



Schwermetallfrachten der Harzgewässer Oker, Innerste und Rhume

Aktuelle Jahresfrachten und Vergleich der
Sondermesskampagne 2017 mit den Jahren
2007 und 2012

2019



Niedersachsen

Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft,
Küsten- und Naturschutz
Betriebsstelle Hannover-Hildesheim
An der Scharlake 39
31135 Hildesheim

Autor:

Dr. Mario Schaffer, NLWKN Hannover-Hildesheim

März 2019

Titelbild: Innerste-Pegel bei Sarstedt (D. Steffen, 2012)

Inhaltsverzeichnis

1. Hintergrund	1
2. Monitoringkonzept und verwendete Methoden	1
2.1 Probenahme	1
2.2 Frachtenberechnung	1
2.3 Abflussnormierung.....	2
2.4 Gewässerzustand: Vergleich mit Umweltqualitätsnormen (UQN).....	2
3. Ergebnisse	3
3.1 Absolute Schwermetallfrachten	3
3.2 Abflussnormierte Schwermetallfrachten	4
3.3 Elementgehalte (Schwermetalle und Arsen)	6
3.4 Überprüfung der Einhaltung der Umweltqualitätsnormen	7
4. Fazit/Schlussfolgerungen	8
Literatur	9
Anlagen	10

1. Hintergrund

Bedingt durch Jahrhunderte andauernde, intensive Bergbauaktivität sowie die geogene Beschaffenheit des Harzes weisen die Harzgewässer Oker und Innerste erhöhte Schwermetallbelastungen auf (STEFFEN 2009 und 2013). Um die aktuelle Belastungssituation und deren zeitliche Entwicklung quantifizieren und einordnen zu können, werden vom NLWKN regelmäßig Schwermetalluntersuchungen in der gelösten und partikulären Phase im Unterlauf der o. g. Gewässer (monatlich) sowie der Rhume (quartalsweise) durchgeführt.

Mit dem Ziel möglichst belastbare Gewässerfrachten, als Maß für die Austräge von Schwermetallen (und Arsen) aus den Einzugsgebieten der großen Harzgewässer, zu ermitteln und somit ein differenziertes Bild der Belastungen zu erhalten, wird seit 2007 in einem Turnus von fünf Jahren ein zusätzliches Untersuchungsprogramm mit einen zweiwöchigen Probenahmeintervall durchgeführt. In diesem Kurzberichtbericht sind die Ergebnisse der letzten Sondermesskampagne 2017 denen der beiden vorangegangenen Kampagnen von 2007 (STEFFEN 2009) und 2012 (STEFFEN 2013) gegenübergestellt. Ferner wurden die Messwerte für den Zeitraum 2013 bis 2017 ausgewertet und aktualisiert.

2. Monitoringkonzept und verwendete Methoden

2.1 Probenahme

Damit die Ergebnisse direkt verglichen werden können und Trendaussagen zur Schwermetallbelastung abgeleitet werden können, ist es unabdingbar, die Untersuchungen der jeweiligen Bezugsjahre mit exakt der gleichen Methodik durchzuführen.

Aus diesem Grund kamen – analog zu 2007 und 2012 – an der Oker (Groß Schwülper) und der Innerste (Sarstedt) stationäre Durchlaufzentrifugen für die Entnahme der Schwebstoffe und somit zur Bestimmung des partikulär gebundenen Anteils an der Gesamtfracht zum Einsatz. Im Jahr 2017 wurden an der Oker insgesamt 21 und an der Innerste 23 Probenahmen durchgeführt. An der Rhume (Northeim) wurde eine mobile Durchlaufzentrifuge eingesetzt, welche aufgrund des erheblichen Mehraufwandes und der zur Verfügung ste-

henden Kapazitäten des NLWKN nur quartalsweise betrieben werden konnte (vier Untersuchungen in 2017). Folglich ist die Datendichte an dieser Messstelle zu gering, um belastbare Frachtenberechnungen durchzuführen und diese Ergebnisse können somit nur der Orientierung dienen. Der Fokus des Berichtes liegt daher auf den beiden erstgenannten Messstellen, da die hier ermittelten Jahresfrachten aufgrund der höheren Probenahmefrequenz bzw. Anzahl an Messwerten eine deutlich größere statistische Sicherheit aufweisen und somit als repräsentativer angesehen werden können. Alle Schwebstoffprobenahmen erfolgten in der Regel zu jedem Messtermin über einen Zeitraum von 24 h. Zur Bestimmung des gelösten Anteils an der Gesamtfracht wurden parallel Wasserschöpfproben entnommen und vor der Analyse membranfiltriert. Für weiterführende Informationen zur Methodik bei der Untersuchung von Schwebstoffen sei auf STEFFEN 2009 oder die NLWKN-Internetseite verwiesen.

2.2 Frachtenberechnung

Grundlage für die Abschätzung der Gesamtfrachten F bildet die sogenannte Verhältnis-Methode, welche z. B. auch zur Berechnung der in die Nordsee eingetragenen Schadstoffe gemäß der Meereschutzkonvention OSPAR (OSPAR COMMISSION 2014) angewendet wird und sich aus der Summe des gelösten ($F_{gelöst}$) und partikulären Anteils ($F_{partikulär}$) ergibt:

$$F = F_{gelöst} + F_{partikulär}$$

$$F_{gelöst} = \frac{\overline{Q_d} \cdot \sum_{i=1}^n (c_i \cdot Q_i)}{\sum_{i=1}^n Q_i} = \frac{\overline{Q_d}}{Q_i} \cdot \frac{\sum_{i=1}^n (c_i \cdot Q_i)}{n}$$

$$F_{partikulär} = \frac{\overline{Q_d} \cdot \sum_{i=1}^n (q_i \cdot Q_i \cdot S_i)}{\sum_{i=1}^n Q_i} = \frac{\overline{Q_d}}{Q_i} \cdot \frac{\sum_{i=1}^n (q_i \cdot Q_i \cdot S_i)}{n}$$

Hierbei werden zunächst die Konzentrationen c_i bzw. Gehalte q_i des jeweiligen Elements mit dem Tagesabfluss zum jeweiligen Messtermin Q_i und ggf. dem Gesamtschwebstoffgehalt S_i multipliziert und aufsummiert (n = Anzahl der Proben). Anschließend wird der mittlere Tagesabfluss zu den Probenahmezeitpunkten $\overline{Q_i}$ mit dem mittleren Jahresabfluss $\overline{Q_d}$ verglichen und die (mittlere) Fracht

mit Hilfe des resultierenden Abflussverhältnisses $\overline{Q_d}/\overline{Q_i}$ korrigiert, d. h. es wird ein linearer Zusammenhang zwischen der Fracht und dem Abfluss unterstellt. Wird z. B. ein um 10% geringerer oder höherer mittlerer Abfluss an den Messtagen $\overline{Q_i}$ im Vergleich zum mittleren Gesamtabfluss an allen Tagen des Jahres $\overline{Q_d}$ beobachtet, so erhöht bzw. verringert sich die resultierende Stofffracht im Gewässer ebenfalls um 10%.

2.3 Abflussnormierung

Um die ermittelten Frachten verschiedener Messjahre vergleichen und Änderungen (Trends) besser beurteilen zu können, wurden die absoluten Frachten der einzelnen Jahre zusätzlich auf den mittleren Jahresabfluss $\overline{Q_d}$ des jeweiligen Messjahres normiert:

$$F_{normiert} = \frac{F}{\overline{Q_d}}$$

Die resultierenden abflussnormierten Frachten ($F_{normiert}$) beziehen sich somit für alle Vergleichsjahre auf einen einheitlichen (spezifischen) mittleren Jahresabfluss von 1 m³/s. Dies hat den Vorteil, dass auf diese Weise unterschiedliche Abflussverhältnisse, z. B. eines Trocken- oder Nassjahres, berücksichtigt und miteinander verglichen werden können. Abermals liegt hier die Annahme zu Grunde, dass die Frachten linear mit dem Abfluss korrelieren. Diese Annahme scheint insbesondere bei geringeren (normalen) Abflüssen eine gute Näherung darzustellen (s. a. STEFFEN 2009). Bei sehr hohen Abflüssen (Hochwasser) werden schwermetallhaltige Flächen längere Zeit an das Gewässer angebunden oder infolge von Starkniederschlägen erodiert und die Frachten steigen gegenüber dem Abfluss überproportional an.

2.4 Gewässerzustand: Vergleich mit Umweltqualitätsnormen (UQN)

Zusätzlich zur Frachtenberechnung können einige der gemessenen Schwermetallkonzentrationen bzw. -gehalte mit den derzeit gültigen und in der Oberflächengewässerverordnung (OGewV 2016) aufgeführten Umweltqualitätsnormen (UQN) für prioritäre (Anlage 8) und flussgebietsspezifische Schadstoffe (Anlage 6) verglichen werden. UQN werden zur Bewertung des chemischen Gewässerzustands genutzt bzw. bei der Einstufung des ökologischen Zustands/Potentials als Qualitätskomponente herangezogen. Bei Konzentrationen/Gehalten unterhalb der UQN sind, nach dem derzeitigen wissenschaftlichen Erkenntnisstand, keine ökotoxikologischen Effekte bzw. negativen Auswirkungen auf das Gewässerökosystem zu erwarten. In Tabelle 1 sind die UQN für die nach OGewV 2016 geregelten Schwermetalle und Arsen aufgelistet.

Es werden zwei grundsätzliche UQN-Typen für Wasser und Schwebstoffe unterschieden. Mit Ausnahme von Quecksilber werden für jedes Element die mittleren Jahresdurchschnittskonzentrationen bzw. -gehalte aus allen verfügbaren Messwerten ermittelt und mit der geltenden Jahresdurchschnitts-UQN (JD-UQN) für Wasser bzw. Schwebstoff verglichen. Zusätzlich ist für die gelösten Metalle eine zulässige Höchstkonzentration (ZHK-UQN) definiert, welche auch nicht im Einzelfall überschritten werden darf. Für gelöstes Quecksilber (in Wasser) wurde lediglich eine ZHK-UQN festgelegt. Bereits die Überschreitung einer einzelnen UQN für ein einziges Element führt unmittelbar zu einer Abstufung des Gewässerzustands zu „nicht gut“ (One-Out-All-Out-Prinzip).

Tabelle 1: Umweltqualitätsnormen für Schwermetalle und Arsen nach OGewV 2016.

	Prioritäre Stoffe Anlage 8 (Wasser – gelöst)		Flussgebietsspezifische Stoffe Anlage 6 (Schwebstoff – partikulär)
	JD-UQN [$\mu\text{g/L}$]	ZHK-UQN [$\mu\text{g/L}$]	JD-UQN [mg/kg]
Cadmium*	0,08 – <u>0,25</u>	0,45 – 1,5	-
Blei	1,2	14	-
Quecksilber	-	0,07	-
Nickel	4	34	-
Arsen	-	-	40
Chrom	-	-	640
Kupfer	-	-	160
Zink	-	-	800

*je nach Wasserhärteklasse, bei den Harzgewässern ist in der Regel die höchste UQN anzusetzen (Klasse 5)

3. Ergebnisse

Im Folgenden werden zunächst die Jahresfrachten der Schwermetalle und Arsen für Oker, Innerste und Rhume des Jahres 2017 mit denen der Jahre 2007 und 2012 gegenübergestellt. Im Anschluss werden die absoluten Schwebstoffgehalte der Jahre 2007 bis 2017 verglichen und die Einhaltung der derzeit gültigen UQN anhand der Ergebnisse des letzten Messjahres 2017 überprüft.

3.1 Absolute Schwermetallfrachten

In Tabelle 2 sind die absoluten Schwermetallfrachten und mittleren Jahresabflüsse der drei untersuchten Harzgewässer für die Jahre 2007, 2012 und 2017 gegenübergestellt.

Der Vergleich der drei Jahre zeigt, dass die Frachten 2017 für alle Elemente deutlich höher ausfallen als in 2012 und – außer für die Rhume – etwas niedriger als in 2017 lagen. Beispielsweise betrug die Gesamtbleifracht an der Innerste 18 t im Jahr 2007 und nur noch 8,3 t im Jahr 2012. Für 2017 wurde mit 17,5 t wieder ein Wert nahe dem Ausgangsniveau von 2007 erreicht. Ein Vergleich der Jahresabflüsse von Oker und Innerste zeigt, dass diese in den Jahren 2007 und 2017 etwa doppelt so hoch lagen wie im Jahr 2012. Da die Frachten, wie in Kapitel 2 erwähnt, mit dem Abfluss korrelieren, sind die Unterschiede vor allem auf die unterschiedlichen Abflussverhältnisse in den betrachteten Jahren zurückzuführen. Aufgrund der extremen Hochwassersituation im Juli 2017 im südlichen Niedersachsen (ANHALT ET AL. 2017) konnten an der Oker und Innerste die für Ende Juli geplanten Probenahmen nicht stattfinden. Folglich konnten durch dieses Ereignis potentiell zusätzlich aufgetretene, erosionsbedingte Schwermetallfreisetzungen bei der Frachtenberechnung nicht berücksichtigt werden.

Die berechneten Frachten für die Rhume an der Messstelle Northeim zeigen ein deutlich anderes Bild als die Oker und Innerste. Dies ist vor allem auf eine Messung - direkt am Folgetag eines lokalen Starkregenereignisses (konvektives Niederschlagsereignis, „Sommergewitter“) - im Juni zurückzuführen (Abb. 1), bei der ein etwa 50-fach höherer Schwebstoffgehalt (1318 mg/L) als üblich (20-30 mg/L) im Fluss beobachtet wurde. Zudem waren die Werte für im Wasser gelöstes Kupfer stark erhöht und das Flusswasser wies eine starke, rotbraune Färbung auf, woraus geschlossen werden kann, dass niederschlagsbedingte

Bodenerosionen, Abschwemmungen, usw. stattgefunden haben müssen. Da der Gesamtschwebstoffgehalt neben den Schwermetallgehalten direkt in die Frachtenberechnung einfließt, ergeben sich für dieses Einzelereignis folglich extrem hohe und nicht für den gesamten Jahresverlauf repräsentative Frachten, welche aufgrund der geringen Anzahl weiterer Messungen im Jahresmittel nicht kompensiert („herausgemittelt“) werden.

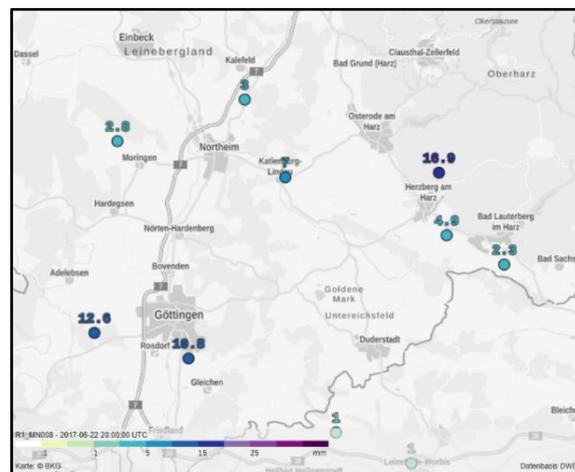
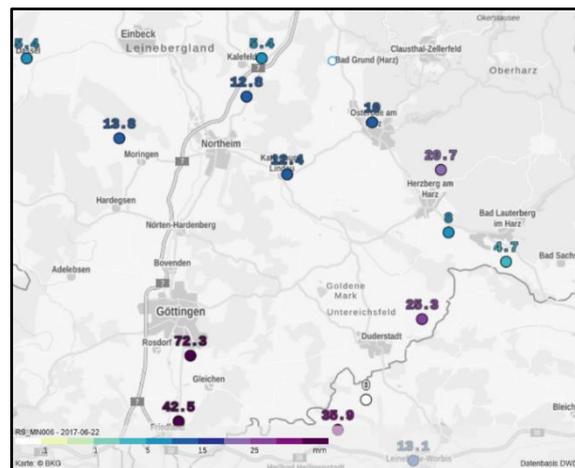


Abb. 1: Niederschlagsverteilung und -summen im südlichen Niedersachsen (Einzugsgebiet der Rhume) am 22.06.17, dem Tag vor der Probenahme an der Messstelle Ruhme/Northeim. Tagessummen (Bild oben) und Stundensummen für 20 Uhr (Bild unten) an verschiedenen Standorten. Zum Vergleich: Die mittlere Monatssumme für Göttingen im Juni beträgt etwa 81 mm. Die Tageshöchsttemperatur für Göttingen lag am 22.06.17 bei 33,5 °C. (Quelle: Deutscher Wetterdienst, Climate Data Center)

Tabelle 2: Absolute Schwermetallfrachten (partikulär, gelöst, gesamt) von Oker, Innerste und Rhume – Vergleich der Jahre 2007, 2012 und 2017

Absolute Frachten	$F_{\text{partikulär}}$ [t/a]			$F_{\text{gelöst}}$ [t/a]			F_{gesamt} [t/a]			$F_{\text{partikulär}}/F_{\text{gesamt}}$ [%]		
	2007	2012	2017	2007	2012	2017	2007	2012	2017	2007	2012	2017
Oker												
Chrom	0,61	0,24	0,57	0,44	0,10	0,12	1,10	0,34	0,69	55	71	83
Kupfer	1,50	0,44	1,21	1,80	1,10	1,52	3,20	1,60	2,72	47	28	44
Nickel	0,43	0,16	0,56	2,00	0,61	0,92	2,40	0,77	1,49	18	21	38
Zink	24,0	8,4	20,6	50,0	19,0	27,5	74,0	27,0	48,1	32	31	43
Blei	4,00	1,30	3,03	0,66	0,16	0,32	4,70	1,40	3,35	85	89	91
Cadmium	0,34	0,11	0,22	0,24	0,10	0,18	0,58	0,20	0,40	59	51	56
Quecksilber	0,014	0,006	0,010	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Arsen	0,28	0,10	0,31	0,85	0,31	0,53	1,10	0,42	0,84	25	25	37
Schwebstoff	6500	2960	5078	-	-	-	6500	2960	5078	100	100	100
Abfluss [m ³ /s]							15,4	7,6	11,9			
Innerste												
Chrom	1,20	0,31	0,84	0,54	0,09	0,10	1,80	0,40	0,94	67	77	89
Kupfer	1,40	0,57	1,22	1,20	0,98	1,38	2,70	1,60	2,60	52	37	47
Nickel	0,71	0,19	0,53	1,30	0,32	0,88	2,00	0,51	1,40	36	37	38
Zink	30,0	14,0	27,0	58,0	23,0	41,9	88,0	37,0	69,0	34	37	39
Blei	17,00	7,80	16,82	1,20	0,48	0,65	18,00	8,30	17,47	94	94	96
Cadmium	0,19	0,09	0,15	0,21	0,08	0,10	0,40	0,16	0,25	48	53	59
Quecksilber	0,012	0,006	0,012	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Arsen	0,33	0,07	0,23	0,25	0,14	0,32	0,58	0,22	0,55	57	34	42
Schwebstoff	15500	5400	4128	-	-	-	15500	5400	4128	100	100	100
Abfluss [m ³ /s]							15,6	7,9	14,7			
Rhume												
Chrom	1,20	0,11	10,14	0,45	0,09	0,13	1,70	0,19	10,28	71	56	99
Kupfer	1,20	0,11	5,63	1,40	0,72	4,18	2,60	0,83	9,82	42	13	57
Nickel	0,75	0,07	5,95	1,30	0,25	0,52	2,10	0,32	6,47	36	21	92
Zink	10,0	1,2	36,2	22,0	6,2	13,4	32,0	7,4	49,6	31	16	73
Blei	4,80	0,55	8,39	0,53	0,10	0,16	5,30	0,65	8,56	91	85	98
Cadmium	0,03	0,00	0,07	0,05	0,02	0,02	0,08	0,03	0,09	38	15	80
Quecksilber	0,004	0,000	0,016	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Arsen	0,49	0,05	3,30	1,10	0,56	1,12	1,60	0,06	4,42	31	8	75
Schwebstoff	18500	1820	107336	-	-	-	18500	1820	107336	100	100	100
Abfluss [m ³ /s]							28,0	12,1	11,9			

3.2 Abflussnormierte Schwermetallfrachten

In Tabelle 3 sind die abflussnormierten (relativen) Schwermetallfrachten der drei untersuchten Harzgewässer für die Jahre 2007, 2012 und 2017 gegenübergestellt, wodurch ein besserer (direkter)

Vergleich der Frachten trotz variierender Abflussverhältnisse ermöglicht wird.

Für die Oker und Innerste (Abb. 2) zeigt sich insbesondere für die Metalle Chrom, Nickel, Zink und Cadmium eine tendenzielle Abnahme der Schwermetallfrachten seit 2007 (Abnahme >10%). Für Kupfer, Blei und Arsen ist keine Abnahme zu be-

obachten. Die generell deutlich niedrigeren (normierten) Frachten für alle Elemente außer Kupfer im Jahr 2012 sind vor allem auf die im Vergleich

zu 2007 und 2017 sehr niedrigen Abflüsse zurückzuführen, bei denen die Anwendbarkeit der Abflussnormierung und somit die Vergleichbarkeit an ihre Grenzen stößt (Kap. 2.3).

Tabelle 3: Abflussnormierte (spezifische) Schwermetallfrachten (pro 1 m³/s, partikulär, gelöst, gesamt) von Oker, Innerste und Rhume – Vergleich der Jahre 2007, 2012 und 2017. Zusätzlich ist der Anteil der normierten Frachten im Vergleich zum Referenzjahr 2007 (=100%) angegeben (s. a. Abb. 2).

Normierte Frachten	$F_{\text{partikulär}}$ [t/a]			$F_{\text{gelöst}}$ [t/a]			F_{gesamt} [t/a]			$F_{\text{gesamt}}/F_{\text{gesamt,2007}}$ [%]		
	2007	2012	2017	2007	2012	2017	2007	2012	2017	2007	2012	2017
Oker												
Chrom	0,04	0,03	0,05	0,03	0,01	0,01	0,07	0,05	0,06	100	63	81
Kupfer	0,10	0,06	0,10	0,12	0,15	0,13	0,21	0,21	0,23	100	102	110
Nickel	0,03	0,02	0,05	0,13	0,08	0,08	0,16	0,10	0,13	100	65	80
Zink	1,56	1,11	1,73	3,25	2,52	2,32	4,81	3,58	4,05	100	74	84
Blei	0,26	0,17	0,26	0,04	0,02	0,03	0,31	0,19	0,28	100	61	92
Cadmium	0,02	0,01	0,02	0,02	0,01	0,02	0,04	0,03	0,03	100	70	90
Arsen	0,02	0,01	0,03	0,06	0,04	0,04	0,07	0,06	0,07	100	78	99
Schwebstoff	422	392	428	-	-	-	422	392	428	100	93	101
Abfluss [m ³ /s]							1,0	1,0	1,0	100	49	77
Innerste												
Chrom	0,08	0,04	0,06	0,03	0,01	0,01	0,12	0,05	0,06	100	44	56
Kupfer	0,09	0,07	0,08	0,08	0,12	0,09	0,17	0,20	0,18	100	117	102
Nickel	0,05	0,02	0,04	0,08	0,04	0,06	0,13	0,06	0,10	100	50	74
Zink	1,92	1,77	1,84	3,72	2,90	2,85	5,64	4,67	4,69	100	83	83
Blei	1,09	0,98	1,14	0,08	0,06	0,04	1,15	1,05	1,19	100	91	103
Cadmium	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,02	0,02	100	79	67
Arsen	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,04	0,03	0,04	100	75	100
Schwebstoff	994	682	281	-	-	-	994	682	223	100	69	22
Abfluss [m ³ /s]							1,0	1,0	1,0	100	51	94
Rhume												
Chrom	0,04	0,01	0,85	0,02	0,01	0,01	0,06	0,02	0,87	100	26	1426
Kupfer	0,04	0,01	0,47	0,05	0,06	0,35	0,09	0,07	0,83	100	74	890
Nickel	0,03	0,01	0,50	0,05	0,02	0,04	0,08	0,03	0,54	100	35	726
Zink	0,36	0,10	3,05	0,79	0,51	1,13	1,14	0,61	4,18	100	54	365
Blei	0,17	0,05	0,71	0,02	0,01	0,01	0,19	0,05	0,72	100	28	381
Cadmium	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	100	71	259
Arsen	0,02	0,00	0,28	0,04	0,05	0,09	0,06	0,00	0,37	100	9	652
Schwebstoff	661	150	9041	-	-	-	661	150	9041	100	23	1368
Abfluss [m ³ /s]							1,0	1,0	1,0	100	43	56

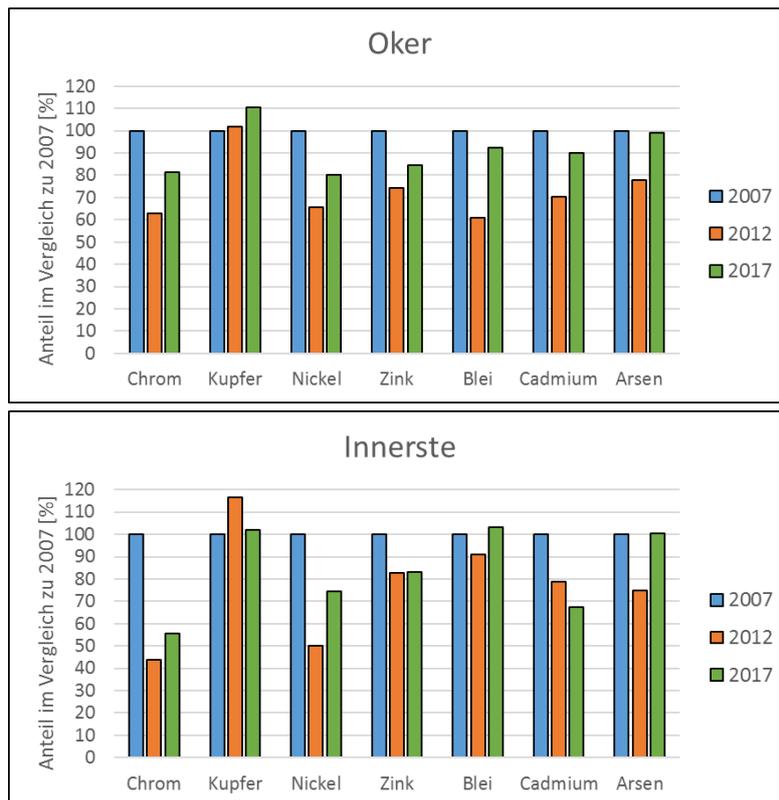


Abb. 2: Normierte Schwermetallfrachten der Jahre 2012 und 2017 im Vergleich zu denen des Jahres 2007 (Jahresfracht 2007 = 100%).

Aufgrund der deutlich geringeren Messfrequenz und enormen Schwankungsbreite der Messdaten an der Rhume – insbesondere im Jahr 2017 - sind die Daten an dieser Messstelle als nicht repräsentativ anzusehen, weshalb auf einen Vergleich bzw. weitergehende Interpretation verzichtet wird (siehe Kap. 3.1). Dies zeigt sich vor allem für die Werte des Jahres 2017, bei denen teilweise eine Frachterhöhung von mehr als Faktor 10 formal berechnet wurde (Tab. 3). Nichtsdestotrotz zeigt sich am Beispiel der Rhume sehr gut, wie stark sich Schwermetallausträge zeitlich verändern können. Frachtenberechnungen sollten daher sehr sorgfältig durchgeführt und mit äußerster Vorsicht interpretiert werden. Dies gilt insbesondere bei schlechter Datenlage und Extremereignissen.

3.3 Elementgehalte (Schwermetalle und Arsen)

Zusätzlich zu den bisher betrachteten Gewässerfrachten sind in Tabelle 4 und Abbildung A1-A3 (im Anhang) die mittleren Elementgehalte der Einzeljahre des Zeitraums 2007-2017 vergleichend dargestellt.

In den Jahren zwischen den, sich alle fünf Jahre wiederholenden, Sondermesskampagnen wurden

die Untersuchungen mit einer verminderten Probenfrequenz (max. zwölf bzw. vier bis sechs Probenahmen) fortgeführt (graue Balken in Abb. A1-A3). Eine belastbare Frachtenberechnung ist jedoch nicht möglich.

In Abbildung A1-A3 ist ersichtlich, dass die Elementgehalte generell sehr großen Schwankungen unterliegen und allgemeine Aussagen zur Veränderung der Schwebstoffbelastungen bzw. Trends nur sehr schwer oder überhaupt nicht (zuverlässig) ableitbar sind. Die arithmetischen Mittelwerte bezogen auf den Gesamtzeitraum liegen meist im Bereich des Bezugsjahres ($100 \pm 10\%$). Lediglich für die Oker könnte eventuell eine leichte Abnahme der Gehalte bei allen Elementen außer für Arsen postuliert werden, da die Mittelwerte für den Gesamtzeitraum um mehr als 10% kleiner im Vergleich zum Bezugsjahr 2007 sind. Basierend auf diesem 10%-Kriterium käme an der Innerste lediglich für Cadmium eine tendenzielle Abnahme der Gehalte in Betracht. An der Rhume ist ebenfalls tendenziell eine Abnahme einiger Elementgehalte zu verzeichnen (Blei, Cadmium, Quecksilber und Arsen). Ein Anstieg der mittleren Gehalte von mehr als 10% wird an keiner Messstelle bzw. für kein Element vorgefunden, wobei dies nicht unbedingt für einzelne Jahre gilt.

Tabelle 4: Jahresmittelwerte der Elementgehalte in mg/kg bezogen auf die Trockensubstanz (TS) in Schwebstoffen von Oker, Innerste und Rhume im Zeitraum von 2007 bis 2017 (MW = Mittelwert).

Element- gehalte	\bar{q} [mg/kg TS]											
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	MW
Oker												
Chrom	86	72	62	68	51	69	76	68	67	78	66	69
Kupfer	240	223	167	200	143	185	174	227	204	195	179	194
Nickel	63	53	57	55	42	51	58	56	53	58	52	54
Zink	4339	3700	4085	4188	2883	3652	3645	4360	4130	3491	3275	3795
Blei	723	531	515	651	487	587	564	746	666	663	541	607
Cadmium	61	44	40	56	41	43	42	54	48	37	34	45
Quecksilber	2,46	2,08	1,75	2,08	1,91	2,32	1,73	2,30	2,07	1,79	1,63	2,01
Arsen	49	49	40	45	42	47	48	53	54	50	49	48
Innerste												
Chrom	56	59	55	53	53	55	56	60	56	61	60	57
Kupfer	113	121	130	105	114	98	110	105	113	110	96	110
Nickel	35	37	34	32	33	33	34	36	33	36	36	34
Zink	2757	2582	3000	2373	2633	2948	2973	3236	3018	2883	2567	2815
Blei	1490	1515	1511	1302	1522	1517	1718	1791	1566	1442	1388	1524
Cadmium	20	16	19	15	15	18	19	20	18	18	16	18
Quecksilber	0,95	0,86	0,84	0,76	0,88	0,93	0,95	1,03	1,00	1,04	0,89	0,92
Arsen	17	18	10	12	15	14	16	17	14	21	19	16
Rhume												
		*										
Chrom	64	73	55	58	55	59	57	57	64	60	93	63
Kupfer	64	61	61	63	57	57	49	98	70	60	63	64
Nickel	41	45	37	38	37	36	35	40	39	39	56	40
Zink	655	563	580	663	618	643	540	785	660	570	533	619
Blei	308	243	197	313	270	298	215	275	303	254	203	262
Cadmium	2,0	1,4	1,6	1,9	1,9	2,0	1,5	2,4	1,7	1,6	1,4	1,8
Quecksilber	0,24	0,19	0,17	0,23	0,21	0,22	0,15	0,18	0,21	0,19	0,19	0,20
Arsen	30	22	19	22	23	25	21	25	23	21	27	23

*Korrigierte Daten (im Vgl. zu STEFFEN 2013)

3.4 Überprüfung der Einhaltung der Umweltqualitätsnormen

In Tabelle 5 sind die durchschnittlichen und maximalen Elementkonzentrationen und -gehalte des Jahres 2017 aufgelistet und es wurde eine Bewertung nach Maßgabe der elementspezifischen JD- und ZHK-UQN (Tabelle 1) durchgeführt.

Insgesamt wurden an der Oker fünf, an der Innerste zwei und an der Rhume keine Überschreitungen der UQN (von jeweils elf möglichen) festgestellt. Während die Rhume keine auffällige

Schwermetallbelastung aufweist, unterscheidet sich das Muster der Überschreitungen zwischen Oker und Innerste deutlich.

Der Vergleich der prioritären (gelösten) Schwermetalle zeigt, dass Oker und Innerste hohe Belastungen an Cadmium bzw. Blei aufweisen. Zudem zeigt der Vergleich der maximalen Konzentrationen des Bleis in der Oker bzw. des Cadmiums in der Innerste, dass diese deutlich über der JD-UQN liegen und somit - trotz derzeitiger Einhaltung der UQN – für diese Elemente ebenfalls noch keine Entwarnung gegeben werden kann, da zukünftige

UQN-Überschreitungen nicht unwahrscheinlich sind.

Für die flussgebietsspezifischen Elemente, deren Feststoffgehalte für die Bewertung genutzt werden, zeigt sich, dass die Schwebstoffe und Sedimente der Oker insgesamt etwas stärker als die der Innerste belastet sind. In der Oker führen die Gehalte der Elemente Arsen, Kupfer sowie Zink und in der Innerste nur Zink zu einer Überschreitung der JD-UQN. In beiden Gewässern ist die UQN für Zink mehr als dreifach überschritten. Aufgrund der Gehalte nahe der UQN von 40 mg/kg für Arsen und 160 mg/kg Kupfer sind die Überschreitungen in der Oker – relativ gesehen - deutlich geringer. In der Innerste sollte insbesondere

Kupfer weiter beobachtet werden, da für dieses Metall fast 70% der UQN erreicht werden.

Der Vergleich mit den UQN macht deutlich, dass allein die Schwermetallbelastungen in Oker und Innerste zu einer Abstufung des chemischen Gewässerzustandes („nicht gut“) bzw. ökologischen Zustand/Potentials (bestenfalls „mäßig“) führen und weitere geeignete Emissionsminderungsmaßnahmen (z. B. Haldenabdeckungen, Bodenabtragungen, Behandlung von Stollenwässern) an den Eintragsquellen notwendig sind, um die Schwermetallfreisetzung zu reduzieren und einen guten Gewässerzustand überhaupt erreichen zu können.

Tabelle 5: Auswertung und Vergleich der Jahresmittelwerte und Maxima gelöster bzw. partikulär gebundener Elemente (Schwermetalle und Arsen) mit den Umweltqualitätsnormen nach OGewV 2016. (grün = Einhaltung der UQN, rot = Überschreitung der UQN).

		Vergleich mit Umweltqualitätsnormen					
		Oker		Innerste		Rhume	
	Einheit	JD	Max	JD	Max	JD	Max
Prioritäre Stoffe (Wasser – gelöst)							
Cadmium*	µg/L	0,35	2,10	0,19*	0,42	0,03	0,05
Blei	µg/L	0,55	4,40	1,21	3,30	0,32	0,44
Quecksilber	µg/L	-	0,005	-	0,008	-	<BG
Nickel	µg/L	2,41	5,10	1,68	4,10	1,08	1,60
Flussgebietsspezifische Stoffe (Schwebstoff – partikulär)							
Arsen	mg/kg TS	49		19		27	
Chrom	mg/kg TS	66		60		93	
Kupfer	mg/kg TS	179		111		63	
Zink	mg/kg TS	3275		2567		533	

*Wasserhärteklasse 5

4. Fazit/Schlussfolgerungen

Analog zu den Jahren 2007 und 2012 wurden vom NLWKN im Jahr 2017 zweiwöchentlich Untersuchungen des Schwebstoffs sowie der gelösten Wasserphase an der Oker (Groß Schwülper) und der Innerste (Sarstedt) durchgeführt, um möglichst aussagekräftige Schwermetallfrachten der größten Harzgewässer bestimmen und mit den Messkampagnen der Vorjahre vergleichen zu können. Zusätzlich wurde die Rhume (Northeim)

quartalsweise beprobt, wobei die berechneten Frachten, aufgrund der deutlich geringeren Probenahmehäufigkeit lediglich der Orientierung dienen.

Der Vergleich der drei Jahre zeigt, dass die absoluten Frachten 2017 für alle Schwermetalle deutlich höher (etwa doppelt so hoch) als 2012 und etwas niedriger als in 2007 ausfielen, was vor allem auf die unterschiedlichen Abflussverhältnisse in den betrachteten Jahren zurückgeführt werden kann. Auf Basis der abflussnormierten Daten zeigt sich für Oker und Innerste insbesondere für die

Metalle Chrom, Nickel, Zink und Cadmium eine tendenzielle (relative) Abnahme der Schwermetallfrachten seit 2007 (Abnahme >10%). Dies gilt jedoch nicht für Kupfer, Blei und Arsen. Hinweise auf eine Erhöhung der Schwermetallfrachten wurden nicht gefunden.

Die Berücksichtigung der Elementgehalte aller Jahre, also auch der Jahre zwischen den Sondermesskampagnen, ergibt ein vergleichbares Bild. Gleichwohl zeigt sich eine große Spannweite (Streuung) der Messwerte und verdeutlicht, dass zuverlässige Frachtenberechnungen und Trendaussagen nicht oder nur auf Basis einer guten Datenlage mit vielen Messwerten möglich sind.

Insbesondere am Beispiel der Rhume (Juni-Messung) konnte eindrucksvoll gezeigt werden, dass die ermittelten Gewässerfrachten hochvariabel sein können und lediglich eine Momentaufnahme darstellen. Die zugrundeliegenden, sehr komplexen Sedimentations- und Remobilisierungsprozesse werden maßgeblich durch die Gewässerdynamik bestimmt und können ereignisbezogen – insbesondere im Hochwasserfall - zu extremen Unterschieden führen, welche trotz hohen Messaufwands nur selten mit ausreichender Genauigkeit abgebildet werden können. Diese Unsicherheiten müssen bei der Interpretation von Zeitreihen berücksichtigt werden. Trendaussagen für die Rhume sind demzufolge auf Grundlage der vorliegenden Messdaten unzulässig und die postulierten Tendenzen an Oker und Innerste müssen ebenfalls vorsichtig interpretiert werden.

In Bezug auf Überschreitungen der UQN für Schwermetalle wurden an der Oker fünf (für Cadmium, Arsen, Kupfer und Zink), an der Innerste zwei (Blei und Zink) und an der Rhume keine Überschreitungen in Wasser und Schwebstoffen registriert. Der chemische Gewässerzustand ist somit „nicht gut“ und weitere geeignete Emissionsminderungsmaßnahmen an den Eintragsquellen scheinen notwendig, um die Schwermetallfreisetzung zu minimieren und zukünftig einen „guten“ Gewässerzustand erreichen zu können. Aufgrund der oben genannten Unsicherheiten und natürlichen Schwankungen sowie der nach wie vor vorhandenen lateralen Belastungen im Einzugsgebiet der betrachteten Fließgewässer, wird ein Maßnahmenerfolg jedoch nur sehr schwer und über sehr lange Zeiträume nachzuweisen sein.

Danksagung

Der Autor möchte sich an dieser Stelle bei seinem langjährigen Vorgänger Dr. Dieter Steffen für die wertvollen Vorarbeiten und die Etablierung des oben beschriebenen Sondermessprogramms bedanken. Allen Kolleginnen und Kollegen der Betriebsstelle Hannover-Hildesheim, die an diesem Vorhaben beteiligt waren sowie der Betriebsstelle Süd (Göttingen) sei für die Bereitstellung der Abflussdaten ebenfalls gedankt.

Literatur

- ANHALT, M., BINDICK, S., MEYER, S., 2017. Das Juli-Hochwasser 2017 im südlichen Niedersachsen. *NLWKN-Bericht 09/17*.
(Internet: <https://bit.ly/2Hv47kX>)
- OSPAR Commission, 2014. Riverine Inputs and Direct Discharges Monitoring Programme (RID). *Agreement 04/14*.
(Internet: <https://bit.ly/2XXW3PN>)
- STEFFEN, D., 2007. Untersuchung von Schwebstoffen. *NLWKN-Bericht 02/07*.
(Internet: <https://bit.ly/2VPZ3vA>)
- STEFFEN, D., 2009. Schwermetallfrachten der Harzgewässer Oker, Innerste und Rhume des Jahres 2007 – Betrachtung des partikulär gebundenen und gelösten Transports. *NLWKN-Bericht 03/09*. (Internet: <https://bit.ly/2u3IL7p>)
- STEFFEN, D., 2013. Schwermetallfrachten der Harzgewässer Oker, Innerste und Rhume – aktuelle Jahresfrachten 2012 im Vergleich zu 2007. *NLWKN-Bericht 11/13*.
(Internet: <https://bit.ly/2T2XgBv>)
- OGewV 2016. Oberflächengewässerverordnung vom 20. Juni 2016 (BGBl. I S. 1373).
(Internet: <https://bit.ly/2TLjI6p>)

Anlagen

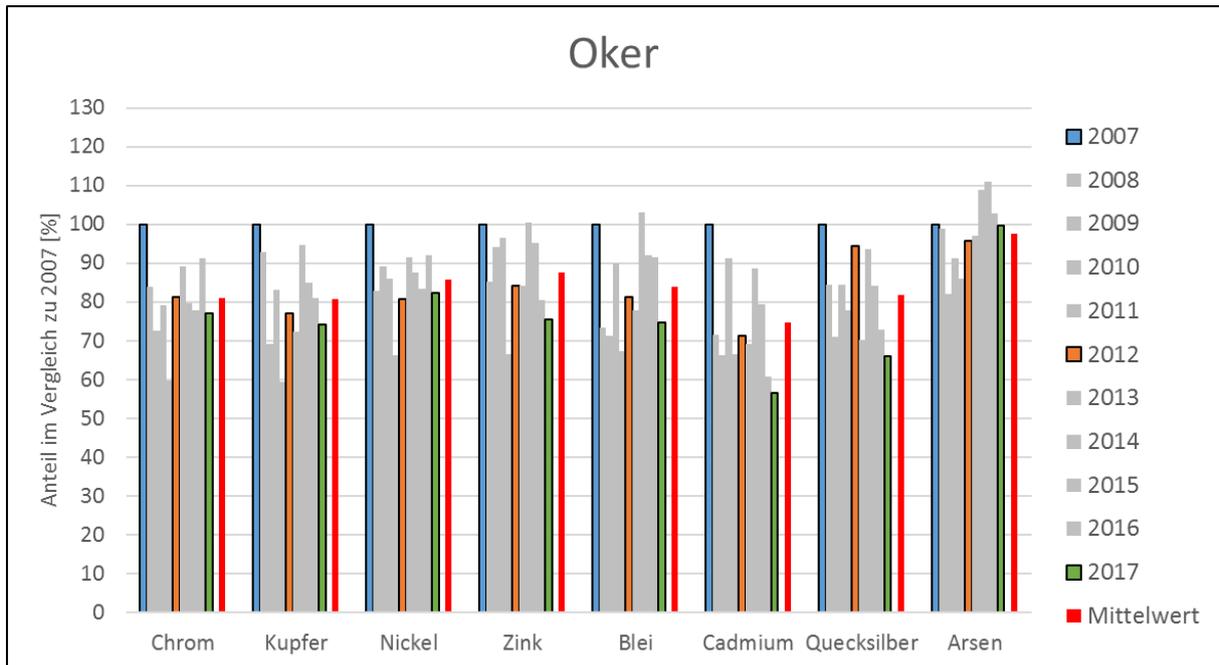


Abb. A1: Normierte, mittlere Elementgehalte der Oker im Zeitraum 2007 bis 2017 im Vergleich zu denen des Jahres 2007 (Jahresgehalte 2007 = 100%).

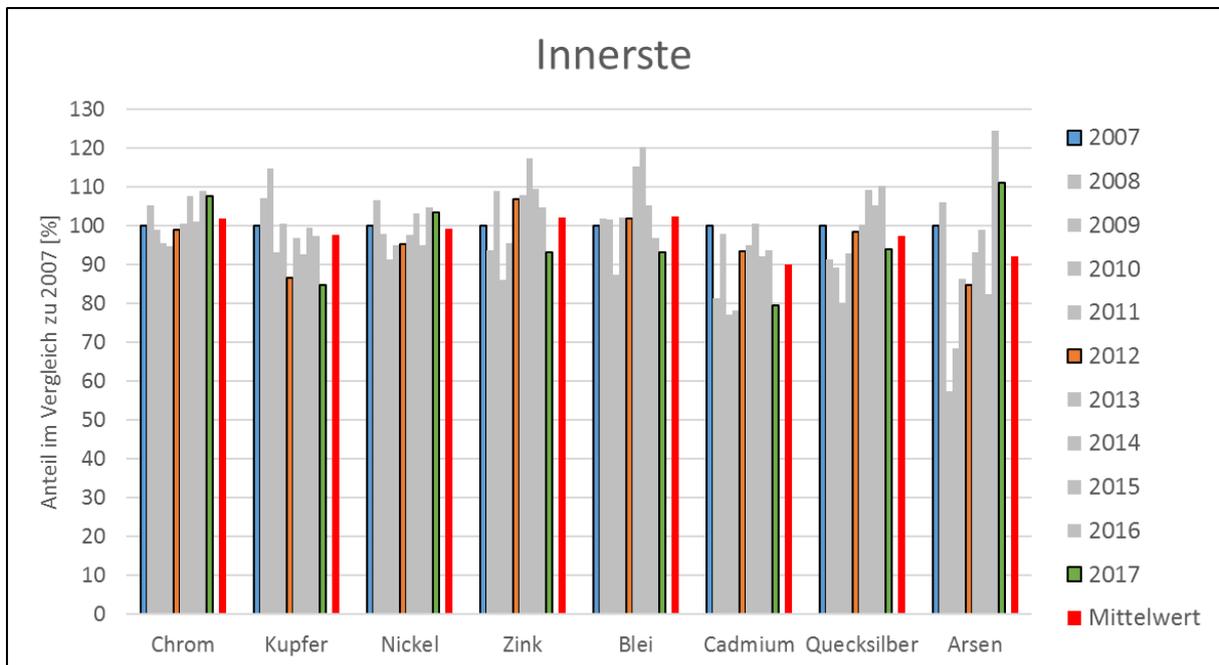


Abb. A2: Normierte, mittlere Elementgehalte der Innerste im Zeitraum 2007 bis 2017 im Vergleich zu denen des Jahres 2007 (Jahresgehalte 2007 = 100%).

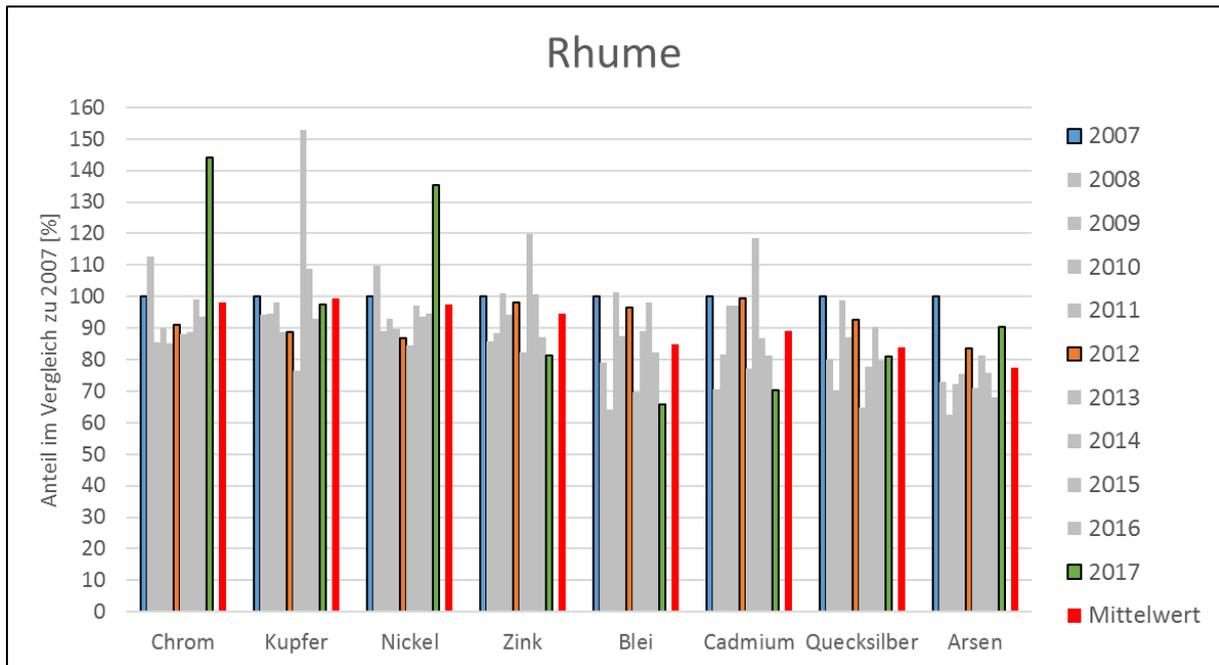


Abb. A3: Normierte, mittlere Elementgehalte der Rhume im Zeitraum 2007 bis 2017 im Vergleich zu denen des Jahres 2007 (Jahresgehalte 2007 = 100%).