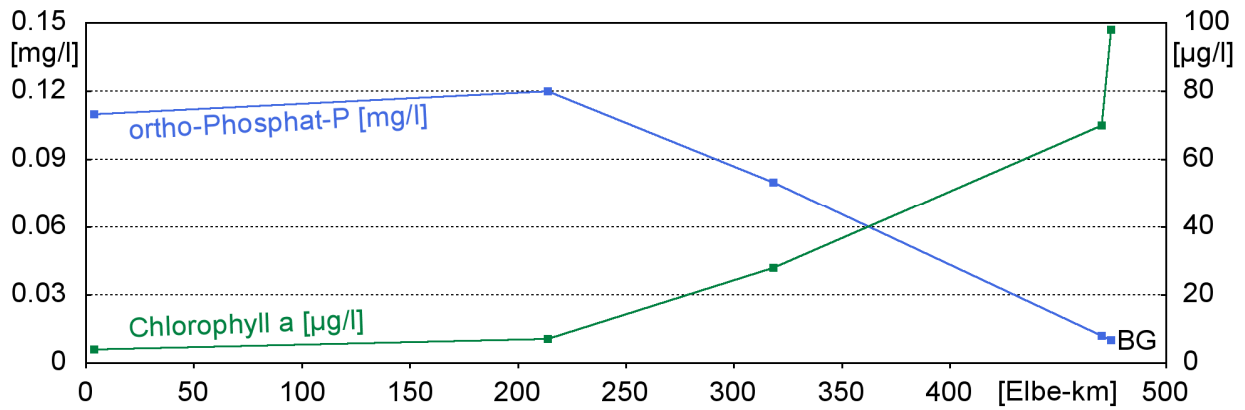


Abb. 7: Konzentration von ortho-Phosphat-Phosphor und Chlorophyll a im Längsverlauf der Elbe von Schmilka bis Schnackenburg am 17.8.2015 (BG = Bestimmungsgrenze)

3.3 Salzbelastung

Wie aus Tabelle 2 hervorgeht, war die Konzentration von Chlorid und Sulfat während der Niedrigwasserperiode an den meisten Messstellen erhöht. In der Elbe blieb die Konzentration dieser Ionen nur bei Schmilka in der Spannweite der Messwerte von 2012. In der Elbe bei Magdeburg wurde der Höchstwert der Chloridkonzentration des Jahres 2012 (351 mg/l) mehrfach um 140-150 mg/l übertroffen (20.7., 17.8., 5.10.). Hier, wie auch in der Elbe bei Wittenberg und Schnackenburg, waren die Mittelwerte der Chlorid- und Sulfatkonzentration beim Niedrigwasser 2015 höher als die maximale Konzentration im Jahr 2012.

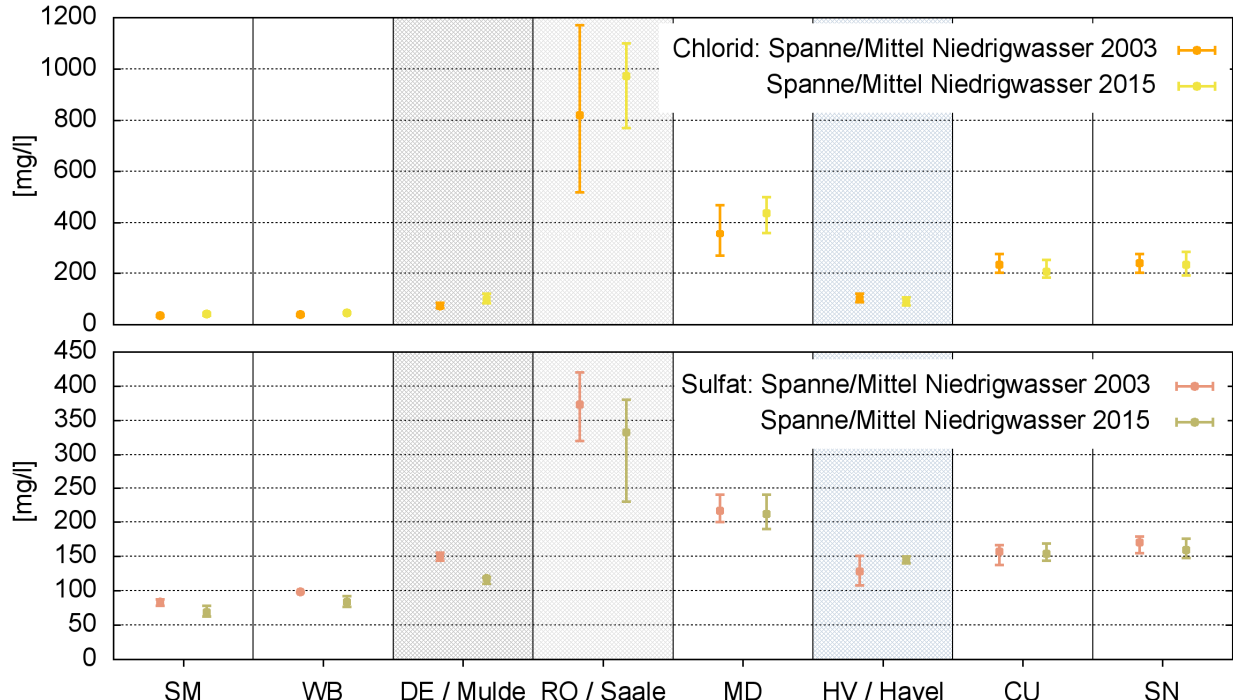


Abb. 8: Konzentration von Chlorid und Sulfat in Elbe, Mulde, Saale und Havel beim Niedrigwasser 2015 ($n = 6$; DE: $n = 4$) im Vergleich zum Niedrigwasser 2003 ($n = 3$; SM: $n = 11$; HV, CU, SN: $n = 6$) im Zeitraum 20.7.-5.10.



Für den Vergleich mit dem Niedrigwasser 2003 (Abb. 8) liegen teilweise nur drei Messergebnisse vor. Es deutet sich an, dass sich die Salzbelastung beim Niedrigwasser 2015 – gemessen an der Chlorid- und Sulfatkonzentration – ähnlich darstellte wie beim Niedrigwasser 2003. Konzentrationsspitzen des Chlorids in Einzelproben, wie sie beim Niedrigwasser 2015 an der Messstelle der Elbe bei Magdeburg auftraten (490 mg/l am 20.7. und 17.8.; 500 mg/l am 5.10.), wurden dort seit dem Jahr 1991 nicht mehr erreicht (FGG ELBE 2016). Auch die Chloridkonzentration der Elbe bei Schnackenburg von 283 mg/l am 17.8.2015 stellt für diese Messstelle den Höchstwert einer Einzelprobe seit dem Jahr 1991 dar.

3.4 Schwermetalle, Arsen, Bor

Wie in Anhang A3 dargestellt, war der Anteil der gelösten Fraktion (Konzentration in der filtrierten Probe) der einzelnen Schwermetalle und von Arsen an der Konzentration in der Gesamtprobe während des Niedrigwassers 2015 in der Regel größer als im Vergleichsjahr 2012. Dieses Ergebnis ist auf die im Niedrigwasserzeitraum gegenüber dem Jahr 2012 meist geringere Konzentration abfiltrierbarer Stoffe (Pkt. 3.2) und die Aufkonzentration der gelösten Stoffe infolge der geringen Wasserführung zurückzuführen.

Während des Niedrigwassers 2015 wurden Chrom (in Gesamtproben), Kupfer und Nickel (jeweils in filtrierten Proben) sowie Arsen (in Gesamt- und filtrierten Proben) an mehreren Messstellen in erhöhten Konzentrationen nachgewiesen (Tab. 2). In den Abbildungen 9 bis 12 wird die Konzentration dieser Elemente beim Niedrigwasser mit der Konzentration im Jahr 2012 verglichen. Entsprechende Grafiken für die weiteren untersuchten Schwermetalle befinden sich im Anhang A4.

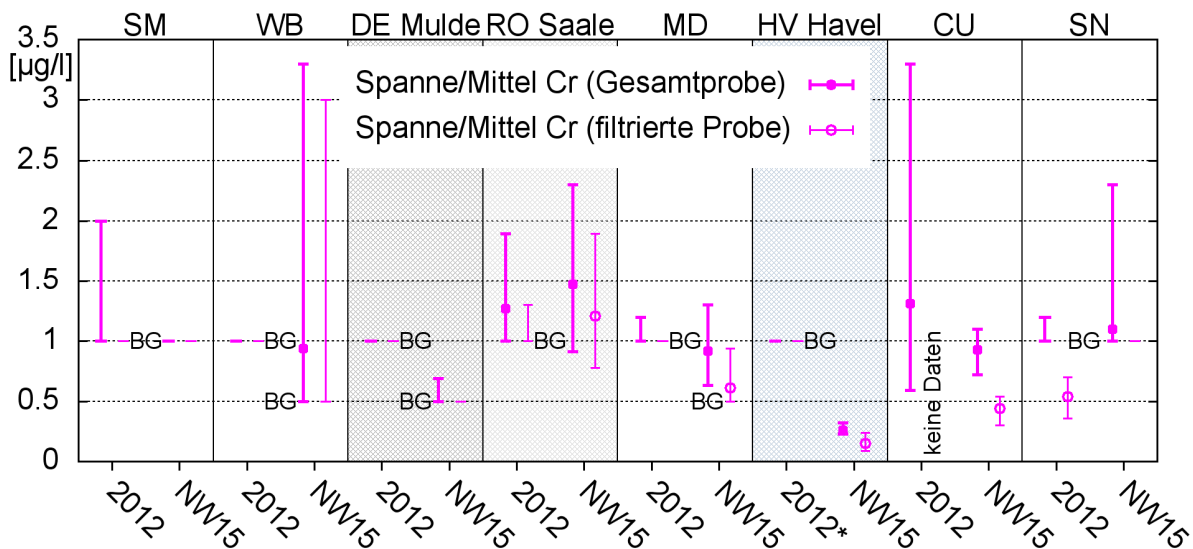


Abb. 9: Spannweite und Mittelwert der Chromkonzentration in Gesamt- und filtrierten Proben der Elbe, Mulde, Saale und Havel im Jahr 2012 (n = 11-12) und beim Niedrigwasser 20.7.-5.10.2015 (NW15) (n = 6; DE, HV: n = 4); *: Messstelle Toppel/Havel; BG = Bestimmungsgrenze (wenn > 50 % der Messungen < BG: keine Mittelwertberechnung)

Bei der Niedrigwasserbeprobung am 20.7.2015 wurden erhöhte Chromkonzentrationen in der Gesamt- und der filtrierten Probe der Elbe bei Wittenberg (Gesamtprobe 3,3 µg/l Cr) sowie der Saale festgestellt (Gesamtprobe 2,3 µg/l Cr) (Abb. 9). Die vorgenannte Chromkonzentration bei Wittenberg liegt deutlich über den Messwerten der letzten Jahre, inklusive des Hochwassers 2013 (FGG ELBE 2016). Alle nachfolgenden Niedrigwasser-Messwerte dieser Probestelle sind



jedoch erheblich niedriger. Auch die Konzentrationsspitze der Gesamtproben der Elbe bei Magdeburg fällt auf den 20.7., übertrifft mit $1,3 \mu\text{g/l}$ Cr den Höchstwert des Jahres 2012 aber nur geringfügig. Während in den Gesamtproben der Elbe bei Cumlosen deutlich niedrigere Chromkonzentrationen gemessen wurden als 2012, enthielten die Gesamtproben der Elbe bei Schnackenburg am 3. und 17. August erhöhte Konzentrationen ($1,4$ bzw. $2,3 \mu\text{g/l}$ Cr).

Die Kupferkonzentration in den Gesamtproben blieb an den einzelnen Messstellen während des Niedrigwassers 2015 mit Ausnahme der Elbe bei Schnackenburg (dort bis $6,7 \mu\text{g/l}$ Cu am 14.9.) unter der Höchstkonzentration des Jahres 2012 und war durchschnittlich auch nur bei Cumlosen und Schnackenburg höher als im Vergleichsjahr (Abb. 10). Die filtrierte Proben der Elbe bei Wittenberg und der Mulde wiesen nur geringfügig höhere Kupferkonzentrationen als im Jahr 2012 auf. In der Elbe bei Schnackenburg war die Konzentration in den filtrierte Proben während des Niedrigwassers deutlich höher (bis $5,3 \mu\text{g/l}$ Cu am 14.9.).

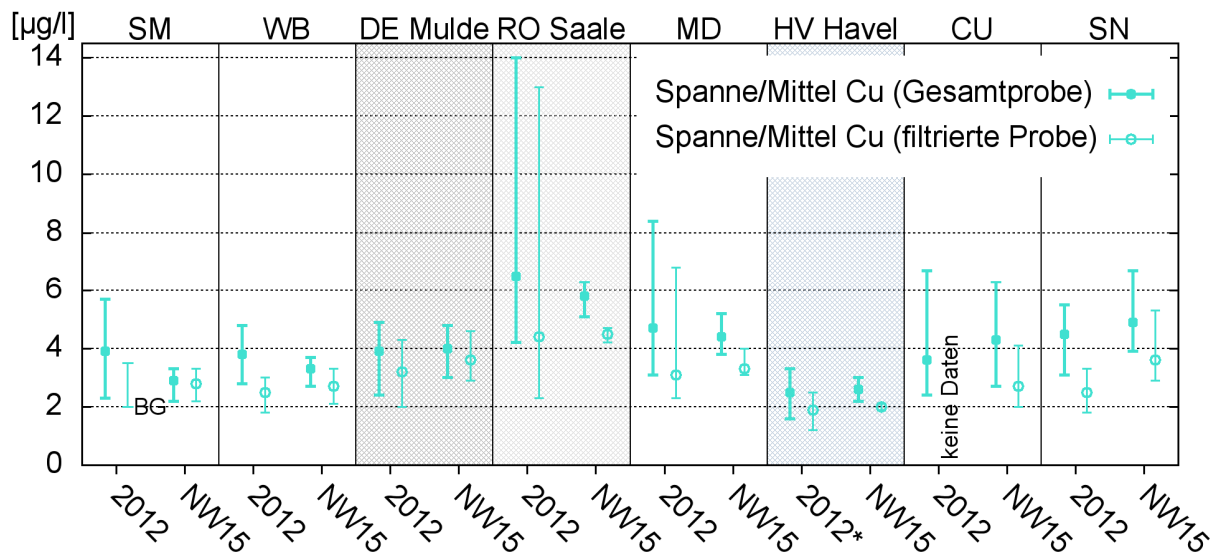


Abb. 10: Spannweite und Mittelwert der Kupferkonzentration in Gesamt- und filtrierte Proben der Elbe, Mulde, Saale und Havel im Jahr 2012 ($n = 11-12$) und beim Niedrigwasser 20.7.-5.10.2015 (NW15) ($n = 6$; DE, HV: $n = 4$); *: Messstelle Toppel/Havel; BG = Bestimmungsgrenze

Die Nickelkonzentration in den Gesamtproben des Niedrigwassers 2015 übertraf im Fall der Mulde ($5,2 \mu\text{g/l}$ Ni am 17.8) und der Elbe bei Schnackenburg ($3,6 \mu\text{g/l}$ Ni am 17.8.) die Höchstkonzentration des Jahres 2012 geringfügig (Abb. 11). In den filtrierte Proben wurden erhöhte Nickelkonzentrationen in der Elbe bei Schmilka (z. B. $3,0 \mu\text{g/l}$ Ni am 20.7.) und Wittenberg (z. B. $3,2 \mu\text{g/l}$ Ni am 17.8.) sowie in der Mulde ($4,6 \mu\text{g/l}$ Ni am 17.8.) nachgewiesen.

Wie Abbildung 12 zeigt, war die Arsenkonzentration der filtrierte Proben während des Niedrigwassers 2015 – soweit Vergleichswerte vorlagen – an allen Messstellen mit Ausnahme der Elbe bei Schnackenburg und der Mulde geringfügig erhöht. Die Arsenkonzentration der Gesamtproben übertraf in der Elbe bei Magdeburg ($4,0 \mu\text{g/l}$ As am 1.9.) und Schnackenburg (z. B. $3,8 \mu\text{g/l}$ As am 3.8.) den jeweiligen Höchstwert des Jahres 2012 und lag dort auch im Durchschnitt höher. Die während des Niedrigwassers 2015 gemessenen Konzentrationsspitzen in der Mulde bei Dessau (Gesamtprobe: $16 \mu\text{g/l}$ As am 17.8.; filtrierte Probe: $14 \mu\text{g/l}$ As am 17.8 und 1.9.) übertreffen nach FGG ELBE (2016) alle Messwerte von Einzelproben bei regulären Intervallmessungen an dieser Messstelle seit 2004 (unfiltrierte Proben) bzw. 2010 (Beginn der Datenreihe filtrierte Proben). Beim Hochwasser 2013 wurden in den Gesamtproben bis $30 \mu\text{g/l}$



As in der Mulde bei Dessau ermittelt, in den filtrierten Proben maximal 11 $\mu\text{g/l}$ As (FGG ELBE 2016).

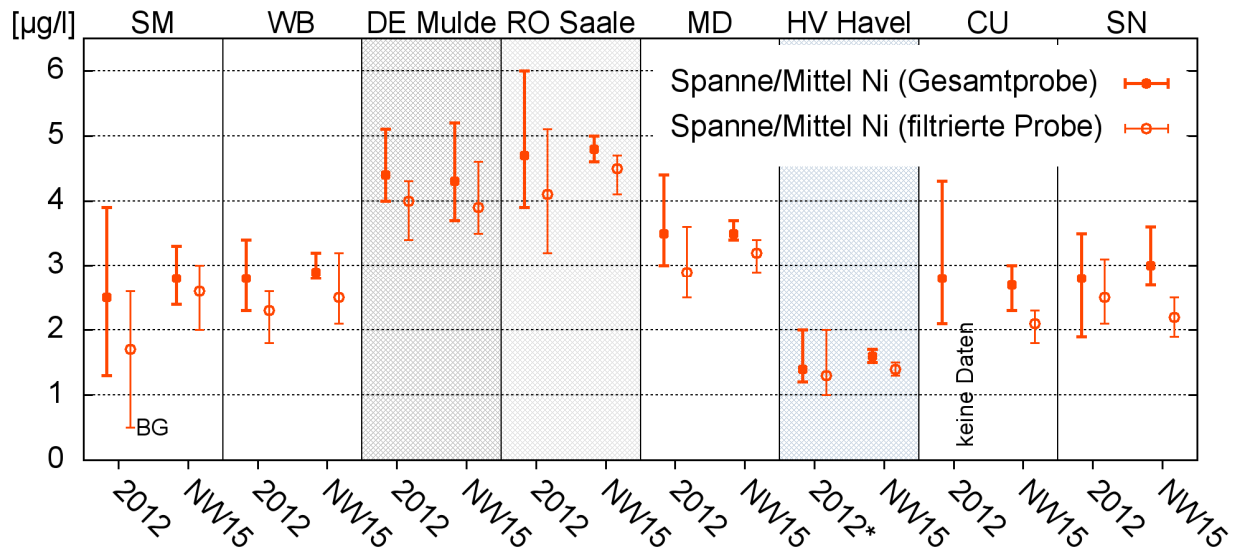


Abb. 11: Spannweite und Mittelwert der Nickelkonzentration in Gesamt- und filtrierten Proben der Elbe, Mulde, Saale und Havel im Jahr 2012 ($n = 11-12$) und beim Niedrigwasser 20.7.-5.10.2015 (NW15) ($n = 6$; DE, HV: $n = 4$); *: Messstelle Toppel/Havel; BG = Bestimmungsgrenze

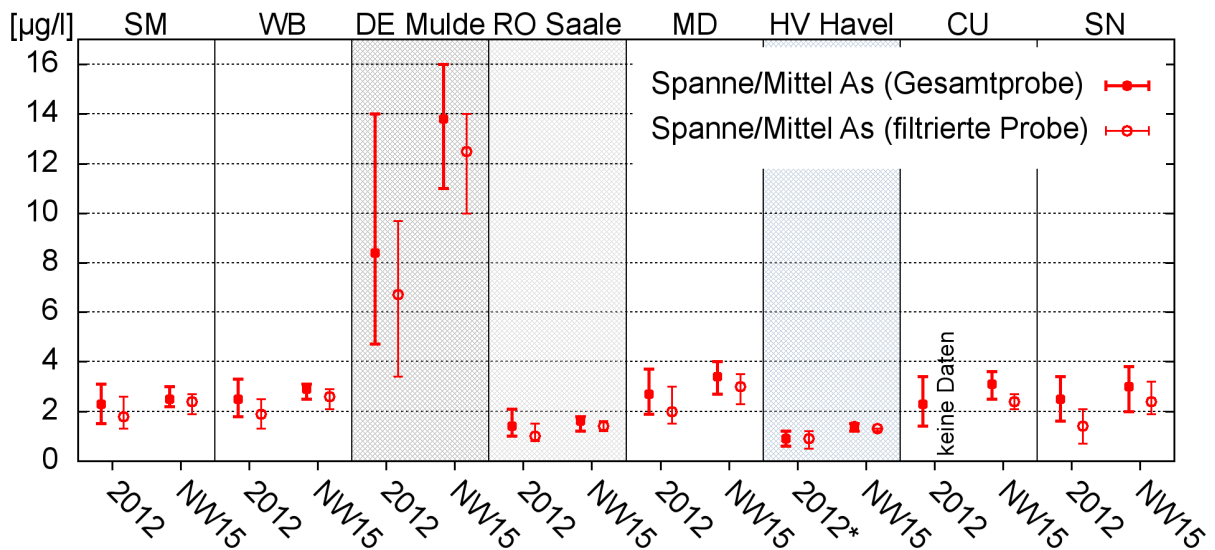


Abb. 12: Spannweite und Mittelwert der Arsenkonzentration in Gesamt- und filtrierten Proben der Elbe, Mulde, Saale und Havel im Jahr 2012 ($n = 11-12$) und beim Niedrigwasser 20.7.-5.10.2015 (NW15) ($n = 6$; DE, HV: $n = 4$); *: Messstelle Toppel/Havel

Die Messwerte für Blei in den Gesamtproben lagen beim Niedrigwasser 2015 mit Ausnahme der Havel an allen Messstellen durchschnittlich niedriger als im Jahr 2012. Die Höchstkonzentration des Jahres 2012 wurde an keiner Messstelle erreicht (Anhang A4-1). Die filtrierten Proben wiesen sowohl im Jahr 2012 als auch beim Niedrigwasser 2015 eine unter oder nur geringfügig über der Bestimmungsgrenze befindliche Bleikonzentration auf.



Die Cadmiumkonzentration war während des Niedrigwassers sowohl in den Gesamt- als auch in den filtrierten Proben niedriger als 2012 oder auf gleichem Niveau (Anhang A4-2), nur in der Saale bei Rosenberg übertraf die Konzentration des gelösten Cadmiums ($0,38 \mu\text{g/l Cd}$ am 17.8.) den Höchstwert des Jahres 2012. Die Konzentrationsspitze in den Gesamtproben der Saale war jedoch deutlich niedriger als 2012.

Da Cadmium und insbesondere Blei im Gewässer zu sehr hohen Anteilen feststoffgebunden vorliegen, korrespondieren die niedrigen Konzentrationen dieser beiden Schwermetalle in der Niedrigwasserperiode 2015 gut mit der relativ niedrigen Konzentration abfiltrierbarer Stoffe (Pkt. 3.2).

Die Konzentration von Uran überschritt im Niedrigwasserzeitraum in der Mulde (bis $4,4 \mu\text{g/l U}$ in filtrierten und Gesamtproben) sowie in der Elbe bei Magdeburg (bis $2,4 \mu\text{g/l U}$ in filtrierten und Gesamtproben) die Höchstwerte des Jahres 2012. Auch im Durchschnitt lag die Urankonzentration an diesen Messstellen im Gegensatz zu den übrigen deutlich höher als im Jahr 2012 (Anhang A4-3). Die Höchstkonzentration von Uran beim Niedrigwasser 2015 in der Elbe bei Magdeburg liegt innerhalb der Spannweite der Jahre 2011, 2013 und 2014. Dagegen stellt die Konzentration des am 17.8.2015 offensichtlich vollständig gelöst vorliegenden Urans von $4,4 \mu\text{g/l}$ in der Mulde bei Dessau einen Spitzenwert dar. Der Wert ist höher als alle bisherigen Einzelproben-Messwerte an dieser Messstelle nach FGG ELBE (2016), inklusive der Messungen beim Hochwasser 2013 (Maximum 2010-2014: $3,4 \mu\text{g/l U}$ in filtrierter und Gesamtprobe).

Quecksilber wurde an der Elbe-Messstelle Schnackenburg am 17.8.2015 in der Gesamtprobe ($0,075 \mu\text{g/l Hg}$) und in der filtrierten Probe ($0,037 \mu\text{g/l Hg}$) in erhöhter Konzentration nachgewiesen (Anhang A4-3). Die Konzentrationsspitze der Gesamtproben war damit so hoch wie beim Hochwasser 2013 ($0,076 \mu\text{g/l Hg}$). Ansonsten wurden Quecksilberkonzentrationen in dieser Höhe seit dem Jahr 2010 in Schnackenburg nicht mehr gemessen. Vor dem Hintergrund, dass alle in FGG ELBE (2016) gelisteten Messwerte der Quecksilberkonzentration in filtrierten Einzelproben an der Messstelle Schnackenburg (Jahre 2007-2014) unter der Bestimmungsgrenze ($0,01 \mu\text{g/l Hg}$) liegen, ist auch die am 17.8.2015 ermittelte Konzentration des gelösten Quecksilbers bemerkenswert. In der Havel bei Havelberg wurde einmalig eine erhöhte Quecksilberkonzentration ermittelt (Gesamtprobe vom 28.9.2015: $0,03 \mu\text{g/l Hg}$), die an der Vergleichsmessstelle Toppel/Havel seit 2010 nicht mehr erreicht wurde (FGG ELBE 2016). An den Elbemessstellen Schmilka und Wittenberg sowie an Mulde und Saale war die Quecksilberkonzentration während des Niedrigwassers 2015 geringer als im Jahr 2012 und lag an der Elbe bei Magdeburg auf gleichem Niveau.

Die Zinkkonzentration war während der Niedrigwasserphase unauffällig und durchschnittlich meist niedriger als im Jahr 2012 (Anhang A4-5). Lediglich an der Saale traten in den filtrierten Proben relativ hohe Konzentrationen (bis $120 \mu\text{g/l Zn}$ am 17.8. und 5.10.) auf, die den Höchstwert des Jahres 2012 erreichen. Die Zinkkonzentration der Gesamtproben aus der Saale schwankte nur gering und entsprach im Durchschnitt etwa dem Mittelwert des Jahres 2012.

Der Vergleich der Belastung durch Schwermetalle und Arsen beim Niedrigwasser 2015 mit dem Niedrigwasserereignis 2003, wie er in Tabelle 4 vorgenommen wurde, ist durch die unterschiedliche Beprobungshäufigkeit nur eingeschränkt möglich. Dennoch kommt – mit Ausnahme der Elbe bei Schnackenburg – die geringere Belastung im Jahr 2015 deutlich zum Ausdruck. Bei Schnackenburg traten während des Niedrigwassers 2015 bei fünf Elementen (Cd, Cr, Cu, Hg, As) höhere ($> 25 \%$) maximale Konzentrationen als beim Niedrigwasser 2003 auf, in drei Fällen (Pb, Ni, Zn) waren die Höchstwerte beider Ereignisse nahezu gleich.



Tab. 4: Maximale Konzentration [$\mu\text{g/l}$] von Schwermetallen und Arsen beim Niedrigwasser (NW) 2015 (Gesamtprobe; $n = 6$, DE, HV: $n = 4$) und NW 2003 ($n = 3$, SM: $n = 11$), jeweils im Zeitraum 20. Juli bis 5. Oktober; höhere Konzentrationen ($> 25\%$) beim NW 2015 im **Fettdruck**

Gewässer		Elbe					Mulde	Saale	Havel
Messstelle		SM	WB	MD	CU	SN	DE	RO	HV*
Blei	NW 2015	1,1	0,8	3,4	2,2	2,9	2,1	6,1	0,9
	NW 2003	1,8	1,7	4,5	5,1	2,8	2,3	13,0	2,1
Cadmium	NW 2015	< 0,03	0,06	0,24	0,17	0,33	0,28	0,43	0,02
	NW 2003	0,10	0,16	0,26	0,31	0,22	0,40	0,66	< 0,05
Chrom	NW 2015	< 1,0	3,3	1,3	1,1	2,3	0,7	2,3	0,3
	NW 2003	1,9	1,4	1,7	1,9	1,6	0,9	3,8	< 0,5
Kupfer	NW 2015	3,3	3,7	5,2	6,3	6,7	4,8	6,3	3,0
	NW 2003	5,8	4,4	5,9	12,0	4,3	5,3	12,0	2,5
Nickel	NW 2015	3,3	3,2	3,7	3,0	3,6	5,2	5,0	1,7
	NW 2003	6,0	3,1	4,6	3,9	3,5	11,0	7,1	2,3
Quecksilber	NW 2015	0,030	< 0,010	0,048	0,045	0,075	0,014	0,051	0,025
	NW 2003	0,070	0,025	0,150	0,120	0,020	0,021	0,190	0,020
Uran	NW 2015	1,1	1,2	2,4	1,3	1,7	4,4	3,2	0,5
	NW 2003	1,4	keine Daten				keine Daten		
Zink	NW 2015	11	24	62	32	37	25	130	11
	NW 2003	50	43	79	54	39	44	230	14
Arsen	NW 2015	3,0	3,1	4,0	3,6	3,8	16	1,8	1,5
	NW 2003	4,1	3,7	4,3	3,6	2,8	20,0	1,5	2,4

* NW 2003: Messstelle Toppel/Havel

Das Halbmetall Bor lag während des Niedrigwassers fast völlig in gelöster Form vor. Die Konzentrationen waren durchschnittlich höher als im Jahr 2012, insbesondere in der Elbe bei Magdeburg sowie in der Mulde bei Dessau und der Havel bei Havelberg (Abb. 13). An diesen drei Messstellen wurden auch die Höchstwerte des Jahres 2012 deutlich überschritten. In der Saale bei Rosenberg traten beim Niedrigwasser 2015 wie auch im Jahr 2012 die höchsten Bor-konzentrationen auf, die Konzentrationsspitzen des Jahres 2012 wurden jedoch nicht erreicht. Für einen Vergleich mit dem Niedrigwasserereignis 2003 fehlt die Datengrundlage.

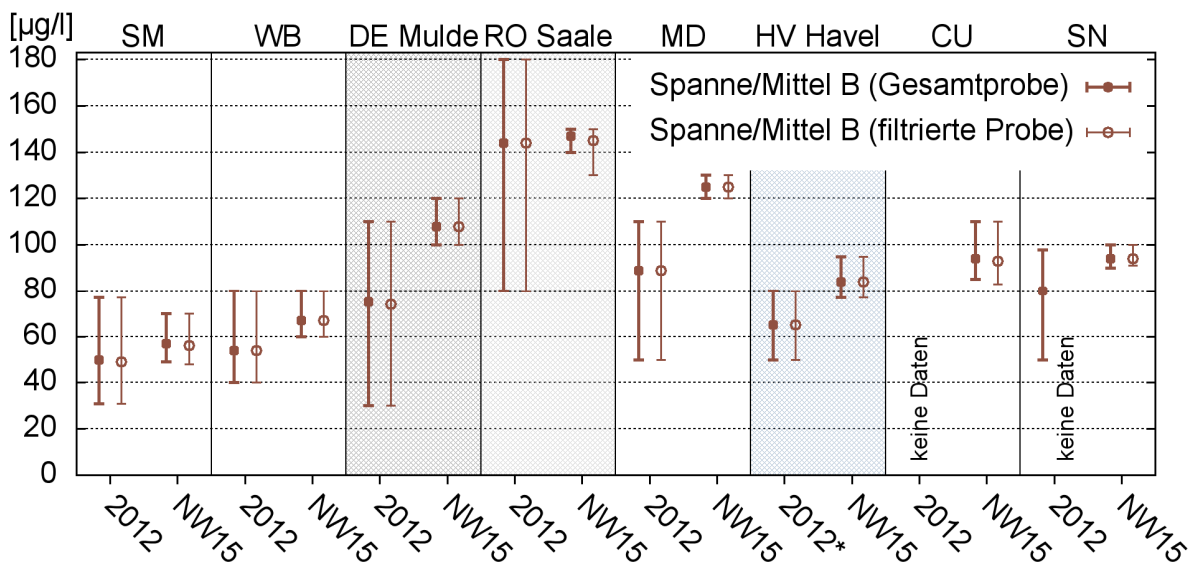


Abb. 13: Spannweite und Mittelwert der Borkonzentration in Gesamt- und filtrierten Proben der Elbe, Mulde, Saale und Havel im Jahr 2012 ($n = 11-12$) und beim Niedrigwasser 20.7.-5.10.2015 (NW15) ($n = 6$; DE, HV: $n = 4$); *: Messstelle Toppel/Havel



3.5 Organische Spurenstoffe

Die untersuchten Isomere des Hexachlorcyclohexans (α -, β -, γ -, δ -HCH) (gemäß Messprogramm Extremereignisse an den Messstellen Cumlosen/Elbe und Havelberg/Havel nicht gemessen) wiesen während des Niedrigwassers 2015 vereinzelt erhöhte Konzentrationen auf, wobei nur zu den Elbe-Messstellen Schmilka, Magdeburg und Schnackenburg sowie zur Mulde-Messstelle bei Dessau Vergleichsdaten aus dem Jahr 2012 zur Verfügung standen (FGG ELBE 2016). Die höchsten gemessenen Konzentrationen an den einzelnen Messstellen sind in Tabelle 5 im Vergleich zum Niedrigwasser 2003 zusammengestellt.

Die Konzentration des α -HCH lag beim Niedrigwasser mit Ausnahme der Mulde und einem Messwert der Elbe bei Schnackenburg (2 ng/l α -HCH am 17.8.) unterhalb der Bestimmungsgrenze. In der Mulde wurden bis zu 10 ng/l α -HCH (17.8. und 5.10.) erreicht, was dem Niveau der Konzentrationsspitze des Jahres 2012 (9 ng/l α -HCH) entspricht. Beim Niedrigwasser 2003 wurden hier bis zu 15 ng/l α -HCH gemessen (Tab. 5).

Die Konzentration des β -HCH blieb mit Ausnahme der Elbe-Messstelle bei Schnackenburg unterhalb der Bestimmungsgrenze. Bei Schnackenburg wurde mit maximal 3,3 ng/l β -HCH (17.8.) etwa die gleiche Konzentrationsspitze wie im Jahr 2012 (bis 2,7 ng/l β -HCH) gemessen. In der Mulde bei Dessau konnte β -HCH in den Jahren 2012 bis 2014 während der Monate Juli bis Oktober fast immer quantitativ bestimmt werden (bis 13 ng/l β -HCH), so dass die stets unterhalb der Bestimmungsgrenze liegenden Konzentrationen während des Niedrigwassers 2015 bemerkenswert sind, auch vor dem Hintergrund der Konzentrationsspitze beim Niedrigwasser 2003 (84 ng/l β -HCH; Tab. 5)

Die Konzentration des γ -HCH (Lindan) blieb beim Niedrigwasser – abgesehen von der Mulde und einer Probe der Elbe bei Magdeburg (7 ng/l γ -HCH am 14.9.) – unterhalb der Bestimmungsgrenze. Auch die Messergebnisse des Jahres 2012 überschritten diese nicht. Für die Mulde wurden während des Niedrigwassers die ersten quantitativen Messergebnisse des γ -HCH in der Wasserphase seit 2009 ermittelt, wobei die am 1.9. gemessene Konzentrationsspitze von 12 ng/l γ -HCH letztmalig im Jahr 2005 übertroffen wurde (FGG ELBE 2016). Für die Elbe bei Magdeburg stellt die am 14.9. gemessene Konzentration zwar die erste quantitative Bestimmung des γ -HCH seit dem Jahr 2006 dar (FGG ELBE 2016), die Konzentration lag aber nur geringfügig über der Bestimmungsgrenze (5 ng/l).

Tab. 5: Maximale Konzentration [ng/l] von Isomeren des Hexachlorcyclohexans (HCH) beim Niedrigwasser (NW) 2015 (n = 6, DE, HV: n = 4) und NW 2003 (n = 3, SM: n = 11), jeweils im Zeitraum 20. Juli bis 5. Oktober; k. D. = keine Daten

Gewässer		Elbe					Mulde	Saale	Havel
Messstelle		SM	WB	MD	CU	SN	DE	RO	HV*
α -HCH	NW 2015	< 2	< 5	< 5	k. D.	2	10	< 5	k. D.
	NW 2003	3	6	6	5	4	15	6	< 2
β -HCH	NW 2015	< 2	< 5	< 5	k. D.	3	< 5	< 5	k. D.
	NW 2003	3	1	9	< 5	5	84	< 2	3
γ -HCH	NW 2015	< 2	< 5	7	k. D.	< 2	12	< 5	k. D.
	NW 2003	3	7	5	< 3	1	3	8	12
δ -HCH	NW 2015	< 2	41	< 5	k. D.	< 2	17	< 5	k. D.
	NW 2003	k. D.	< 1	< 2	7	1	3	k. D.	k. D.

*: NW 2003: Messstelle Toppel/Havel

Die Konzentration des δ -HCH lag an der Messstelle Wittenberg beim Niedrigwasser selbst im Durchschnitt (18 ng/l δ -HCH) deutlich über allen bisher in FGG ELBE (2016) enthaltenen Werten dieser Messstelle (Jahre 2003-2006, 2013-2014) und betrug bis zu 41 ng/l δ -HCH (1.9.).



Auch in der Mulde bei Dessau war δ -HCH in allen Proben bestimmbar. Der Höchstwert in der Mulde von 17 ng/l δ -HCH (17.8.) wurde dort zuletzt im Jahr 2004 erreicht (FGG ELBE 2016) und liegt deutlich höher als beim Niedrigwasser 2003 (Tab. 5). An allen übrigen Messstellen blieb die Konzentration des δ -HCH beim Niedrigwasser 2015 unterhalb der Bestimmungsgrenze.

Die Konzentration der untersuchten Isomere des DDT, DDE und DDD lag während des Niedrigwassers 2015 in der Elbe unterhalb der Messstelle Wittenberg sowie in der Mulde und Saale unter der Bestimmungsgrenze. Gemäß des Messprogramms Extremereignisse wurden an der Elbe bei Cumlosen und an der Havel keine Messungen vorgenommen. In der Elbe bei Schmilka übertraf die Konzentration am 20.7. mit 4 ng/l p,p'-DDT nur knapp die Bestimmungsgrenze (3 ng/l). In der Elbe bei Wittenberg war p,p'-DDT am 3.8., 1.9. und 5.10. mit 1 ng/l gerade quantitativ bestimmbar, am 17.8. wurde jedoch mit 57 ng/l p,p'-DDT eine außerordentlich hohe Konzentration gemessen. Nur in dieser Probe ließen sich auch das o,p'-DDT (3 ng/l) sowie das p,p'-DDD (6 ng/l) quantitativ bestimmen.

Vergleichsdaten zur Konzentration des DDT, DDE und DDD beim Niedrigwasser 2003 liegen nur für die Elbe bei Schmilka, Cumlosen und Schnackenburg vor (FGG ELBE 2016). Auch beim Niedrigwasser 2003 blieben die Konzentrationen in der Regel unter der Bestimmungsgrenze. Am 28.7.2003 wurden in der Elbe bei Schmilka 12 ng/l p,p'-DDD gemessen, höhere Konzentrationen wurden nicht ermittelt.

Die Arzneistoffe Carbamazepin, Diclofenac, Ibuprofen und Sulfamethoxazol wurden während des Niedrigwassers 2015 – wie es das Messprogramm Extremereignisse vorsieht – nur an den Elbe-Messstellen Schmilka und Schnackenburg turnusmäßig gemessen. Zusätzlich erfolgten einzelne Untersuchungen dieser Stoffe an den Messstellen Wittenberg/Elbe (20.7. und 5.10.), Magdeburg/Elbe (20.7.), Rosenberg/Saale (20.7.) sowie Havelberg/Havel (3.8. und 5.10.).

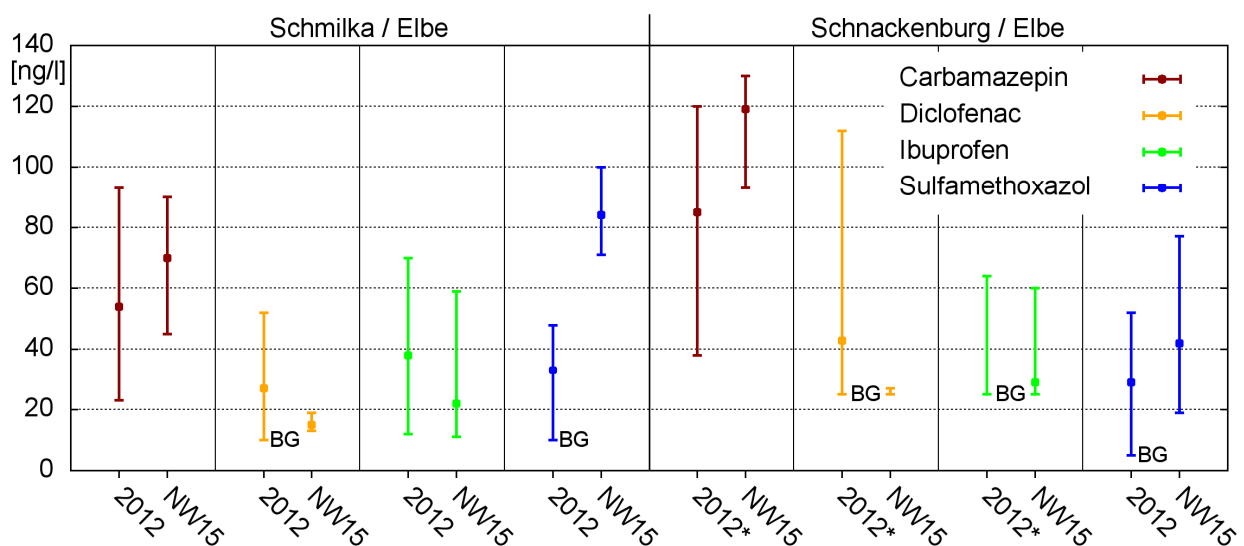


Abb. 14: Spannweite und Mittelwert der Konzentration von Arzneistoffen in der Elbe bei Schmilka und Schnackenburg im Jahr 2012 ($n = 12$) und beim Niedrigwasser 20.7.-5.10.2015 (NW15) ($n = 6$); BG = Bestimmungsgrenze; *: filtrierte Wasserproben

Die Konzentration von Carbamazepin war während des Niedrigwassers in der Elbe bei Schmilka verglichen mit der Konzentration des Jahres 2012 unauffällig (Abb. 14). Bei Schnackenburg wurde der dortige Höchstwert des Jahres 2012 (120 ng/l Carbamazepin) leicht überschritten (130 ng/l Carbamazepin am 1.9./14.9.) und die durchschnittliche Konzentration war deutlich höher als das Jahresmittel 2012. Die Konzentrationen in der Saale (190 ng/l Carbamazepin am 20.7.) und



in der Elbe bei Magdeburg (130 ng/l Carbamazepin am 20.7.) lagen innerhalb der Spannweite des Jahres 2012. Für die Havel (130 ng/l Carbamazepin am 3.8.) fehlen zur Einordnung Messwerte aus dem Vergleichsjahr 2012.

Diclofenac wurde in der Elbe bei Schmilka und Schnackenburg nur in relativ niedrigen Konzentrationen gemessen (Abb. 14). An den weiteren Messstellen waren die Konzentrationen ebenfalls unauffällig bzw. lagen im Fall der Havel unterhalb der Bestimmungsgrenze. In der Elbe bei Magdeburg betrug die Konzentration am 20.7.2015 zwar 120 ng/l Diclofenac, blieb aber auch dort deutlich unter dem Höchstwert des Jahres 2012 (200 ng/l Diclofenac).

Auch die Konzentration des Ibuprofen war während des Niedrigwassers an allen Messstellen unauffällig (Abb. 14).

Insbesondere in der Elbe bei Schmilka, aber zeitweise auch in der Elbe bei Schnackenburg wurden auffällig hohe Konzentrationen Sulfamethoxazol gemessen (Abb. 14). Bei Schmilka übertrafen alle Messwerte den dortigen Höchstwert des Jahres 2012 (48 ng/l Sulfamethoxazol). Die Konzentrationsspitze des Niedrigwasserzeitraums (100 ng/l Sulfamethoxazol am 5.10.) ist höher als alle vorausgehenden Werte der mit dem Jahr 2010 beginnenden Messreihe dieser Messstelle in FGG ELBE (2016). Am 19.10. wurde bei Schmilka mit 110 ng/l Sulfamethoxazol ein ähnlich hoher Wert gemessen. Die Konzentrationen des Sulfamethoxazol in der Elbe bei Wittenberg, in der Saale und Havel waren dagegen deutlich niedriger und unauffällig. In der Elbe bei Schnackenburg konnte mit 77 ng/l Sulfamethoxazol am 5.10. eine auffällig hohe Konzentration im Niedrigwasserzeitraum ermittelt werden, die in dieser Höhe auch schon am 7.7. gemessen wurde, aber ansonsten alle Messwerte seit 2010 übertrifft (FGG ELBE 2016).

Da die betrachteten vier Arzneistoffe beim Niedrigwasser 2003 nicht untersucht wurden, ist kein Vergleich zu diesem Ereignis möglich.



4. Stoffströme / Frachten

4.1 Abfiltrierbare Stoffe, POC, Chlorophyll a

Erwartungsgemäß transportierte die Elbe während des Niedrigwassers mit zunehmendem Fließweg größere Frachten von abfiltrierbaren Stoffe, partikulärem organischen Kohlenstoff (POC) und Chlorophyll a (Abb. 15). Zwischen Wittenberg und Magdeburg vergrößerte sich insbesondere durch den Beitrag der Saale die Fracht abfiltrierbarer Stoffe und des POC der Elbe erkennbar. Für Chlorophyll a kann dies aufgrund fehlender Daten nur vermutet werden. Die mit erheblichem Abstand größten Frachten der drei hier betrachteten Kenngrößen errechneten sich für die Elbe bei Cumlosen und Schnackenburg. Lediglich am 20.7. konnte für die Elbe bei Cumlosen keine POC-Fracht ausgewiesen werden, da die Konzentrationen des TOC und DOC in gleicher Höhe gemessen wurden.

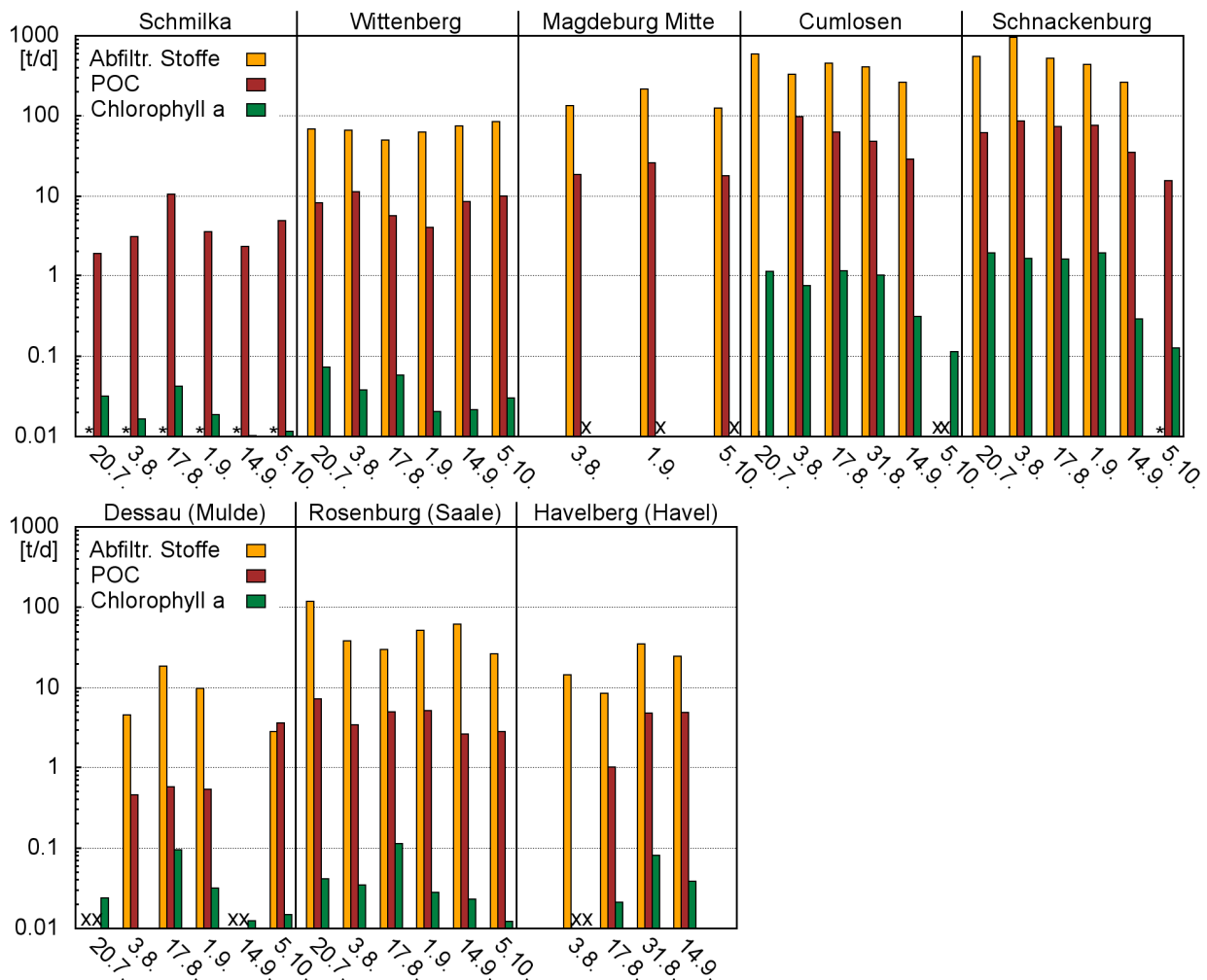


Abb. 15: Fracht abfiltrierbarer Stoffe, des partikulären organischen Kohlenstoffs (POC) und des Chlorophyll a der Elbe (oben) und ihrer Hauptzuflüsse (unten) an einzelnen Tagen während des Niedrigwassers 2015; *: Konzentration < Bestimmungsgrenze; x: fehlende Messwerte

4.2 Chlorid

Abbildung 16 veranschaulicht die Chloridfracht der Elbe und ihrer Hauptzuflüsse an den drei Tagen während des Niedrigwassers, an denen auch die Elbe bei Magdeburg durch parallele Messungen am rechten Ufer in die Frachtberechnung einbezogen werden konnte. Die Summe der



Chloridfrachten der Elbe bei Wittenberg, der Mulde und der Saale erreicht annähernd die für die Elbe bei Magdeburg berechnete Chloridfracht. Die Summe der Chloridfrachten der Elbe bei Magdeburg und der Havel befindet sich auf dem Niveau der Chloridfracht der Elbe bei Cumlosen und Schnackenburg. Der bestimmende Einfluss der Chloridfracht der Saale auf die Chloridfracht der Elbe wird sowohl aus Abbildung 16 als auch aus Tabelle 6 deutlich. An den sechs Messtagen während des Niedrigwassers entsprach die Chloridfracht der Saale durchschnittlich 87 % der Chloridfracht der Elbe bei Schnackenburg. Die Vorbelastung der Elbe bei Schmilka durch Chlorid sowie die Frachtbeiträge der Mulde und Havel fielen dagegen kaum ins Gewicht.

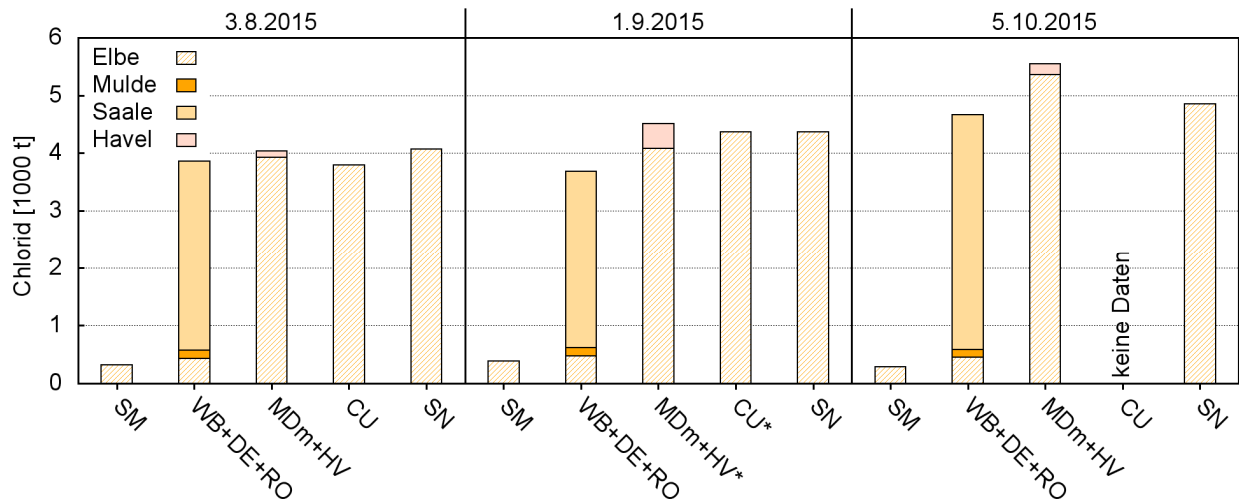


Abb. 16: Chloridfracht der Elbe, Mulde, Saale und Havel an drei Tagen während des Niedrigwassers 2015; *: Fracht Havel (Havelberg) und Elbe (Cumlosen) am 31.8.2015

Tab. 6: Mittlerer prozentualer Anteil der Chloridfracht an Messstellen der Elbe, Mulde, Saale und Havel an der Fracht der Elbe bei Schnackenburg (SN) beim Niedrigwasser 2015; Q = mittlerer prozentualer Anteil des Durchflusses am Bezugspegel der Messstelle am Durchfluss beim Pegel Wittenberge (Bezugspegel von SN) an den Messtagen

Messstelle		SM (Elbe)	WB (Elbe)	CU (Elbe)*	DE (Mulde)	RO (Saale)	HV (Havel)*
Q	[%]	45	49	100	8	21	13
Chlorid	[%]	8	10	92	3	87	6
Probenzahl	n	6	6	5	4	6	5

*: Fracht und Durchfluss Elbe und Havel am 31.8. bezogen auf Elbe bei SN am 1.9.

4.3 Schwermetalle und Arsen

Für die Messstelle Magdeburg wird aufgrund der Datenlage und des angesprochenen Schadstoff-Konzentrationsgradienten im Querprofil der Elbe bei Magdeburg (Pkt. 2) keine Bilanzierung der Schwermetallfrachten vorgenommen. Für Arsen muss sich die Bilanzierung unter Einbezug der Messstelle Magdeburg wie beim Chlorid auf drei Termine beschränken (Abb. 17). Die Summe der Arsenfrachten der Mulde, Saale und der Elbe bei Wittenberg entspricht etwa der für die Elbe bei Magdeburg berechneten Fracht. Die Arsenfracht der Mulde war nicht wesentlich geringer als die Fracht der Elbe bei Wittenberg, beinhaltete rechnerisch im Durchschnitt 37 % der Arsenfracht der Elbe bei Schnackenburg (Tab. 7) und war deutlich größer als die Fracht der Saale. Der Frachtbeitrag der Havel, der in Abbildung 17 nur für einen Messtag einbezogen werden konnte, war relativ gering und lag in der Größenordnung der Saalefracht. Die Arsenfracht der Elbe bei Magdeburg war teils kleiner (3.8.) und teils größer als die Fracht der Elbe bei Schnackenburg. Auffällig ist die große Diskrepanz der für Cumlosen und Schnackenburg berechneten Arsenfrachten am 31.8./1.9., obgleich der Durchfluss am Bezugspegel Wittenberge an beiden Tagen



ähnlich war (276 m³/s bzw. 265 m³/s). An den übrigen vier vergleichbaren Messtagen war die Frachtdifferenz für Arsen zwischen diesen benachbarten Messstellen deutlich geringer. Durchschnittlich war die für die Messstelle Cumlosen berechnete Arsenfracht der Elbe größer als an der Messstelle Schnackenburg. Bei den in Tabelle 7 aufgeführten Schwermetallen entfallen dagegen die größeren Frachten auf die Elbe bei Schnackenburg.

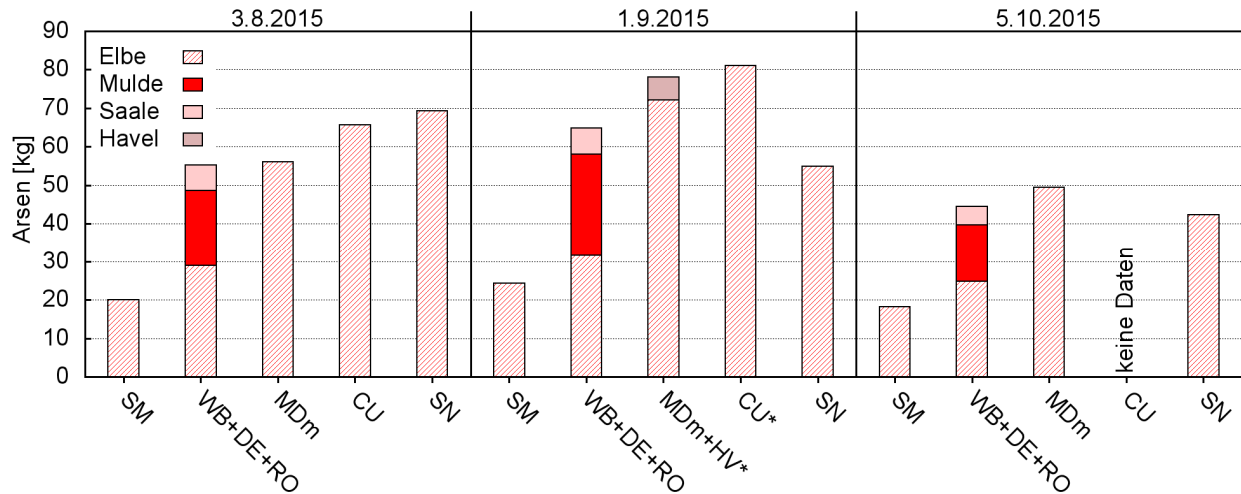


Abb. 17: Arsenfracht der Elbe, Mulde, Saale an drei Tagen und Arsenfracht der Havel an einem Tag während des Niedrigwassers 2015; *: Fracht Havel (Havelberg) und Elbe (Cumlosen) am 31.8.2015

Die Fracht der Schwermetalle an den einzelnen Messstellen und -terminen ist in Abbildung 18 und 19 dargestellt. In Abbildung 18 wurde die Fracht der Elbe bei Wittenberg, der Saale und soweit möglich auch der Mulde und Havel zusammengefasst und der Elbefracht bei Cumlosen und Schnackenburg gegenübergestellt. Für Chrom und Quecksilber konnte häufig keine Fracht berechnet werden, weil die Konzentration unter der Bestimmungsgrenze lag. Daher wurde die Fracht dieser beiden Schwermetalle (soweit vorhanden) in Abbildung 19 für jede Messstelle separat nebeneinander dargestellt.

Die Summe der Fracht der Elbe bei Wittenberg, der Saale sowie gegebenenfalls der Mulde und Havel war an den sechs Messtagen bei Zink meist deutlich größer, bei Nickel und Uran meist ähnlich groß und im Fall von Blei, Cadmium und Kupfer meist deutlich kleiner als die Fracht der Elbe bei Schnackenburg (Abb. 18). Relativ große Chrom- und Quecksilberfrachten wurden fast ausschließlich für die Messstellen Cumlosen und Schnackenburg berechnet (Abb. 19).

Wie die Abbildungen 18 und 19 zeigen, war die Schwermetallfracht der Saale während des Niedrigwassers in allen Fällen größer als die Fracht der Mulde und Havel und mit Ausnahme von Kupfer, Nickel und Chrom auch immer bzw. bei Uran fast immer größer als die Fracht der Elbe bei Wittenberg. Aus Tabelle 7 wird der im Verhältnis zur Wasserführung überproportionale Beitrag der Saale an der Schwermetallfracht der Elbe deutlich. Danach transportierte die Saale während des Niedrigwassers durchschnittlich 40-50 % der Blei-, Cadmium- und Uranfracht und rund 100 % der Zinkfracht der Elbe bei Schnackenburg. Bei Quecksilber war der Frachtanteil der Saale deutlich geringer (Abb. 19) und entsprach mit rund 20 % etwa dem rechnerischen Anteil der Saale am Durchfluss der Elbe bei Schnackenburg. An dieser Stelle sei jedoch noch einmal darauf hingewiesen, dass die berechneten Frachten aufgrund der großen methodisch bedingten Unsicherheiten nur als überschlägige Schätzung zu verstehen sind und stark von der Realität abweichen können. Beispielsweise übersteigt bei Zink die Summe der Frachten aus der Elbe bei Wittenberg, aus der Saale und weiterer Hauptzuflüsse (Mulde und / oder Havel) die Fracht bei



Schnackenburg an vier Messterminen erheblich, während diese Frachten an zwei Messterminen ungefähr übereinstimmen (Abb. 18).

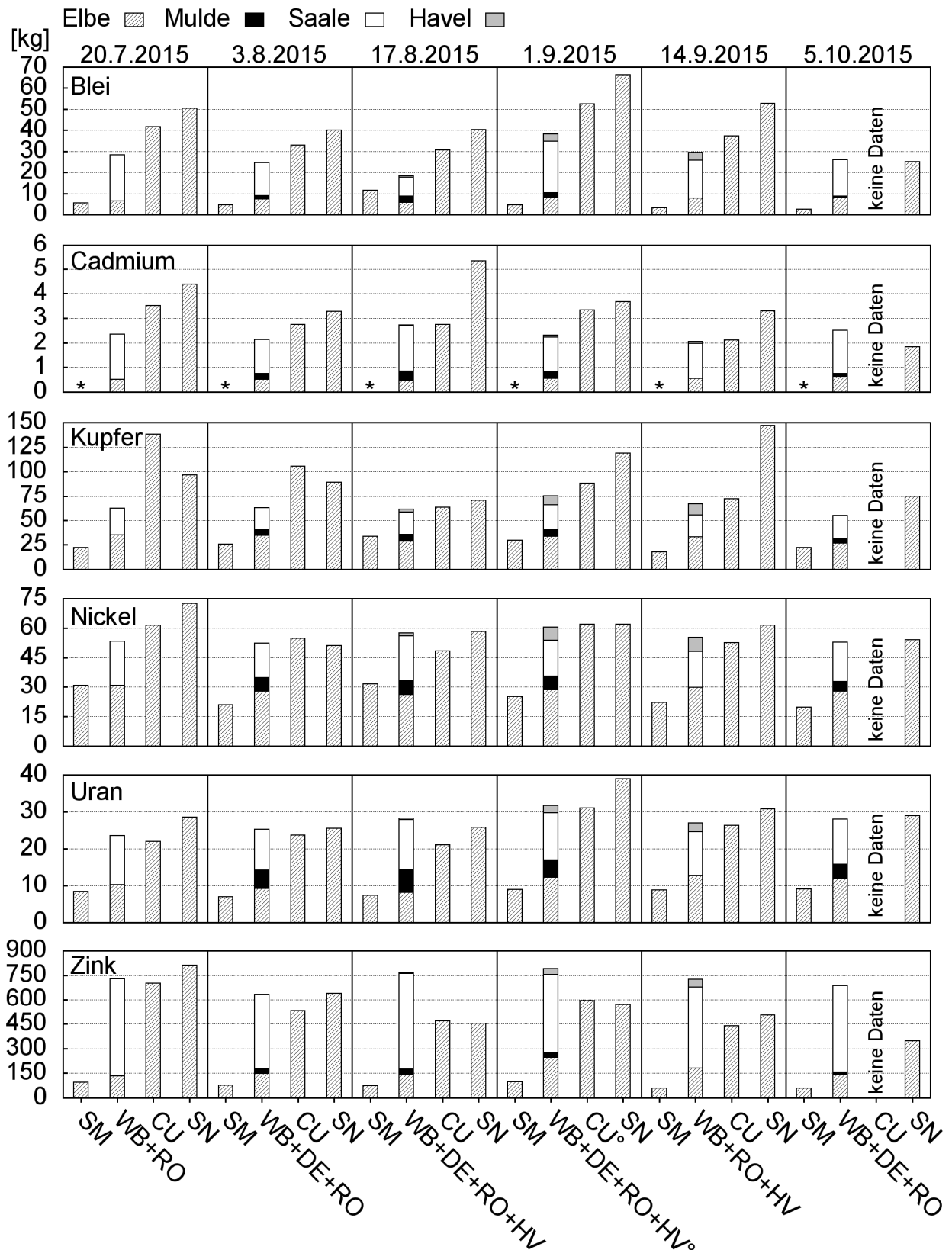


Abb. 18: Fracht von Schwermetallen der Elbe, Mulde, Saale und Havel an einzelnen Tagen während des Niedrigwassers 2015; *: Konzentration < Bestimmungsgrenze; °: Fracht Havel (Havelberg) und Elbe (Cumlosen) am 31.8.2015

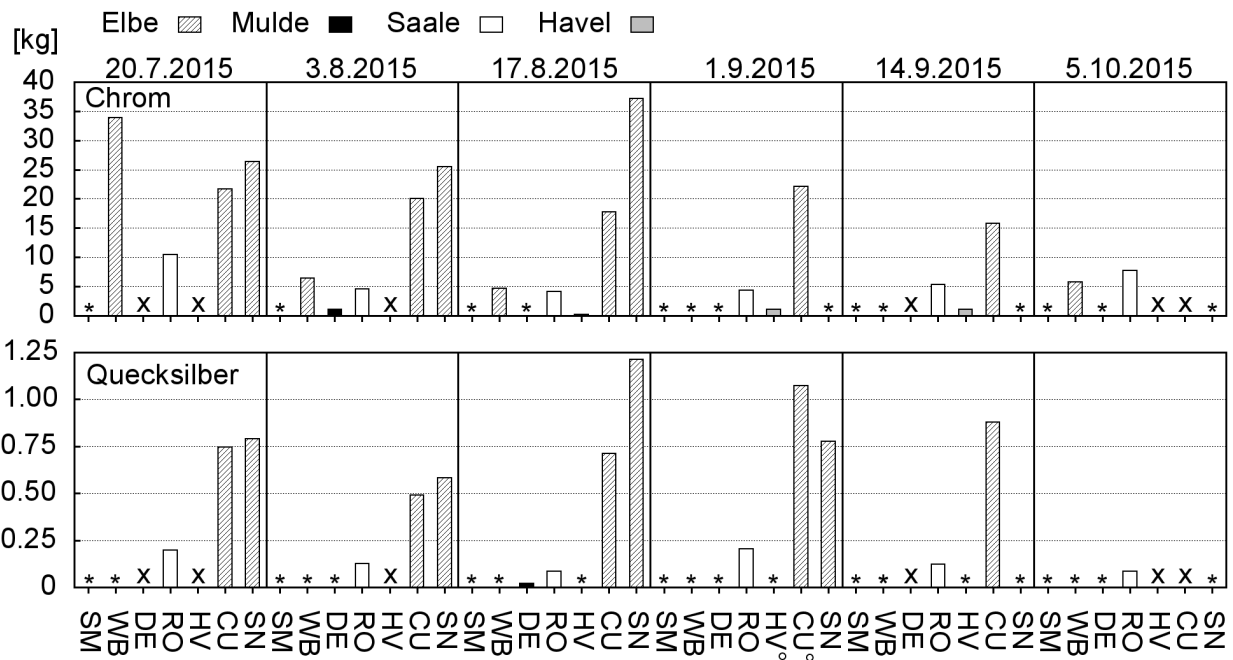


Abb. 19: Chrom- und Quecksilberfracht der Elbe, Mulde, Saale und Havel an einzelnen Tagen während des Niedrigwassers 2015; *: Konzentration < Bestimmungsgrenze; x: fehlende Messwerte; °: Fracht Havel (Havelberg) und Elbe (Cumlosen) am 31.8.2015

Tab. 7: Mittlerer prozentualer Anteil der Fracht von Schwermetallen und Arsen an Messstellen der Elbe, Mulde, Saale und Havel an der Fracht der Elbe bei Schnackenburg (SN) beim Niedrigwasser 2015; Q = Mittlerer prozentualer Anteil des Durchflusses am Bezugspegel der Messstelle am Durchfluss beim Pegel Wittenberge (Bezugspegel von SN) an den Messtagen

Messstelle		Q	Pb	Cd	Cu	Ni	U	Zn	As	Probenzahl
SM (Elbe)	[%]	45	12	**	28	42	28	14	40	n = 6
WB (Elbe)	[%]	49	17	17	34	48	36	32	51	n = 6
CU (Elbe)*	[%]	100	78	74	95	92	83	93	110	n = 5
DE (Mulde)	[%]	8	4	7	7	12	17	6	37	n = 4
RO (Saale)	[%]	21	41	49	26	33	43	102	11	n = 6
HV (Havel)*	[%]	14	5	2	7	8	5	6	9	n = 3

*: Fracht und Durchfluss Elbe und Havel am 31.8. bezogen auf Elbe bei SN am 1.9.;
 **: Konzentration < Bestimmungsgrenze

Im Gegensatz zur Saale kam der Havel beim Niedrigwasser 2015 nur eine geringe Bedeutung als Quelle für Schwermetalle und Arsen zu (Tab. 7). In der Mulde erreichte wie erwähnt vor allem die Arsenfracht eine bemerkenswerte Größenordnung.

4.4 Arzneistoffe

Es werden nur die Frachten des Carbamazepins und Sulfamethoxazols betrachtet, da nur diese Arzneistoffe zumindest teilweise in erhöhter Konzentration gemessen wurden. Die Fracht des Carbamazepins war beim Niedrigwasser 2015 in der Elbe bei Schnackenburg 2- bis 6-fach größer als in Schmilka (Abb. 20). Die Messung vom 20.7.2015 deutet darauf hin, dass der Beitrag der Saale zur Carbamazepinfracht der Elbe relativ groß war. Der Havel kam vermutlich nur eine geringere Bedeutung zu, worauf die Frachten bei Havelberg vom 3.8. und 5.10. hinweisen.



Die Elbe bei Schmilka transportierte an den drei Messtagen im Juli/August mehr und an den übrigen drei Messterminen im September/Oktober weniger Sulfamethoxazol als die Elbe bei Schnackenburg (Abb. 20). Zwischen Schmilka und Wittenberg nahm die Sulfamethoxazolfracht ab. Die Fracht der Saale war am 20.7. deutlich geringer als die Fracht der Elbe bei Wittenberg, aber wesentlich größer als die Sulfamethoxazolfracht der Havel am 3.8. und 5.10.2015.

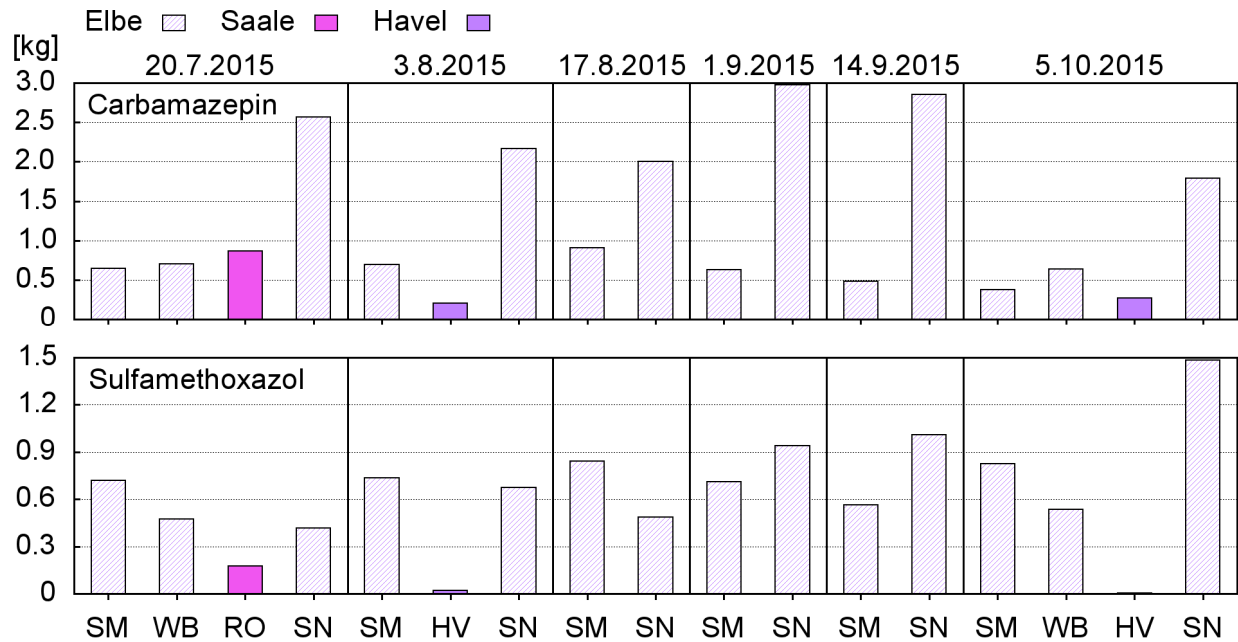


Abb. 20: Carbamazepin- und Sulfamethoxazolfracht der Elbe, Saale und Havel an einzelnen Tagen während des Niedrigwassers 2015



Foto 3: Elbe bei Schnackenburg am 14.8.2015 (© NLWKN)



5. Diskussion

Bei der Beurteilung der Wasserbeschaffenheit der Elbe während des Niedrigwassers 2015 ist grundlegend zu berücksichtigen, dass ihre Wasserführung durch Zuschusswasser aus Talsperren gestützt wurde. Die bedeutendste Niedrigwasseraufhöhung erfolgte durch die Stauhaltungen in der Moldau (Moldaukaskade), die planmäßig in Prag einen Mindestwasserabfluss von 40 m³/s vorsieht (IKSE 2005). Im Jahr 2015 betrug der geringste Durchfluss am Prager Moldaupegel 43 m³/s (CHMI & MECR 2015). Nach ersten Schätzungen wurde der Durchfluss während des Niedrigwassers durch die Wasserabgabe aus der Moldaukaskade um 15-25 m³/s verstärkt (ČHMÚ 2015). Eine weitere Stützung der Wasserführung erfolgte durch die Talsperre Nechanice in der Eger, für die eine Niedrigwasserabgabe von 8 m³/s festgesetzt wurde (IKSE 2005).

Aufgrund der während der Niedrigwasserperiode im Verhältnis zu den Talsperrenvolumina nur sehr geringen Talsperrenzuflüsse ist davon auszugehen, dass das Flusswasser unmittelbar unterhalb der großen Stauhaltungen die Eigenschaften von Talsperrenwasser in silikatisch geprägten Einzugsgebieten aufwies (elektrolytarm, wenig nähr- und schadstoffbelastet). Bei dem durchschnittlichen Durchfluss im Niedrigwasserzeitraum von rund 100 m³/s am Pegel Schöna kann gemäß der vorgenannten Mindestabflussregelungen (40 m³/s aus der Moldaukaskade plus 8 m³/s aus der Eger) vermutet werden, dass etwa 50 % des Elbewassers an der Messstation Schmilka aus Talsperren stammte.

Wahrscheinlich sind folgende Beobachtungen zur Wasserbeschaffenheit der Elbe bei Schmilka unter anderem auf den verdünnenden Effekt des Zuschusswassers aus Tschechien zurückzuführen:

- Calcium- und Magnesiumkonzentration unauffällig
- Chlorid- und Sulfatkonzentration unauffällig
- elektrische Leitfähigkeit erreicht keine auffällig hohen Werte
- Nährstoffgehalte unauffällig
- niedrige Chlorophyll a - Konzentration (Algenwachstum gering)
- geringe Konzentration abfiltrierbarer Stoffe
- Schwermetall-/Arsenkonzentration in unfiltrierten Proben unauffällig, meist relativ niedrig

Auch die unauffälligen Werte der elektrischen Leitfähigkeit der Elbe bei Zehren und Dommitzsch während des Niedrigwassers sind vor dem Hintergrund des hohen Zuschusswasseranteils aus den tschechischen Talsperren zu betrachten. In der Elbe bei Wittenberg wurde dagegen stets eine erhöhte elektrische Leitfähigkeit gemessen. Hier zeigt sich vor allem der Einfluss der Schwarzen Elster, die im Niedrigwasserzeitraum beim mündungsnahen Gorsdorf eine mittlere elektrische Leitfähigkeit von 850 µS/cm aufwies, wobei der Spitzenwert (960 µS/cm am 17.8.) den höchsten Wert einer dortigen Einzelprobe seit dem Jahr 1999 darstellt (FGG ELBE 2016). Zuflüsse aus der Mulde und vor allem aus der Saale trugen mit jeweils erhöhten elektrischen Leitfähigkeiten dazu bei, dass in der Elbe bei Magdeburg, Cumlosen und Schnackenburg ebenfalls auffällig hohe Werte der elektrischen Leitfähigkeit gemessen wurden.

Die Niedrigwasserperiode 2015 ging ferner mit hohen Wassertemperaturen und kurzzeitig auffällig niedrigen, wenn auch noch unkritischen Sauerstoffgehalten an mehreren Messstellen einher. Die höchsten Wassertemperaturen an den Messstationen unterhalb von Schmilka traten bereits am 5. Juli, gegen Ende der ersten großen Hitzewelle des Jahres 2015 auf. An diesem Tag wurde im fränkischen Kitzingen mit 40,3 °C ein neuer Hitzerekord für Deutschland registriert, wobei der Sommer 2015 insgesamt als der drittwärmste in Deutschland (nach 2003 und 1947) seit 1881 gilt (DWD 2015).



Im Vergleich mit dem Niedrigwasser 2003 waren die Spitzenwerte der Wassertemperatur der Elbe höher und die geringsten Sauerstoffgehalte niedriger als 2003, was teilweise durch lange Ausfallzeiten von Messstationen im Jahr 2003 und die damit verbundene Nichterfassung von Messwerten begründet sein könnte. Bei Schmilka und Schnackenburg war die Wassertemperatur der Elbe auch in den durchflussärmsten aufeinanderfolgenden 21 Tagen des Jahres 2015 (NM21Q am Bezugspegel) höher als im Jahr 2003 und der Sauerstoffgehalt auch in diesem Zeitraum niedriger als 2003 (HÜBNER & SCHWANDT 2016).

Die Ergebnisse weisen auf eine positive Korrelation zwischen den Konzentrationen des Chlorophyll a, des POC und der abfiltrierbaren Stoffe hin. HILLEBRAND et al. (2012) gehen für die untere Mittelelbe überschlägig davon aus, dass im Sommer durchschnittlich zwei Drittel des Schwebstoffs aus biotischen Komponenten bestehen. Zwar waren im Niedrigwasserzeitraum in der Elbe bei Cumlosen und Schnackenburg zeitweilig höhere Konzentrationen des Chlorophyll a zu messen, diese blieben wie erwähnt aber weit hinter Spitzenwerten der Jahre 2012-2014 zurück. Warum – gemessen am Chlorophyll a – während des Niedrigwassers 2015 ein gegenüber den Vorjahren nur relativ geringes Algen- bzw. Phytoplanktonwachstum einsetzte, bedarf einer gesonderten Untersuchung.

Wie dargestellt wurde, trat beim Niedrigwasser 2015 auch eine erhöhte Salzbelastung der Elbe und ihrer Hauptzuflüsse auf. Bei zweitäglichen Untersuchungen der Chloridkonzentration der Elbe am Wehr Geesthacht von Anfang Juli bis Ende August 2015 durch die BfG (Hübner & Schwandt 2016) lag das obere Drittel der Messwerte zwischen 250 und 283 mg/l Cl⁻. Durchschnittlich entsprach die Chloridkonzentration der Elbe bei Geesthacht in diesen beiden Monaten mit 241 mg/l Cl⁻ dem Konzentrationsniveau der Elbe bei Schnackenburg im Niedrigwasserzeitraum (Mittelwert: 234 mg/l Cl⁻).

Arsen war der einzige analysierte Schadstoff, der – sofern filtrierte und unfiltrierte Proben berücksichtigt werden – an jeder Messstelle auffällig hohe Konzentrationen aufwies. Die Mulde ist als wesentlicher Eintragspfad für Arsen in die Elbe bekannt, was sich auch beim Niedrigwasser 2015 bestätigte. Zu der leichten Erhöhung der Arsenkonzentration in den filtrierten Proben der Elbe bei Schmilka und Wittenberg hat vermutlich die Eger beigetragen (Messwerte lagen bei Redaktionsschluss noch nicht vor), die ebenfalls – wenn auch in geringerem Maß als die Mulde – durch Arsen belastet ist (IKSE 2014).

Da Schwermetalle im Fließgewässer zum großen Teil an Partikel gebunden transportiert werden, korrespondiert die relativ geringe Konzentration abfiltrierbarer Stoffe an den Elbe-Messstellen oberhalb von Schnackenburg mit dem Befund, dass dort in den Gesamtproben nur in Einzelfällen (Chrom und Uran) erhöhte Konzentrationen von Schwermetallen festgestellt wurden und dass die Höchstkonzentrationen mit einer Ausnahme dort niedriger waren als beim Niedrigwasser 2003. In der Elbe bei Schnackenburg waren dagegen erhöhte Konzentrationen abfiltrierbarer Stoffe mit erhöhten Konzentrationen mehrerer Schwermetalle (Cr, Cu, Ni, Hg) verbunden und die Schwermetallbelastung war größer als beim Niedrigwasser 2003. Diese Ergebnisse könnten auf die Rücklösung und / oder Resuspension partikelgebundener Schadstoffe aus dem Sediment zurückzuführen sein. Die Schadstoffe stammen möglicherweise aus Sedimenten von oberhalb gelegenen, historisch bedingt stark belasteten Gewässerabschnitten und wurden mit dem Schwebstoff im Lauf der Zeit flussabwärts verlagert (vgl. CLAUS et al. 2010). BABOROWSKI (2016) weist auf den Schiffsverkehr (u. a. regelmäßiger Fährbetrieb) bei Schnackenburg als mögliche Ursache für Schadstoffresuspensionen hin.

Auch in den filtrierten Proben der Elbe traten stellenweise erhöhte Konzentrationen von Schwermetallen auf (Cr, Cu, Ni, Hg, U). Der gelöste Anteil der Schwermetalle war in der Regel größer als im Vergleichsjahr 2012. Gelöste Schwermetalle sind besser biologisch verfügbar und



daher ökotoxikologisch von großer Relevanz. Die Oberflächengewässerverordnung (OGewV 2016) enthält Umweltqualitätsnormen (UQN) für Cadmium, Blei, Quecksilber und Nickel in der filtrierten Probe. Die Konzentration des gelösten Cadmiums in der Saale bei Rosenberg lag bei drei Proben über der Jahresdurchschnitts (JD)-UQN (0,25 µg/l Cd bei Wasserhärteklasse 5), bei zwei weiteren Proben wurde dieser Wert erreicht. Die JD-UQN für Nickel (4 µg/l Ni in der filtrierten Probe) bezieht sich auf den bioverfügbaren Anteil. Unter Berücksichtigung der Bioverfügbarkeit wird diese UQN auch an der Saale und Mulde eingehalten (KASIMIR 2016).

Bei Betrachtung des Stofftransports wird der entscheidende und prägende Einfluss der Saale auf die Elbe bezüglich der Salz- und Schwermetallbelastung im Niedrigwasserzeitraum besonders deutlich. Zu den erheblich ins Gewicht fallenden Einträgen anorganischer Schadstoffe aus der Saale zählten die Chlorid-, Zink-, Cadmium-, Uran- und Bleifracht. Auch die Nickel- und Kupferfracht der Elbe wurde durch die Saale überproportional erhöht. Die hohe Chloridkonzentration der unteren Saale resultiert größtenteils aus Einleitungen des Industriekomplexes Bernburg und Einträgen aus der Bode (Soda-Industrie Staßfurt) (BONGARTZ et al. 2007). Die untere Bode bei Neugattersleben wies am 4.8.2015 einen Spitzenwert von 4800 mg/l Chlorid auf (FGG ELBE 2016). Weitere bedeutsame Quellen der Chloridbelastung der Saale stellen die Einträge aus der Wipper/Unstrut (Halden im Kalirevier Südharz) (SOMMER 2016) sowie die Chloridemissionen aus dem über die Schlenze zur Saale entwässernde Schlüsselstollen dar (BONGARTZ et al. 2007; PLEJADES 2014a,b). Das Wasser aus dem Schlüsselstollen trägt maßgeblich zur Zink-Belastung der Saale bei (BONGARTZ et al. 2007; BABOROWSKI & TÜMPLING 2012; PLEJADES 2014a,b).

Die hier berechneten Schwermetall- und Arsenfrachten der Elbe an den Messstellen Cumlosen und Schnackenburg, die an unterschiedlichen Flussseiten liegen, wiesen trotz ihrer räumlichen Nähe und nur gering abweichender Durchflüsse teilweise erhebliche Unterschiede auf. Ein solches Bild zeigte sich auch bei der Erarbeitung des Sedimentmanagementkonzepts Elbe (FGG ELBE 2013). Die Ursachen dafür sind unklar.

Die gegenüber dem Jahr 2012 an allen Probestellen durchschnittlich höheren Bor-Konzentrationen während des Niedrigwassers 2015 dürften maßgeblich auf einen wasserführungsbedingt höheren Abwasseranteil zurückzuführen sein, da Bor im kommunalen Abwasser in hohen Konzentrationen auftritt. Wie auch bei der niedrigen Wasserführung der Elbe im Juni 2007 (CLAUS et al. 2008) wiesen die Mulde und vor allem die Saale im Gegensatz zur Havel höhere Bor-Konzentrationen als die Elbe auf. Im Juni 2007 ging die hohe Bor-Konzentration in der Saale mit den höchsten Konzentrationen des ausschließlich aus Kläranlagen eingetragenen Röntgenkontrastmittels Diatrizoat einher (CLAUS et al. 2008). Bei niedrigem Wasserstand im Juni 2008 traten in der Saale wiederum die höchsten Bor-Konzentrationen auf (BABOROWSKI et al. 2009).

Unter den organischen Schadstoffen waren während des Niedrigwassers in der Mulde bei Dessau Isomere des HCH nachweisbar, und zwar neben α - und δ -HCH seit Jahren erstmalig auch wieder Lindan (γ -HCH). Die Haupteintragsquelle für HCH in die Mulde stellen Altlasten aus dem Gebiet Bitterfeld-Wolfen dar. Nach KASIMIR (2016) findet seit 2015 an den dort beobachteten Messstellen eine Verschiebung im Isomerenmuster vom ehemals dominierenden α -HCH zu γ -HCH und δ -HCH statt, bei gleichbleibender Belastung in der Summe der Isomere. Der Grund dafür ist noch nicht bekannt.

Die JD-UQN von 20 ng/l HCH bezieht sich auf die Summe der Konzentration des α -, β -, γ -, und δ -HCH (OGewV 2016). Am 17.8. und 1.9.2015 lag die Summe dieser HCH-Konzentrationen in der Mulde bei Dessau zwar über 20 ng/l, die JD-UQN wurde jedoch eingehalten (KASIMIR 2016). Die auffälligen Messwerte des δ -HCH in der Elbe bei Wittenberg können bisher nicht erklärt werden. Diese lagen an drei Messterminen über 20 ng/l, wobei der Messwert vom



1.9.2015 (41 ng/l δ -HCH) das Niveau der „zulässigen Höchstkonzentration“ (ZHK-UQN) für HCH (40 ng/l) nach OGeV (2016) geringfügig überschritt.

Aus dem untersuchten Kenngrößenspektrum der DDT-, DDD- und DDE-Isomere waren mit Ausnahme der Elbe bei Wittenberg am 17.8.2015 nur Konzentrationen unter oder in Einzelfällen geringfügig über der Bestimmungsgrenze festzustellen. Die hohe DDT-Konzentration bei Wittenberg (57 ng/l p,p'-DDT) lag weit über der JD-UQN von 10 ng/l p,p'-DDT (OGeV 2016). Der Grund für diese offensichtlich nur kurzzeitige Belastung der Wasserbeschaffenheit ist unbekannt.

Von den Arzneistoffen wurden Diclofenac und Ibuprofen in der Niedrigwasserperiode nicht in erhöhten Konzentrationen gemessen. Ibuprofen gehört zu den in Kläranlagen weitreichend eliminierten Stoffen (oft über 95 %) (LAU 2010), so dass die Reinigungswirkung der Kläranlagen und das Ausbleiben von Einträgen durch Mischwasserentlastungen einer auffälligen Aufkonzentration von Ibuprofen im Fluss erfolgreich entgegengewirkt haben dürften.

Diclofenac wird in Kläranlagen dagegen deutlich schlechter zurückgehalten (0 – 45 % nach JOSS et al. 2008, 0 – 73 % nach LAU 2010). Ob die relativ niedrigen Konzentrationen des Diclofenac in der Elbe bei Schmilka und Schnackenburg während des Niedrigwassers auf jahreszeitlich bedingt geringeren Konsum des Arzneistoffes, auf eine besonders effektive Elimination in Kläranlagen, auf einen durch die sonnig-trockene Witterung gesteigerten Abbau durch Photolyse im Fluss oder auf eine Kombination dieser Faktoren zurückzuführen sind, kann hier nicht entschieden werden.

Carbamazepin wird in Kläranlagen nach LAU (2010) zu 0 – 96 %, nach JOSS et al. (2008) zu weniger als 40 % zurückgehalten. Zwischen Schmilka und Schnackenburg nahm die Carbamazepinbelastung der Elbe zu, was in erster Linie auf den Einfluss der Saale zurückgehen dürfte, in der die höchste Konzentration gemessen wurde. Eine im Vergleich zur Elbe deutlich höhere Belastung der Saale mit Carbamazepin wurde bereits in frühen Untersuchungen zur Arzneistoffproblematik festgestellt (ARGE ELBE 2003).

Sulfamethoxazol, das in Kläranlagen nach JOSS et al. (2008) zu 50 – 90 % eliminiert wird, wurde während des Niedrigwassers in der Elbe bei Schmilka in so hoher Konzentration gemessen, dass die Fracht der Elbe im Juli und August bei Schmilka größer war als bei Schnackenburg. Höhere Konzentrationen von Sulfamethoxazol bei Schmilka im Vergleich zur Elbe bei Schnackenburg entsprechen dem Regelfall der letzten Jahre (FGG ELBE 2016) und wurden auch bei früheren Untersuchungen gemessen (ARGE ELBE 2003). Die Hauptlast des Sulfamethoxazol stammt also aus Tschechien. Innerhalb des deutschen Einzugsgebiets erhielt die Elbe während des Niedrigwassers wahrscheinlich aus der Saale eine größere Fracht Sulfamethoxazol als aus der Mulde und Havel.



6. Schlussbemerkung

Der erste Praxistest des Messprogramms Extremereignisse bei einem Niedrigwasserereignis verlief erfolgreich. Die durchgeführten Untersuchungen haben die extreme Niedrigwasserperiode des Jahres 2015 repräsentativ erfasst. Eine Fortschreibung des Messprogramms unter Berücksichtigung der Erfahrungen beim Niedrigwasser 2015 ist bereits erfolgt (Stand vom 1.9.2016).



Foto 4: Pegel Wittenberge am 11.8.2015 (© H. Finke, WSA Magdeburg)



7. Literatur / Quellen

- ARGE ELBE (ARBEITSGEMEINSCHAFT FÜR DIE REINHALTUNG DER ELBE) (2003): Arzneistoffe in Elbe und Saale. – 123 S., Anh., Hamburg (<http://www.fgg-elbe.de/index.php/dokumente/fachberichte.html>)
- BABOROWSKI, M. (2016): Schriftliche Mitteilung vom 10. Oktober 2016
- BABOROWSKI, M. & TÜMLING, W. v. (2012): Umsetzung Sedimentmanagementkonzept Schwermetalleinträge Schlüsselstellen in die Saale. – Abschlussbericht: Laufzeit Juli 2012 - 14.12.2012. UFZ, Department Fließgewässerökologie, 41 S., Anl., Magdeburg (<http://www.lhw.sachsen-anhalt.de/untersuchen-bewerten/schadstoffkonzept/schwermetalle-schlüsselstellen/>)
- BABOROWSKI, M., SCHÄFER, J., BLANC, G., PELZER, J., TERNES, T., TÜMLING, W. v. & CLAUS, E. (2009): Der Einfluss von Niedrigwasser auf Stofftransport und Umsetzungen in großen Flüssen – Beispiel Elbe. – Wasser 2009: Jahrestagung der Wasserchemischen Gesellschaft (Stralsund): 261-265, Frankfurt/M.
- BFG (BUNDESANSTALT FÜR GEWÄSSERKUNDE): Informationsplattform Undine: Information zum Messprogramm Extremereignisse der FGG Elbe mit Mess-/Analysendaten zur Wasserbeschaffenheit beim Niedrigwasser der Elbe von Juli bis Oktober 2015 (<http://undine.bafg.de/servlet/is/21318/>)
- BONGARTZ, K., STEELE, T.D., BABOROWSKI, M. & LINDENSCHMIDT, K.-E. (2007): Monitoring, assessment and modelling using water quality data in the Saale River Basin, Germany. – Environmental Monitoring and Assessment 135: 227-240, Dordrecht u. a.
- CHMI (CZECH HYDROMETEOROLOGICAL INSTITUTE) & MECR (MINISTRY OF THE ENVIRONMENT OF THE CZECH REPUBLIC) (2015): Drought in the Czech Republic in 2015. – 152 S., Prag (<http://portal.chmi.cz/>)
- ČHMÚ (ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV) (2015): Drought in the in the Czech Republic in 2015. A preliminary summary. – Stand: Oktober 2015, 12 S., Prag (<http://portal.chmi.cz/?l=en>)
- CLAUS, E., FINK, G., KRÄMER, T., PELZER, J., TERNES, T. & HEININGER, P. (2008): Die Wasserqualität der Elbe in Trockenperioden. – Magdeburger Gewässerschutzseminar: 7.-10. Okt. 2008 in Magdeburg. Tagungsband: S. 81-83 (<http://www.ikse-mkol.org/themen/magdeburger-gewaesserschutzseminar/mgs-2008/>)
- CLAUS, E., PELZER, J. & HEININGER, P. (2010): Trendmonitoring von Schadstoffen in Sedimenten und Schwebstoffen der Binneneibe. – Mitt. Umweltchem. Ökotox. 16 (4): S. 100-102 (https://www.gdch.de/netzwerkstrukturen/fachstrukturen/umweltchemie-und-oekotoxikologie/mitgliederzeitschriften/mitteilungsblatt/archiv/2010.html#_c9550)
- DWD (DEUTSCHER WETTERDIENST) (Hrsg.) (2015): Klimatologische Einschätzung des Sommer 2015. – Autoren: BECKER, P. et al.; Stand: 13.10.2015. 11 S. (https://www.dwd.de/DE/leistungen/besondereereignisse/temperatur/download_tabelle.html?nn=16102&lsbId=392212)
- FGG (FLUSSGEBIETSGEMEINSCHAFT) ELBE (Hrsg.) (2013): Sedimentmanagementkonzept der FGG Elbe. Vorschläge für eine gute Sedimentmanagementpraxis im Elbegebiet zur Erreichung überregionaler Handlungsziele. – 85 S., Anl., (Magdeburg) (<http://www.fgg-elbe.de/fgg-news/news-details/items/sedimentmanagementkonzept-fgg-elbe.html>)
- FGG (FLUSSGEBIETSGEMEINSCHAFT) ELBE (2015a): Messprogramm für hydrologische Extremereignisse an der Elbe. – Stand: 15.10.2015. 24 S. (http://fgg-elbe.de/tl_files/Downloads/Veroeffentlichungen/MP_Extremereignisse-Fortschreibung_15-10-2015_nach_Elbe-Rat.pdf)
- FGG (FLUSSGEBIETSGEMEINSCHAFT) ELBE (2015b): Koordiniertes Elbemessprogramm (KEMP) 2015. (<http://www.fgg-elbe.de/elbe-datenportal/messprogramme.html>)
- FGG (FLUSSGEBIETSGEMEINSCHAFT) ELBE (2016): Fachinformationssystem Datenportal (Stand: 30.6.2016) (www.elbe-datenportal.de)
- HILLEBRAND, G., HARDENBICKER, P. & FISCHER, H. (2012): Schwebstoffdynamik der Mitteleibe – abiotische und biotische Komponenten. – Veranstaltungen (Bundesanstalt für Gewässerkunde) 6/2012: 37-42, Koblenz (http://www.bafg.de/DE/05_Wissen/04_Pub/03_Veranst/BfG-Veranstaltungen201206.html?nn=174588)



- HÜBNER, G. & SCHWANDT, D. (2014): Schadstoffbelastung der Binnenelbe. – In: BfG (BUNDESANSTALT FÜR GEWÄSSERKUNDE): Das Hochwasserextrem des Jahres 2013 in Deutschland: Dokumentation und Analyse. – Mitteilungen 31: 93-100, Koblenz (http://www.bafg.de/DE/05_Wissen/04_Pub/02_Mitteilungen/BfG-Mitteilungen31.-html?nn=174586)
- HÜBNER, G. & SCHWANDT, D. (2016): Wasserbeschaffenheit beim Niedrigwasser der Elbe 2015 – Monitoring, Ergebnisse und historischer Vergleich. – Poster. Tag der Hydrologie 2016, Koblenz
- IKSE (INTERNATIONALE KOMMISSION ZUM SCHUTZ DER ELBE) (Hrsg.) (2005): Die Elbe und ihr Einzugsgebiet. – 258 S., Magdeburg (<http://www.ikse-mkol.org/publikationen/verschiedenes/1/>)
- IKSE (INTERNATIONALE KOMMISSION ZUM SCHUTZ DER ELBE) (Hrsg.) (2014): Bewertung der Ergebnisse des Internationalen Messprogramms Elbe 2006 - 2012. – 37 S., Magdeburg (<http://www.ikse-mkol.org/publikationen/messprogramme/1/>)
- JOSS, A., CARBALLA, M., KREUZINGER, N., SIEGRIST, H. & ZABCZYNSKI, S. (2008): Wastewater Treatment. – In: TERNES, T. A. & JOSS, A. (Hrsg.): Human Pharmaceuticals, Hormones and Fragrances. – IWA-Publishing (Nachdruck der Ausgabe 2006): S. 243-292, London, New York
- KASIMIR, P. (2016): Schriftliche Mitteilung vom 30. September 2016
- LAU ST (LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ SACHSEN-ANHALT) (2010): Arzneistoffe in Zu- und Abläufen von Kläranlagen des Landes Sachsen-Anhalt. – Fachinformation 1/2010. 13 S., Anl. (<http://www.lau.sachsen-anhalt.de/boden-wasser-abfall/abwasser/kommunalabwasser/arzneistoffe-im-abwasser/?&q=Arzneistoffe>)
- OGewV (Oberflächengewässerverordnung) (2016): Verordnung zum Schutz der Oberflächengewässer vom 20. Juni 2016 (BGBl I., S. 1373) (https://www.gesetze-im-internet.de/ogewv_2016/BJNR137310016.html)
- PLEJADES (2014a): 4011 GVV: Frachtreduzierung Schlüsselstollen. Bericht zum Arbeitspaket A: Ermittlung der Auswirkungen des Schlüsselstollens auf den partikelgebundenen Schadstofftransport in der Saale/Elbe. – Überarb. Bericht im Auftrag der Landesanstalt für Altlastenfreistellung Sachsen-Anhalt. 71 S., Anl., Magdeburg (<http://www.fgg-elbe.de/hintergrunddokumente-bp2.html>)
- PLEJADES (2014b): 4011 GVV: Frachtreduzierung Schlüsselstollen. Bericht zum Arbeitspaket B: Bewertung von technisch realisierbaren und verhältnismäßigen Maßnahmen. – Überarb. Bericht im Auftrag der Landesanstalt für Altlastenfreistellung Sachsen-Anhalt. 28 S., Anl., Magdeburg (<http://www.fgg-elbe.de/hintergrunddokumente-bp2.html>)
- SCHWANDT, D. & HÜBNER, G. (2014): Das Messprogramm Extremereignisse beim Junihochwasser der Elbe 2013 – Schadstoffkonzentrationen und -frachten. – Flussgebietsgemeinschaft Elbe (Hrsg.). Fachberichte Hochwasser. 25 S., Anh. (<http://www.fgg-elbe.de/dokumente/fachberichte.html>)
- SOMMER, T. (2016): Salzbelastung in Gewässern im Kalirevier Südharz und Maßnahmen zu deren Minderung. – Korrespondenz Wasserwirtschaft 9 (2): 93-98, Hennef
- WEIGOLD, F. & BABOROWSKI, M. (2009): Consequences of delayed mixing for quality assessment of river water: Example Mulde-Saale-Elbe. – Journal of Hydrology 369: 296-304, Amsterdam [u. a.]; ([doi:10.1016/j.jhydrol.2009.02.039](https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.02.039))



Anhang A1

Maximale Wassertemperatur und elektrische Leitfähigkeit sowie minimaler Sauerstoffgehalt der Elbe beim Niedrigwasser 2015 und 2003 (20.7.-5.10.) sowie in den Jahren 2015 und 2012 nach kontinuierlicher Messung; Niedrigwasser-Messwerte 2015 im **Fettdruck**, wenn sie den größten bzw. beim Sauerstoffgehalt den niedrigsten Messwert darstellen

Messstation			SM	ZE	DO	CU	SN	
Wassertemperatur	Maximum	Niedrigwasser 2015	Datum [°C]	11.8. 26,8	10.8. 27,6	{10.8.} {26,6}	7.8. 25,8	7.8. 25,9
		Jahr 2015	Datum [°C]	11.8. 26,8	5.7. 27,8	5.7. 28,0	5.7. 27,5	5.7. 27,6
		Jahr 2012	Datum [°C]	6.7. 24,0	{29.8.} {22,5}	5.7. 25,7	28.7. 24,7	28.7. 24,8
		Niedrigwasser 2003	Datum [°C]	4.8. 26,1	{{4.8.}} {{26,8.}}	{5.8.} {26,3}	{9.8.} {26,8}	9.8. 26,7
Sauerstoffgehalt	Minimum	Niedrigwasser 2015	Datum [mg/l]	17.8. 4,7	16.8. 5,6	{24.7.} {5,9}	19.8. 6,0	19.8. 6,0
		Jahr 2015	Datum [mg/l]	14.6./8.7. 4,6	16.8. 5,6	24.7. 5,9	19.8. 6,0	19.8. 6,0
		Jahr 2012	Datum [mg/l]	9.7. 6,0	{12.9.} {7,5}	29.7. 5,9	15.7. 7,5	15.7. 8,2
		Niedrigwasser 2003	Datum [mg/l]	{28.7.} {5,5}	{{27.7.}} {{7,2}}	{22.7.} {8,3}	{16.8.} {5,2}	14.8. 7,9
Elektr. Leitfähigkeit	Maximum	Niedrigwasser 2015	Datum [µS/cm]	1.9. 488	5.9. 530	{8.-9.8.} {533}	21.8. 1518	21.8. 1697
		Jahr 2015	Datum [µS/cm]	4.11. 522	5.11. 577	7.11. 582	21.8. 1518	21.8. 1697
		Jahr 2012	Datum [µS/cm]	16.12. 532	{16.12.} {655}	{17.12.} {611}	2.6. 1470	5.6. 1350
		Niedrigwasser 2003	Datum [µS/cm]	6.8. 529	{{23.9.}} {{568}}	{{5.8.}} {{583}}	{{24.8.}} {{1480}}	15.-16.9. 1600
{...}			10-24 % Datenlücken (bei ZE große zusammenhängende Datenlücke vom 7.6.-28.8.2012)					
{{...}}			25-49 % Datenlücken					

Anhang A2

Chlorophyll a - Konzentration ([µg/l]; Mittelwerte / (Spannweite)) der Elbe, Mulde, Saale und Havel beim Niedrigwasser (NW) 20.7.-5.10.2015 (n = 6; HV: n = 4) sowie im Zeitraum 18.7.-8.10.2012* (n = 6; SM: n = 4; CU: n = 3) und im Gesamtjahr 2012 (n = 11 - 23)

Gewässer	Elbe					Mulde	Saale	Havel
	SM	WB	MD	CU	SN	DE	RO	HV
NW 20.7.-5.10.2015	2 (1-4)	4 (2-7)	13 (3-28)	37 (6-70)	57 (7-98)	20 (6-67)	10 (3-25)	14 (3-23)
18.7.-8.10.2012*	13 (4-21)	36 (3-76)	75 (12-185)	77 (19-116)	97 (1-210)	35 (4-79)	60 (3-161)	9 (3-14)
Jahr 2012	27 (3-83)	66 (2-204)	76 (3-223)	57 (<2-171)	84 (<1-240)	16 (1-79)	47 (2-161)	6 (<2-14)
* SM: 9.7.-8.10.2012; HV: 25.7.-10.10.2012; CU: 31.7.-25.9.2012								



Anhang A3

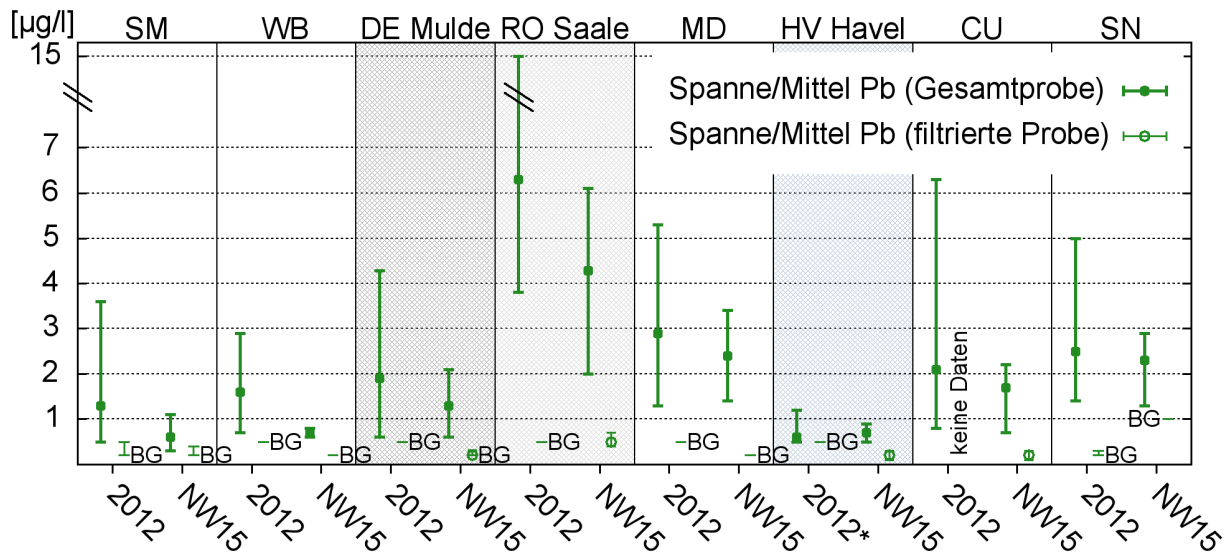
Prozentanteile (Mittelwerte) gelöster Schwermetalle* bzw. von gelöstem Arsen an der betreffenden Gesamtkonzentration in Einzelproben des Jahres 2012 und beim Niedrigwasser (NW) 20.7.-5.10.2015 (n = Anzahl Wertepaare [gelöst/gesamt] mit quantitativer Bestimmung; n. e. = nicht ermittelt, da mindestens 50 % der Wertepaare mit Messwerten < Bestimmungsgrenze oder keine Wertepaare vorhanden; **Fettdruck** = größere Prozentanteile der gelösten Fraktion beim NW 2015)

Gewässer	Elbe										Mulde		Saale		Havel	
	SM		WB		MD		CU		SN		DE		RO		HV	
Messstelle	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n
Cadmium																
Jahr 2012	n. e.		33	11	35	12	n. e.		25	12	69	12	41	11	n. e.	
NW 2015	n. e.		48	5	52	6	29	6	31	5	66	4	70	6	n. e.	
Kupfer																
Jahr 2012	n. e.		66	11	67	12	n. e.		58	12	82	12	66	11	n. e.	
NW 2015	98	6	84	5	76	6	64	6	73	6	91	4	77	6	78	4
Nickel																
Jahr 2012	83	10	81	11	84	12	n. e.		92	12	91	12	88	11	n. e.	
NW 2015	92	6	86	6	90	6	75	5	75	6	91	4	93	6		
Uran																
Jahr 2012	91	12	98	10	97	12	n. e.		100	12	96	12	97	11	n. e.	
NW 2015	98	6	99	6	100	6	97	6	99	6	100	4	99	6	100	4
Zink																
Jahr 2012	47	9	n. e.		53	12	n. e.		n. e.		69	12	68	11	n. e.	
NW 2015	87	6	n. e.		66	6	31	6	n. e.		62	3	85	6	44	4
Arsen																
Jahr 2012	81	12	76	11	75	12	n. e.		58	12	80	12	76	11	n. e.	
NW 2015	94	6	90	6	86	6	79	6	85	6	91	4	92	6	95	4

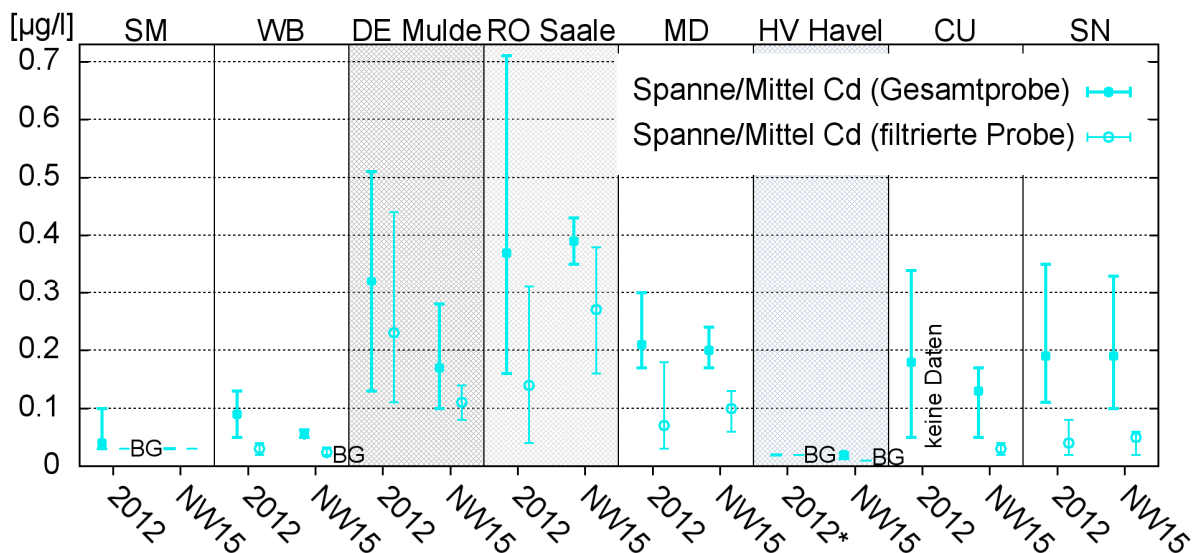
* Blei, Chrom und Quecksilber nicht berücksichtigt, da zu viele Messwerte der gelösten Fraktion unter der Bestimmungsgrenze



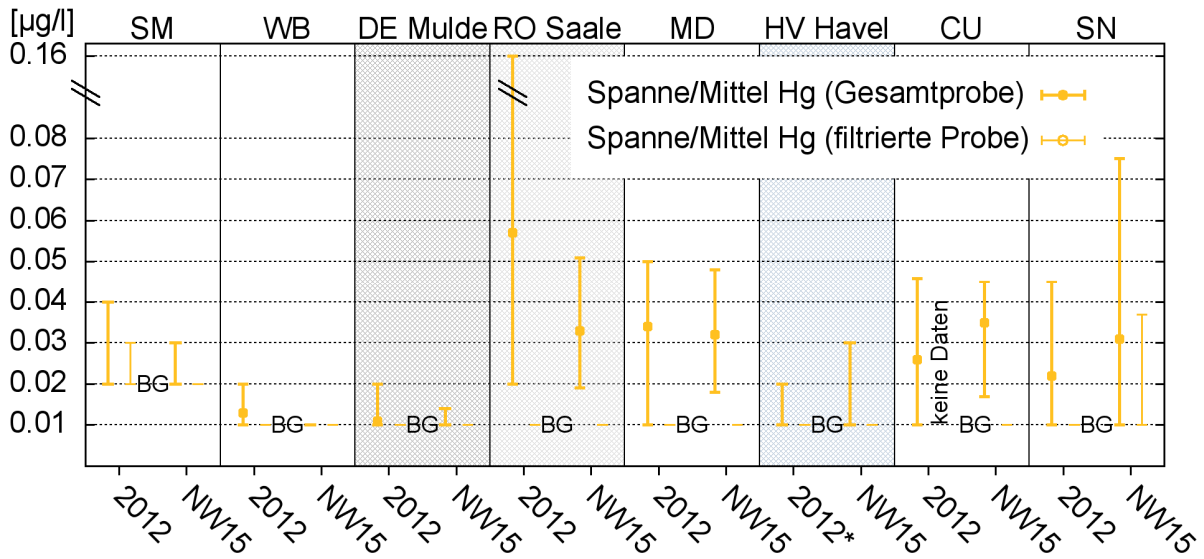
Anhang A4



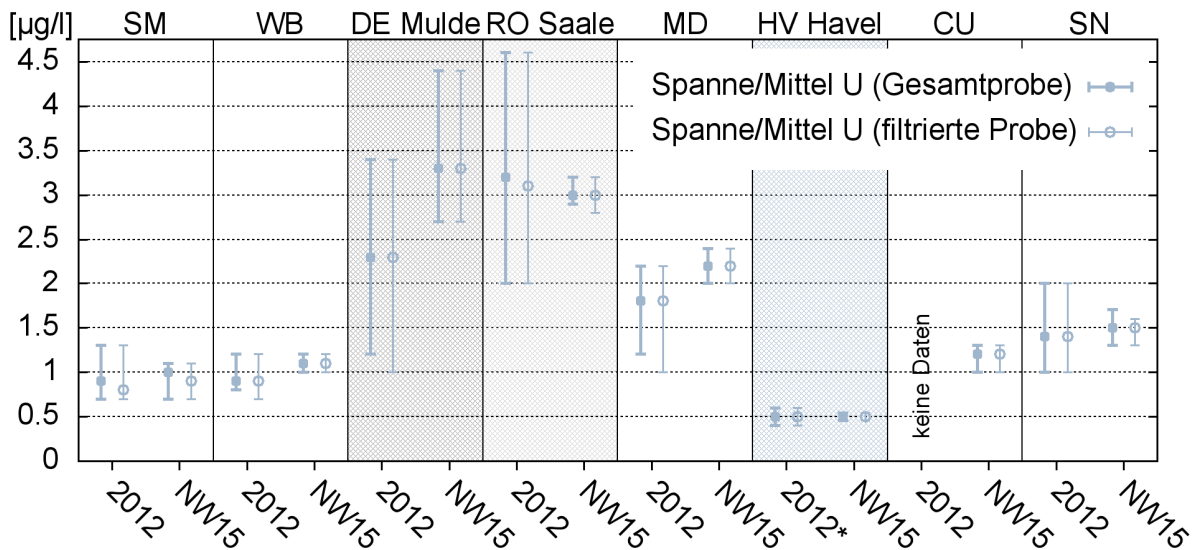
A4-1: Spannweite und Mittelwert der Bleikonzentration in Gesamt- und filtrierten Proben der Elbe, Mulde, Saale und Havel im Jahr 2012 ($n = 11-12$) und beim Niedrigwasser 20.7.-5.10.2015 (NW15) ($n = 6$; DE, HV $n = 4$); *: Messstelle Toppel/Havel; BG = Bestimmungsgrenze



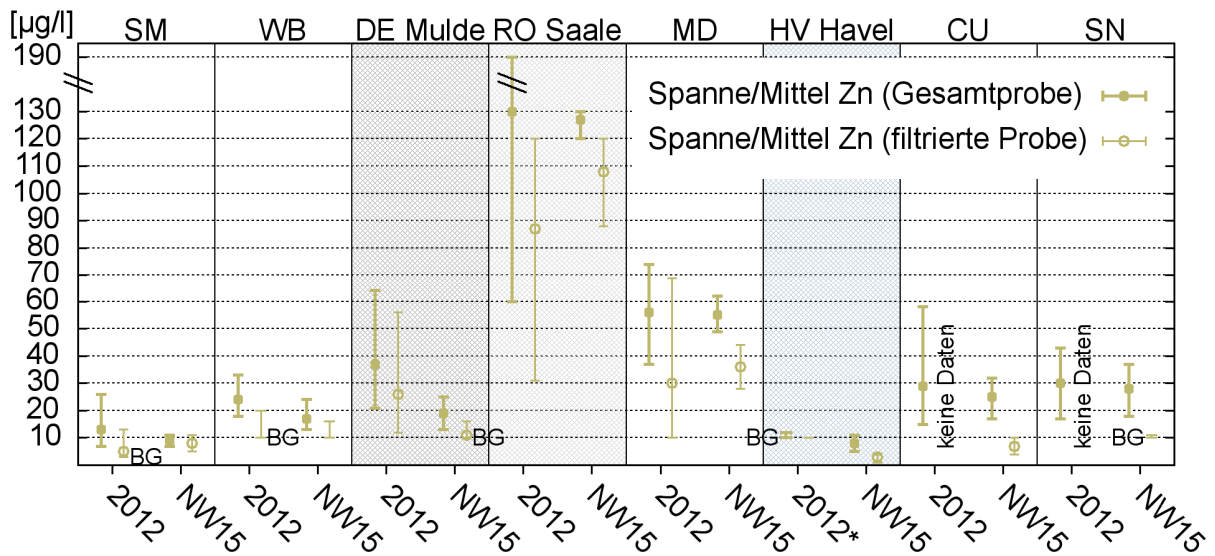
A4-2: Spannweite und Mittelwert der Cadmiumkonzentration in Gesamt- und filtrierten Proben der Elbe, Mulde, Saale und Havel im Jahr 2012 ($n = 11-12$) und beim Niedrigwasser 20.7.-5.10.2015 (NW15) ($n = 6$; DE, HV: $n = 4$); *: Messstelle Toppel/Havel; BG = Bestimmungsgrenze



A4-3: Spannweite und Mittelwert der Quecksilberkonzentration in Gesamt- und filtrierten Proben der Elbe, Mulde, Saale und Havel im Jahr 2012 ($n = 11-12$) und beim Niedrigwasser 20.7.-5.10.2015 (NW15) ($n = 6$; DE, HV: $n = 4$); *: Messstelle Toppel/Havel; BG = Bestimmungsgrenze



A4-4: Spannweite und Mittelwert der Urankonzentration in Gesamt- und filtrierten Proben der Elbe, Mulde, Saale und Havel im Jahr 2012 ($n = 11-12$) und beim Niedrigwasser 20.7.-5.10.2015 (NW15) ($n = 6$; DE, HV: $n = 4$); *: Messstelle Toppel/Havel



A4-5: Spannweite und Mittelwert der Zinkkonzentration in Gesamt- und filtrierten Proben der Elbe, Mulde, Saale und Havel im Jahr 2012 ($n = 11-12$) und beim Niedrigwasser 20.7.-5.10.2015 (NW15) ($n = 6$; DE, HV: $n = 4$); *: Messstelle Toppel/Havel