

November 2013

## **Schwermetallfrachten der Harzgewässer Oker, Innerste und Rhume – aktuelle Jahresfrachten 2012 im Vergleich zu 2007**

### **Veranlassung**

Da die Harzgewässer Oker und Innerste erhöhte Schwermetallbelastungen aufweisen, wurden vom NLWKN im Jahr 2007 im Rahmen eines Projektes spezielle Untersuchungen sowohl im Schwebstoff als auch in der dazugehörigen gelösten Wasserphase an den Gütemessstationen Groß Schwülper und Sarstedt durchgeführt. Zur Schwebstoffprobenahme wurden stationäre Durchlaufzentrifugen eingesetzt, die über jeweils 24 Stunden im Einsatz waren. Insgesamt wurden innerhalb dieses Jahres 23 Untersuchungen durchgeführt, so dass die hieraus resultierenden Jahresfrachten als durchaus repräsentativ anzusehen sind.

Darüber hinaus wurde die Rhume an der Gütemessstation Northeim in die Untersuchungen einbezogen, allerdings mit lediglich 6 Untersuchungen. Da hier eine mobile Zentrifuge eingesetzt werden musste und somit der Aufwand der Schwebstoffprobenahme größer war, reichten die zur Verfügung stehenden Kapazitäten des NLWKN für eine größere Probenahmefrequenz nicht aus. Diese Frachtenergebnisse sind deshalb als lediglich orientierend anzusehen. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind im März 2009 veröffentlicht worden; der Bericht ist informationshalber unten angehängt.

Ziel des Projektes war es zudem, nach Ablauf von 5 Jahren exakt nach dem gleichen Muster von 2007 wiederholt Untersuchungen durchzuführen, um die entsprechenden Jahresfrachten miteinander vergleichen zu können: haben sich die Schwermetallfrachten der betrachteten Harzgewässer verringert oder sind sie angestiegen?

### **Ergebnisse**

Im Folgenden werden zunächst die Jahresfrachten der Oker, Innerste und Rhume des Jahres 2012 mit denen des Jahres 2007 verglichen und danach die Schwermetall-Schwebstoffgehalte der Jahre 2007, 2008, 2009, 2010, 2011 und 2012.

### **Schwermetallfrachten**

In Tab. 1 sind die Schwermetall-Jahresfrachten und mittleren Jahresabflüsse des Jahres 2007 denen von 2012 gegenübergestellt.

Tab. 1: Schwermetallfrachten von Oker, Innerste und Rhume des Jahres 2007 und 2012 – partikulär (am Schwebstoff) gebunden und gelöst

	Partikulär gebunden	Gelöste Wasserphase	Gesamt, Summe von 2 + 3	Anteil partikulär gebunden
	t/a	t/a	t/a	%
1	2	3	4	5
<b>Oker</b>				
Chrom	0,61 / 0,24	0,44 / 0,099	1,1 / 0,34	55 / 71
Kupfer	1,5 / 0,44	1,8 / 1,1	3,2 / 1,6	47 / 28
Nickel	0,43 / 0,16	2,0 / 0,61	2,4 / 0,77	18 / 21
Zink	24 / 8,4	50 / 19	74 / 27	32 / 31
Blei	4,0 / 1,3	0,66 / 0,16	4,7 / 1,4	85 / 89
Cadmium	0,34 / 0,11	0,24 / 0,099	0,58 / 0,20	59 / 51
Quecksilber	0,014 / 0,0061	-	-	-
Arsen	0,28 / 0,10	0,85 / 0,31	1,1 / 0,42	25 / 25
Schwebstoff	6500 / 2960	-	6500 / 2960	100 / 100
Mittlerer Abfluss [m <sup>3</sup> /s]			15,4 / 7,55	
<b>Innerste</b>				
Chrom	1,2 / 0,31	0,54 / 0,092	1,8 / 0,40	67 / 77
Kupfer	1,4 / 0,57	1,2 / 0,98	2,7 / 1,6	52 / 37
Nickel	0,71 / 0,19	1,3 / 0,32	2,0 / 0,51	36 / 37
Zink	30 / 14	58 / 23	88 / 37	34 / 37
Blei	17 / 7,8	1,2 / 0,48	18 / 8,3	94 / 94
Cadmium	0,19 / 0,085	0,21 / 0,076	0,40 / 0,16	48 / 53
Quecksilber	0,012 / 0,0057	-	-	-
Arsen	0,33 / 0,074	0,25 / 0,14	0,58 / 0,22	57 / 34
Schwebstoff	15500 / 5400	-	15500 / 5400	100 / 100
Mittlerer Abfluss [m <sup>3</sup> /s]			15,6 / 7,92	
<b>Rhume</b>				
Chrom	1,2 / 0,11	0,45 / 0,085	1,7 / 0,19	71 / 56
Kupfer	1,2 / 0,11	1,4 / 0,72	2,6 / 0,83	42 / 13
Nickel	0,75 / 0,066	1,3 / 0,25	2,1 / 0,32	36 / 21
Zink	10 / 1,2	22 / 6,2	32 / 7,4	31 / 16
Blei	4,8 / 0,55	0,53 / 0,098	5,3 / 0,65	91 / 85
Cadmium	0,031 / 0,0037	0,051 / 0,021	0,082 / 0,025	38 / 15
Quecksilber	0,0038 / 0,00041	-	-	-
Arsen	0,49 / 0,049	1,1 / 0,56	1,6 / 0,06	31 / 8,1
Schwebstoff	18500 / 1820	-	18500 / 1820	100 / 100
Mittlerer Abfluss [m <sup>3</sup> /s]			28 / 12,1	

Aus Tab. 1 geht hervor, dass die im Jahr 2012 ermittelten Jahresfrachten ausnahmslos deutlich niedriger lagen als die des Jahres 2007. Während beispielsweise die Gesamtzinkfrachten 2007 in der Oker, Innerste und Rhume noch 74 t/a, 88 t/a und 32 t/a betragen, waren es 2012 lediglich 27 t/a, 37 t/a und 7,4 t/a. Ist die Schwermetallbelastung der betrachteten Harzgewässer in diesem Zeitraum wirklich dermaßen stark zurückgegangen?

Betrachtet man die jeweiligen mittleren Jahresabflüsse, so wird deutlich, dass diese im Jahr 2007 um etwa den Faktor 2 höher lagen als 2012.

Dass die Schwermetallfrachten vom jeweiligen Abfluss abhängig sind, ist bekannt und dies zeigten auch die Untersuchungen des Jahres 2007 (siehe unten).

Den Abbildungen 1 – 3 können die Relationen entnommen werden, die Frachten von 2007 wurden als 100 % angesetzt, die von 2012 wurden entsprechend umgerechnet.

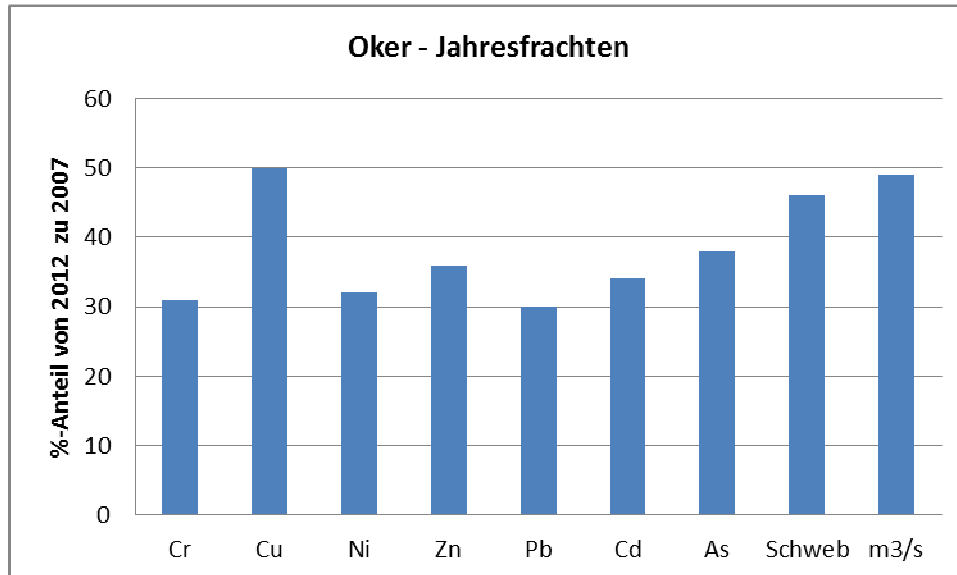


Abb. 1: Schwermetallfrachten und mittlerer Jahresabfluss 2012 der Oker in % zu denen des Jahres 2007 (Frachten des Jahres 2007 = 100 %)

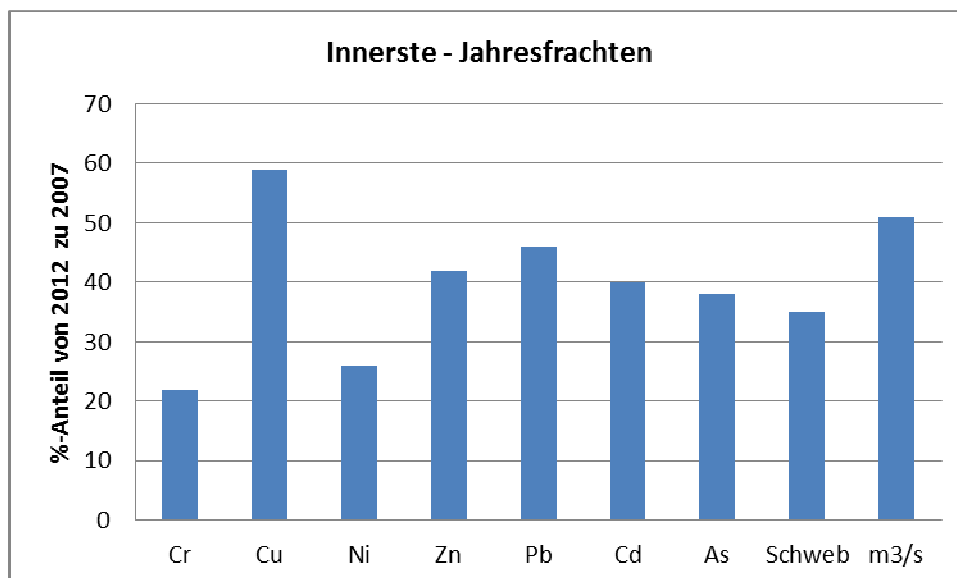


Abb. 2: Schwermetallfrachten und mittlerer Jahresabfluss 2012 der Innerste in % zu denen des Jahres 2007 (Frachten des Jahres 2007 = 100 %)

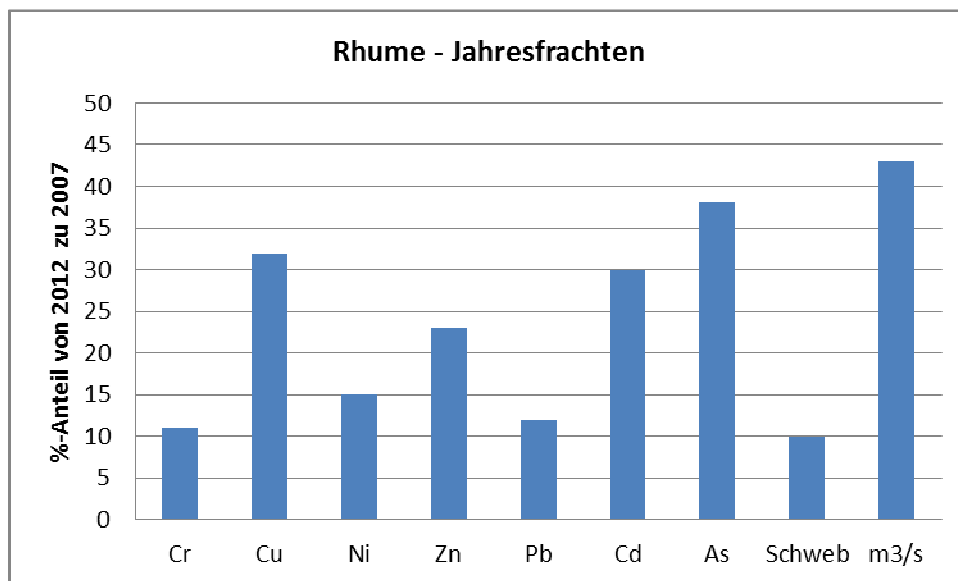


Abb. 3: Schwermetallfrachten und mittlere Jahresabfluss 2012 der Rhume in % zu denen des Jahres 2007 (Frachten des Jahres 2007 = 100 %)

### Normierte Schwermetallfrachten

Aufgrund der unterschiedlichen Jahresabflüsse, wobei 2012 ein Jahr mit vergleichsweise deutlich geringerem Abfluss und geringeren Niederschlägen war, wurden die Jahresfrachten von 2012 entsprechend dem jeweiligen Jahresabfluss von 2007 zu 2012 direkt proportional umgerechnet und auf den Abfluss von 2007 normiert; die Ergebnisse sind in Tab. 2 aufgeführt.

Tab. 2: Schwermetallfrachten von Oker, Innerste und Rhume des Jahres 2007 und 2012 – partikulär (am Schwebstoff) gebunden und gelöst – normiert auf den jeweiligen Jahresabfluss des Jahres 2007

	Partikulär	Gelöste	Gesamt,	Anteil partikulär
	gebunden	Wasserphase	Summe von 2 + 3	gebunden
	t/a	t/a	t/a	%
1	2	3	4	5
<b>Oker</b>				
Chrom	0,61 / 0,49	0,44 / 0,20	1,1 / 0,69	55 / 71
Kupfer	1,5 / 0,90	1,8 / 2,3	3,2 / 3,2	47 / 28
Nickel	0,43 / 0,33	2,0 / 1,2	2,4 / 1,6	18 / 21
Zink	24 / 17	50 / 38	74 / 56	32 / 31
Blei	4,0 / 2,6	0,66 / 0,32	4,7 / 2,9	85 / 89
Cadmium	0,34 / 0,21	0,24 / 0,20	0,58 / 0,42	59 / 51
Quecksilber	0,014 / 0,012	-	-	-
Arsen	0,28 / 0,21	0,85 / 0,64	1,1 / 0,85	25 / 25
Schwebstoff	6500 / 6040	-	6500 / 6040	100 / 100
Mittlerer Abfluss [m <sup>3</sup> /s]			15,4 / <b>15,4</b>	

	Partikulär	Gelöste	Gesamt,	Anteil partikulär
	gebunden	Wasserphase	Summe von 2 + 3	gebunden
	t/a	t/a	t/a	%
1	2	3	4	5
<b>Innerste</b>				
Chrom	1,2 / 0,64	0,54 / 0,19	1,8 / 0,83	67 / 77
Kupfer	1,4 / 1,2	1,2 / 2,0	2,7 / 3,2	52 / 37
Nickel	0,71 / 0,39	1,3 / 0,66	2,0 / 1,1	36 / 37
Zink	30 / 28	58 / 48	88 / 76	34 / 37
Blei	17 / 16	1,2 / 0,99	18 / 17	94 / 94
Cadmium	0,19 / 0,18	0,21 / 0,16	0,40 / 0,33	48 / 53
Quecksilber	0,012 / 0,012	-	-	-
Arsen	0,33 / 0,15	0,25 / 0,30	0,58 / 0,45	57 / 34
Schwebstoff	15500 / 11200	-	15500 / 11200	100 / 100
Mittlerer Abfluss [m <sup>3</sup> /s]			15,6 / <b>15,6</b>	
<b>Rhume</b>				
Chrom	1,2 / 0,25	0,45 / 0,20	1,7 / 0,45	71 / 56
Kupfer	1,2 / 0,25	1,4 / 1,7	2,6 / 1,9	42 / 13
Nickel	0,75 / 0,15	1,3 / 0,58	2,1 / 0,73	36 / 21
Zink	10 / 2,7	22 / 14	32 / 17	31 / 16
Blei	4,8 / 1,3	0,53 / 0,23	5,3 / 1,5	91 / 85
Cadmium	0,031 / 0,0085	0,051 / 0,049	0,082 / 0,057	38 / 15
Quecksilber	0,0038 / 0,00094	-	-	-
Arsen	0,49 / 0,11	1,1 / 1,3	1,6 / 1,4	31 / 8,1
Schwebstoff	18500 / 4200	-	18500 / 4200	100 / 100
Mittlerer Abfluss [m <sup>3</sup> /s]			28 / <b>28</b>	

Zwar sind die Schwermetallfrachten des Jahres 2012 durch die Normierung um etwa den Faktor 2 größer geworden, jedoch liegen sie immer noch bei allen 3 Messstationen mehr oder weniger ausgeprägt unter denen des Jahres 2007 (Ausnahme Innerste mit Kupfer).

Um die jeweiligen Frachtdifferenzen besser abschätzen zu können, wurden die normierten Frachten des Jahres 2012 prozentual auf die des Jahres 2007 bezogen (Frachten 2007 = 100 %) und für die Oker, Innerste und Rhume in Abb. 4 – 6 grafisch dargestellt.

Bei der Oker liegen die beiden Jahresfrachten von 2007 und 2012 nach der Normierung bei Kupfer und den Schwebstoffen (Schweb), mit Einschränkung von Arsen, Zink und Cadmium, in einer etwa vergleichbaren Größenordnung. Bei der Innerste haben sich bei Blei, Zink und Cadmium, mit Einschränkung von Arsen und den Schwebstoffen, die Frachten des Jahres 2012 denen des Jahres 2007 annähernd angeglichen. Kupfer bildet jedoch die Ausnahme: Die normierte Innerste-Kupferfracht 2012 lag mit 120 % über der des Jahres 2007 (Abb. 5).

Da hinsichtlich der Rhume, wie erwähnt, nur relativ wenige Daten vorliegen, sind die Ergebnisse auch entsprechend zu werten. Die Varianz/Messunsicherheit dürfte hier nicht unerheblich sein, so dass auf eine weitere Interpretation verzichtet wird.

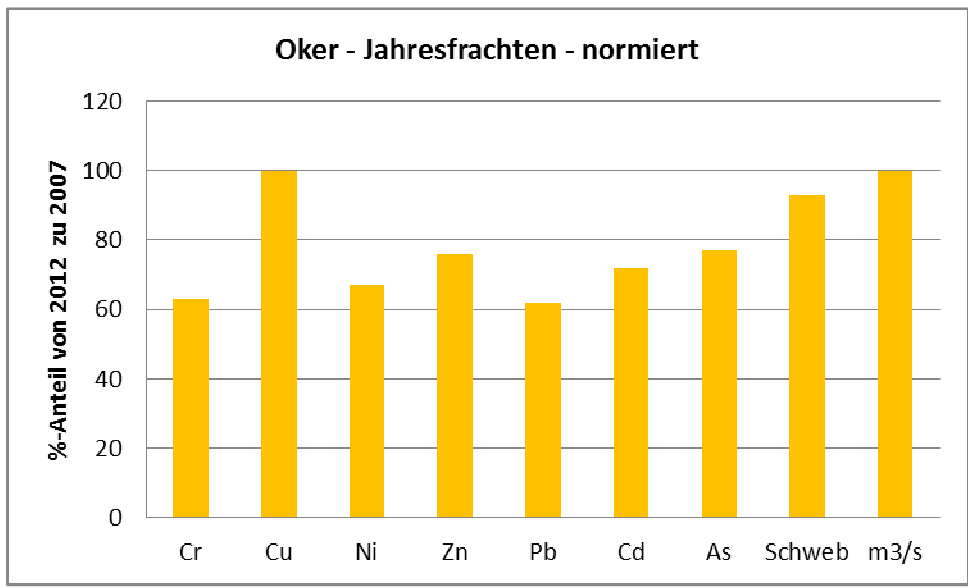


Abb. 4: Schwermetallfrachten und mittlerer Jahresabfluss 2012 der Oker, **normiert** auf den Jahresabfluss und die Frachten von 2007 in % (Frachten des Jahres 2007 = 100 %)

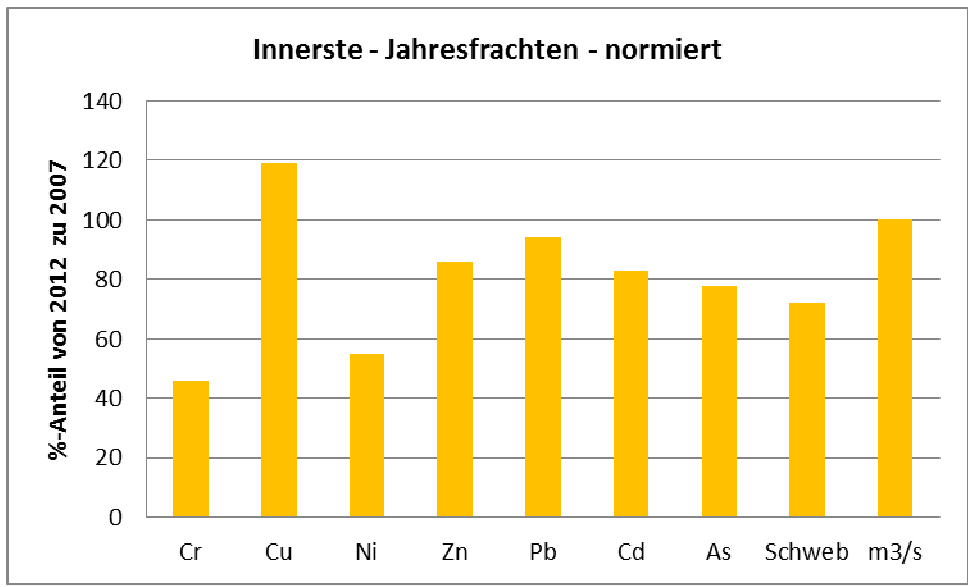


Abb. 5: Schwermetallfrachten und mittlerer Jahresabfluss 2012 der Innerste, **normiert** auf den Jahresabfluss und die Frachten von 2007 in % (Frachten des Jahres 2007 = 100 %)

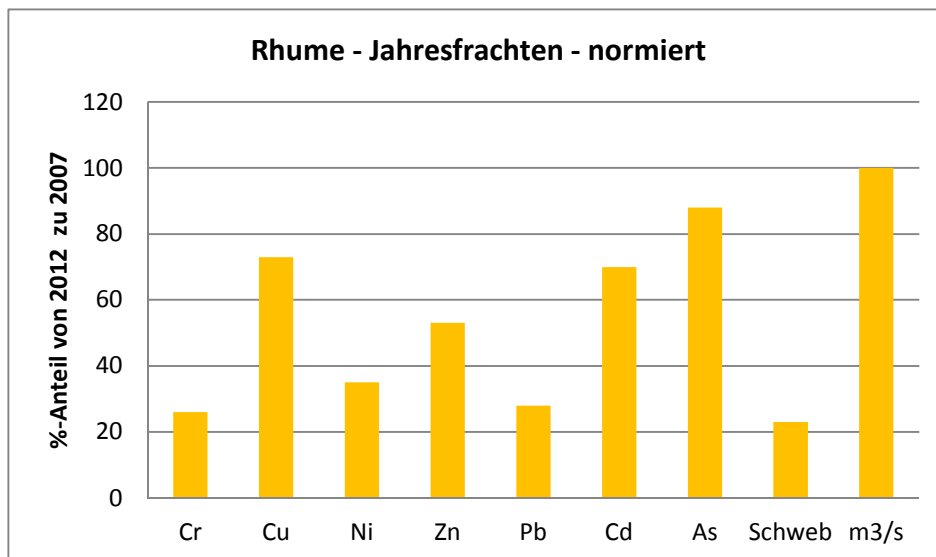


Abb. 6: Schwermetallfrachten und mittlerer Jahresabfluss 2012 der Rhume, **normiert** auf den Jahresabfluss und die Frachten von 2007 in % (Frachten des Jahres 2007 = 100 %)

### Schwermetallgehalte der Schwebstoffe

Nachdem bisher die Schwermetallfrachten diskutiert wurden, stellt sich natürlich auch die Frage, wie sich der zeitliche Verlauf der Schwermetallgehalte in den untersuchten Schwebstoffen verhält.

So wurden an den 3 Messstationen auch in den Jahren 2008 bis 2011 Untersuchungen durchgeführt, jedoch mit einer verminderten Probenfrequenz von lediglich bis zu 12 Mal pro Jahr (Rhume lediglich 6 pro Jahr). Eine repräsentative Frachtenberechnung ist somit nicht möglich. In Tab. 3 sind die jeweiligen arithmetischen Jahresmittelwerte der Schwermetallgehalte von 2007 bis 2012 aufgeführt.

In den Abb. 7 bis 9 sind, um die Relationen unmittelbar vergleichen zu können, die jeweiligen Schwermetallgehalte prozentual auf die des Jahres 2007 umgerechnet worden (Gehalte des Jahres 2007 = 100 %).

Tab. 3: Jahresmittelwerte der Schwermetallgehalte [mg/kg Trockensubstanz] in Schwebstoffen von Oker, Innerste und Rhume über die Jahre 2007 bis 2012

Oker		2007	2008	2009	2010	2011	2012
Chrom	mg/kg Cr (TS)	86	72	62	68	51	69
Kupfer	mg/kg Cu (TS)	240	220	170	200	140	185
Nickel	mg/kg Ni (TS)	63	53	57	55	42	51
Zink	mg/kg Zn (TS)	4300	3700	4100	4200	2900	3700
Blei	mg/kg Pb (TS)	720	530	520	650	490	590
Cadmium	mg/kg Cd (TS)	61	44	40	56	41	43
Quecksilber	mg/kg Hg (TS)	2,5	2,1	1,7	2,1	1,9	2,3
Arsen	mg/kg As (TS)	49	49	40	45	42	47

Innerste		2007	2008	2009	2010	2011	2012
Chrom	mg/kg Cr (TS)	56	59	55	53	53	55
Kupfer	mg/kg Cu (TS)	110	120	130	110	110	98
Nickel	mg/kg Ni (TS)	35	37	34	32	33	33
Zink	mg/kg Zn (TS)	2800	2600	3000	2400	2600	2900
Blei	mg/kg Pb (TS)	1500	1500	1500	1300	1500	1500
Cadmium	mg/kg Cd (TS)	20	16	19	15	15	18
Quecksilber	mg/kg Hg (TS)	0,95	0,86	0,84	0,76	0,88	0,93
Arsen	mg/kg As (TS)	17	18	9,8	12	15	14
Rhume		2007	2008	2009	2010	2011	2012
Chrom	mg/kg Cr (TS)	64	58	55	58	55	59
Kupfer	mg/kg Cu (TS)	64	63	61	63	57	57
Nickel	mg/kg Ni (TS)	41	38	37	38	37	36
Zink	mg/kg Zn (TS)	660	660	580	660	620	640
Blei	mg/kg Pb (TS)	310	310	200	310	270	300
Cadmium	mg/kg Cd (TS)	2,0	1,9	1,6	1,9	1,9	2,0
Quecksilber	mg/kg Hg (TS)	0,24	0,23	0,17	0,23	0,21	0,22
Arsen	mg/kg As (TS)	30	22	19	22	23	25

Den entsprechenden Tabellen und Grafiken ist zu entnehmen, dass sich die in den Jahren 2007 bis 2012 ermittelten und dargestellten Schwermetallgehalte im Schwebstoff von Oker, Innerste und Rhume sehr unterschiedlich verhalten, es ergibt sich bei sämtlichen betrachteten Schwermetallen und Arsen ein komplexes Bild. So schwanken die prozentualen Gehalte zwischen etwa 60 % bis 120 % - bezogen auf die Gehalte von 2007 mit 100 %.

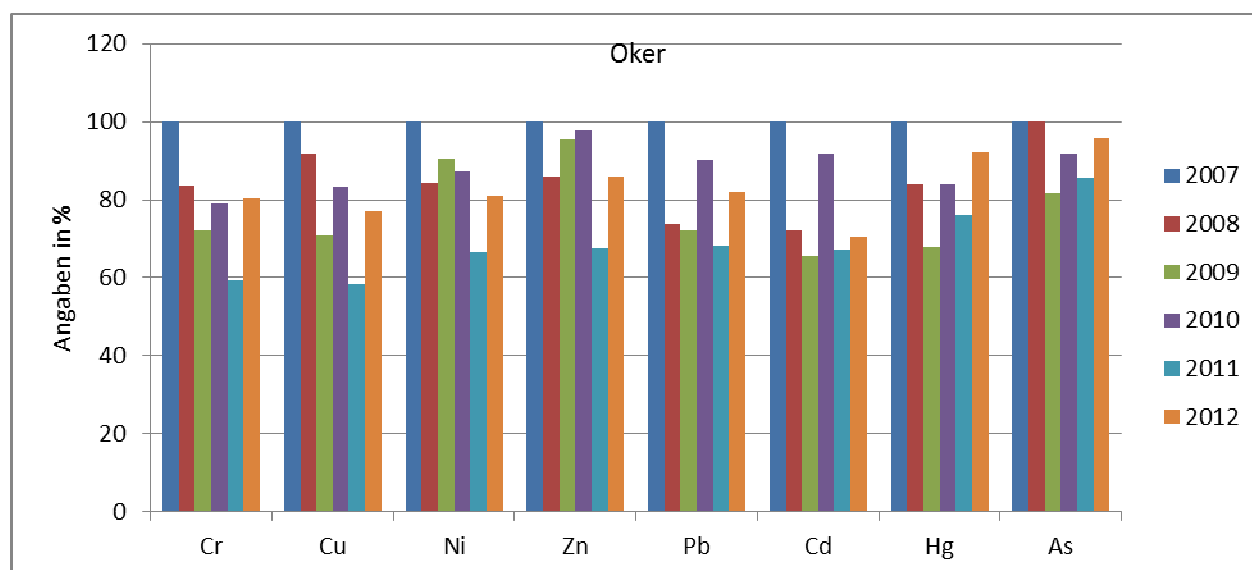


Abb. 6: Mittlere Schwermetallgehalte der Oker von 2007 bis 2012, normiert auf die Jahresgehalte von 2007 in % (Schwermetallgehalte des Jahres 2007 = 100 %)



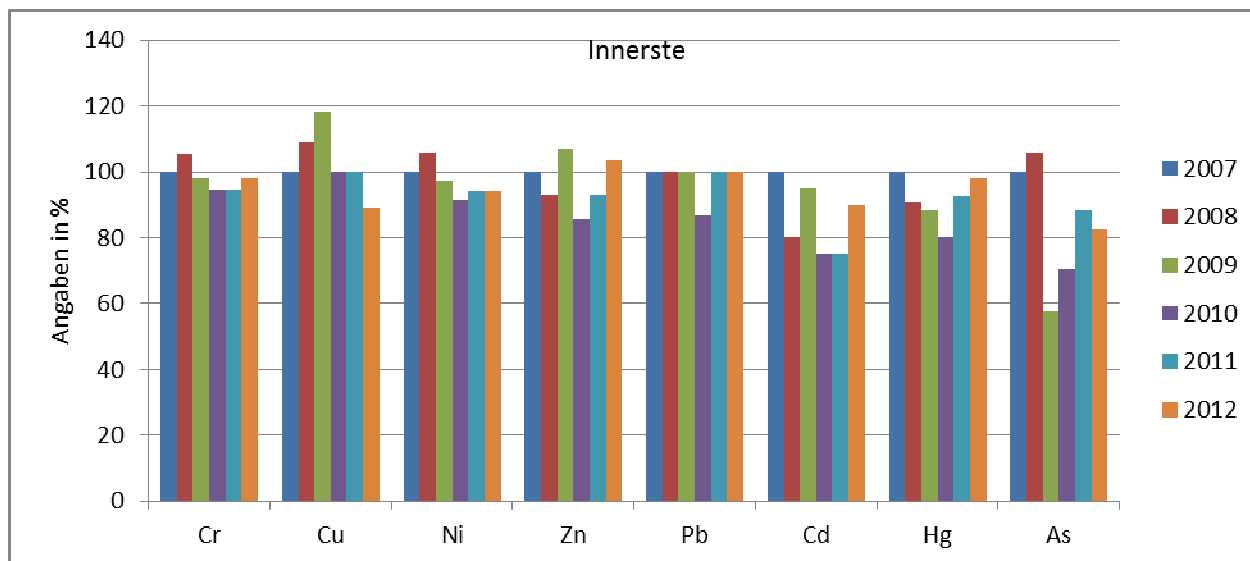


Abb. 7: Mittlere Schwermetallgehalte der Innerste von 2007 bis 2012, normiert auf die Jahresgehalte von 2007 in % (Schwermetallgehalte des Jahres 2007 = 100 %)

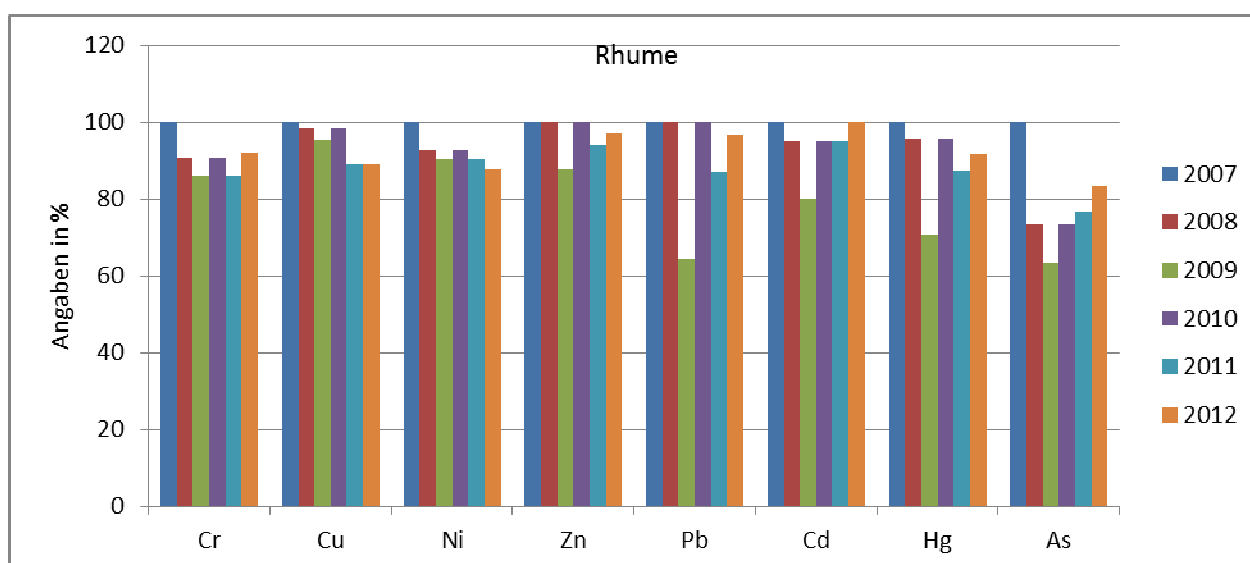


Abb. 8: Mittlere Schwermetallgehalte der Rhume von 2007 bis 2012, normiert auf die Jahresgehalte von 2007 in % (Schwermetallgehalte des Jahres 2007 = 100 %)

Auffällig ist jedoch, dass die in der Oker und Rhume über den Zeitraum ermittelten Gehalte durchweg unter denen, vereinzelt auf dem Niveau, des Jahres 2007 lagen, Gehalte > 100 % ergaben sich nicht. Bei der Innerste sind dagegen innerhalb der Datenreihen vereinzelt Gehalte ermittelt worden, die deutlich über denen des Jahres 2007 lagen, wie z.B. Kupfer im Jahr 2009 mit etwa 120 % gegenüber 2007.

Aus den vorliegenden Untersuchungsergebnissen einen seriösen Trend über die Jahre 2007 bis 2012 ableiten zu wollen, ist aufgrund der Inhomogenität der Schwermetall-/Arsengehalte nicht möglich.

## Fazit

Vom NLWKN sind in den Jahren 2007 und 2012 intensive und aufwändige Schwebstoffuntersuchungen (etwa 24 mal pro Jahr) an der Oker bei Gr. Schwülper und der Innerste bei Sarstedt durchgeführt worden, mit einer deutlich niedrigeren Untersuchungsfrequenz an der Rhume bei Northeim (etwa 6 mal pro Jahr), um unter Einbeziehung der gelösten Wasserphase möglichst zuverlässige/abgesicherte Schwermetallfrachten errechnen und vergleichen zu können.

Dabei hat sich gezeigt, dass die Jahresfrachten des Jahres 2012 deutlich niedriger als die des Jahres 2007 waren. Als eine Ursache ist sicherlich anzusehen, dass das Jahr 2012 unverkennbar geringere Abflüsse (um etwa den Faktor 2) als die des Jahres 2007 aufwiesen, die jeweiligen Schwankungen sind enorm. Auch nach einer Normierung der Jahresfrachten 2012 über die jeweiligen mittleren Jahresabflüsse auf die Verhältnisse des Jahres 2007 zeigt sich, dass überwiegend die Jahresfrachten 2012 geringer sind als die des Jahres 2007. Ein ähnliches Bild ergeben die in den Schwebstoffen ermittelten Schwermetallgehalte der Jahre 2007, 2008, 2009, 2010, 2011 und 2012, zudem weisen auch die Schwermetallgehalte große Schwankungen auf.

Es zeigt sich, dass die Ermittlung von repräsentativen, signifikanten Schwermetallfrachten an Oker, Innerste und Rhume zu Trendbetrachtungen äußerst schwierig ist. Die sich in den Gewässern abspielenden Wechselwirkungen, wie einer Sedimentation der an Feststoffpartikeln akkumulierten Schwermetalle innerhalb der Fließstrecke (sog. Senken), die zu diesem Zeitpunkt „weniger“ Fracht an den Messstellen ankommen lassen, oder das Gegenteil, indem durch Hochwässer die in den Senken vorhandenen Schwermetalle wieder remobilisiert werden und zu einer explosionsartigen Erhöhung der Schwermetallfrachten führen können, sind dermaßen komplex, dass eine signifikante Frachtermittlung zur Ableitung von Trends praktisch nicht mit der hierfür erforderlichen Genauigkeit möglich ist, vielmehr spiegeln sie lediglich eine Größenordnung wider. Das Abflussverhalten eines Gewässers zum Zeitpunkt der Untersuchungen spielt eine Schlüsselrolle. Man könnte es auch auf den einfachen Nenner bringen: Die naturgemäßen, komplexen Vorgänge innerhalb eines Gewässers lassen sich nicht immer zuverlässig messen bzw. zufriedenstellend interpretieren. Und dass, obwohl der Messaufwand bei der Oker und der Innerste mit einer jeweiligen Untersuchungsfrequenz von etwa 24 mal pro Jahr und der Entnahme von Tagesschwebstoffmischproben schon verhältnismäßig groß und nach LAWA-Kriterien als durchaus vielversprechend anzusehen war. Die natürlicherweise in den Gewässern vorhandene Varianz der Schwermetallfrachten und -gehalte ist dermaßen groß und ausgeprägt, dass sich evtl. durchzuführende Maßnahmen zur Verringerung der Schwermetallbelastungen zunächst quasi überlagern dürften und innerhalb eines Zeitraums von schätzungsweise „einigen“ Jahren nur schwer in Messergebnissen wiederzufinden wären.

Letztlich bleibt noch festzuhalten, dass andererseits fast ausnahmslos eine Erhöhung der Schwermetallfrachten und der Schwermetallgehalte in den Schwebstoffen über den betrachteten Zeitraum auch nicht festzustellen waren.

Folgend ist der erste Bericht vom März 2009 angeführt, dem u.a. auch die angewandte Methodik entnommen werden kann.

Der Autor möchte sich an dieser Stelle bei allen Kolleginnen und Kollegen des NLWKN bedanken, die an diesem Vorhaben des Jahres 2012 direkt oder indirekt mitgewirkt haben.

Dr. Dieter Steffen  
Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft,  
Küsten- und Naturschutz (NLWKN)  
Betriebsstelle Hannover-Hildesheim  
An der Scharlake 39  
31135 Hildesheim  
Tel.: 05121 - 509 - 207 (oder -0)  
Fax : 05121 - 509 - 196  
e-Mail: [Dieter.Steffen@nlwkn-hi.niedersachsen.de](mailto:Dieter.Steffen@nlwkn-hi.niedersachsen.de)  
Internet: [www.nlwkn.de](http://www.nlwkn.de)



## **Schwermetallfrachten der Harzgewässer Oker, Innerste und Rhume des Jahres 2007 – Betrachtung des partikulär gebundenen und gelösten Transports**

### **Allgemeines**

Da Schwermetalle als toxische Substanzen nicht abbaubar sind und sie sich insbesondere an den in den Gewässern enthaltenen Schwebstoffen anreichern können, sind Untersuchungen über deren Transport, Verbreitung und Verbleib in der Umwelt unverzichtbar. So werden in Niedersachsen im Rahmen der Gewässerüberwachung bereits seit den 1970er Jahren systematisch Schwermetalluntersuchungen durchgeführt. Dabei stehen die Harzgewässer im Brennpunkt, da in ihnen die landesweit mit Abstand höchsten Schwermetallgehalte festgestellt werden. Was ist die Ursache für die erhöhte Schwermetallbelastung? Die Harzgewässer sind seit Jahrhunderten durch Bergbauaktivitäten geprägt. Durch zahlreiche in diesem Gebiet vorhandene Abraumhalden und Bergwerksgruben werden den Harzgewässern intensiv Schwermetalle zugeführt. Hinzu kommt die besondere geogene Ausgangssituation des Harzes.

In der Vergangenheit wurden durchweg die Gesamtwasserproben, einschl. der Schwebstoffpartikel, auf Schwermetalle untersucht. Bei der Betrachtung von Schwermetallfrachten ist jedoch von großem Interesse sowohl den partikelgebundenen als auch den gelöst vorliegenden Transport im Gewässer zu quantifizieren. Während der Transport der gelöst vorliegenden Schwermetalle innerhalb der Gewässer verhältnismäßig durchgängig bzw. konstant vonstatten geht, ist dies bei den an Partikeln angereicherten Schwermetallen keineswegs der Fall. Die Schwebstoffpartikel können sich während des Transport in beruhigten Zonen absetzen, so dass hierdurch eine Anreicherung von Schwermetallen z.B. in Auen oder oberhalb von Wehren stattfinden kann. Durch Hochwasserereignisse können diese zuvor sedimentierten Schwebstoffe schlagartig mobilisiert bzw. transportiert werden, so dass dies kurzzeitig zu einer sehr hohen Schwermetallfracht innerhalb des Gewässern führen kann.

Zudem hat die Ermittlung beider Phasen auch aus analytischer Sicht Vorteile. Während sich die in den Wasserproben ermittelten Schwermetallkonzentrationen, und hierbei insbesondere in der gelösten Wasserphase, i.d.R. im µg/l-Bereich bewegen und bei bestimmten Schwermetallen teilweise die Bestimmungsgrenze unterschreiten, schlagen die in den angereicherten Schwebstoffen gemessenen Schwermetallgehalte im deutlichen mg/kg-Bereich zu buche. Da Schwebstoffe somit deutlich höhere Schwermetallgehalte als in der Wasserphase aufweisen, sind sie analytisch zuverlässiger („richtiger“) zu bestimmen. Ein weiterer Vorteil ist bei den Schwebstoffen darin zu sehen, dass die Laufzeit der eingesetzten Durchlaufzentrifugen i.d.R. 24 Stunden betrug, so dass die gewonnenen Mischproben – laut LAWA-Empfehlung – besonders gut für die Formulierung von Frachten geeignet sind.

Zur Bestimmung der gelösten Schwermetallkonzentrationen wurde während der einzelnen Untersuchungsperioden eine direkt aus dem Gewässer entnommenen Einzel-(Stich-)Probe sofort vor Ort filtriert.

Um den Fragen nachzugehen, welche Frachten und Konstellationen sich von partikulär gebunden zu gelöst vorliegenden Schwermetallen bezüglich der Harzgewässer Oker,

Innerste und Rhume ergeben, wurden vom Niedersächsischen Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN), Betriebsstelle Hannover-Hildesheim, im Jahr 2007 im Rahmen eines Vorhabens intensive Untersuchungen durchgeführt. Die Messstation Gr. Schwülper (unterhalb Braunschweig) beinhaltet etwa 95 % des Einzugsgebiets der Oker, Sarstedt nahezu 100% der Innersten und Northeim etwa 98 % des Rhume-Einzugsgebiets.

Die wichtigsten Ergebnisse der im Jahr 2007 durchgeführten Untersuchungen werden im Folgenden dargelegt.

## Monitoringkonzept

An den Gütemessstationen Gr. Schwülper (Oker) und Sarstedt (Innerste), die mit stationären Durchlaufzentrifugen der Fa. Padberg versehen sind, wurden im Jahr 2007 im Abstand von etwa 2 Wochen zeitgleich Schwebstoffproben über eine Laufzeit von jeweils 24 Stunden gewonnen. Die Rhume in Northeim wurde dagegen eher orientierend untersucht: verteilt auf das Jahr 2007 wurden insgesamt 6 Untersuchungen durchgeführt, wobei eine mobile Durchlaufzentrifuge des gleichen Bautyps (Laufzeit jeweils etwa 8 Stunden) zum Einsatz kam (siehe Abb. 1). Die mobile Durchlaufzentrifuge wurde – falls aufgrund von unvorhersehbaren Störfällen erforderlich - vereinzelt auch in Gr. Schwülper und Sarstedt eingesetzt. Parallel zu den Schwebstoffprobenahmen erfolgte eine Filtration von Wasserproben, die direkt aus den Gewässern entnommen wurden. Das Zentrifugat wurde zur Ermittlung der gelöst vorliegenden Konzentrationen nicht verwendet, da im Spurenbereich die Gefahr einer Kontamination der Wasserproben durch den Chrom-Nickel-Stahl der Durchlaufzentrifugen besteht.

Durch die Messung von Durchflussvolumen der Zentrifugen je Probenahmeintervall und die dazugehörigen Schwebstoff-Auswaagen konnten die Schwebstoffgehalte [mg/l TS] errechnet werden.

Nähere Informationen zu Schwebstoffen sind im Internet des NLWKN unter dem folgenden Link aufgeführt:

[http://www.nlwkn.niedersachsen.de/master/C35123051\\_N35122121\\_L20\\_D0\\_I5231158.html](http://www.nlwkn.niedersachsen.de/master/C35123051_N35122121_L20_D0_I5231158.html)

Die Schwebstoffproben und filtrierte Wasserproben wurden vom Hildesheimer Labor neben den üblichen Schwermetallen und Arsen zudem auf Kobalt, Antimon und Molybdän analysiert.

Zur Errechnung der Frachten wurden die jeweiligen mittleren Tagesabflüsse verwendet. Hinsichtlich der 24-Stunden-Schwebstoffproben wurde das jeweilige Mittel der mittleren Tagesabflüsse der betroffenen beiden Tage in die Berechnungen einbezogen.



Abb. 1: Probennahmefahrzeug und Durchlaufzentrifuge (Fa. Padberg, Typ Z61)

## Ergebnisse der Untersuchungen

### 1. Schwermetallgehalte in den Schwebstoffen

Die Ergebnisse der Schwebstoffuntersuchungen sind für die einzelnen Untersuchungsperioden 1 – 23 in Abb. 2 – 4 exemplarisch für Zink, Blei und Cadmium für die betrachteten Harzgewässer grafisch dargestellt. Die Rhume bei Northeim wurde, wie bereits erwähnt, 2007 lediglich 6 mal untersucht und den entsprechenden Perioden zugeordnet.

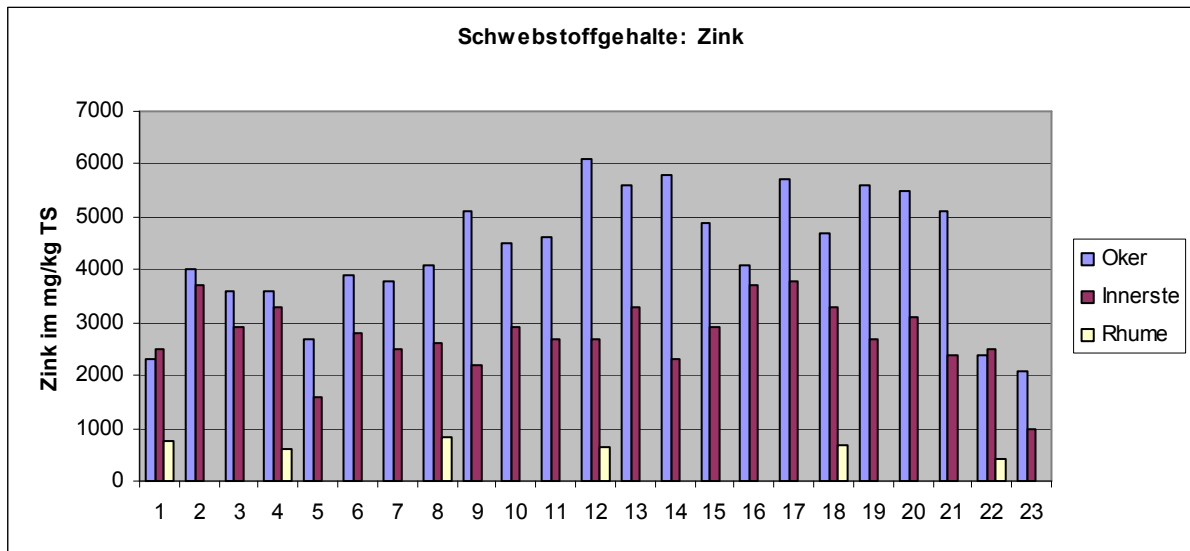


Abb. 2: Zinkgehalte [mg/kg TS] im Schwebstoff von Oker, Innerste und Rhume, 2007

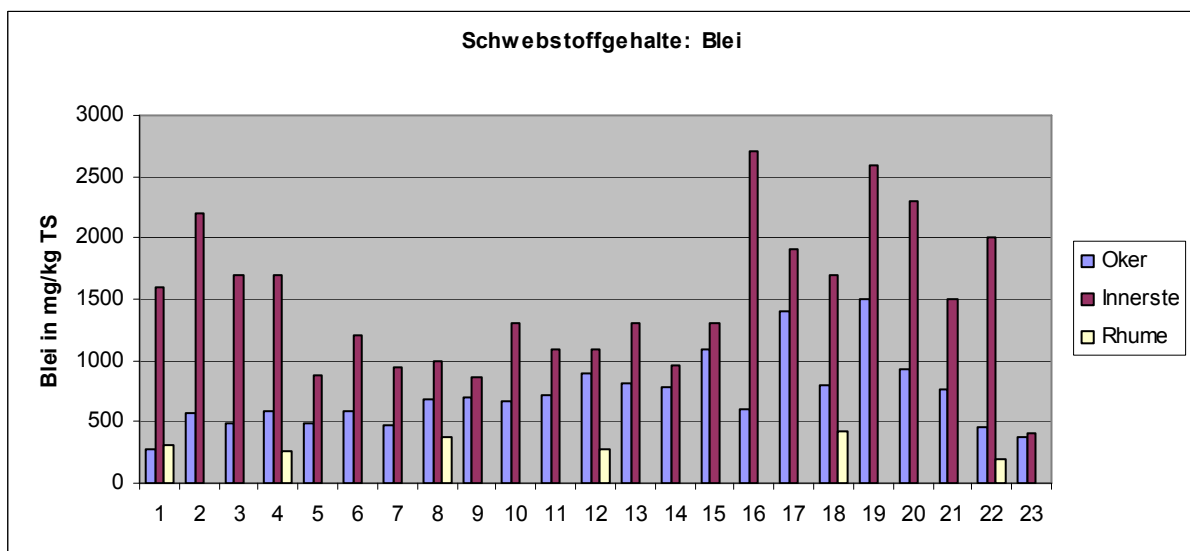


Abb. 3: Bleigehalte [mg/kg TS] im Schwebstoff von Oker, Innerste und Rhume, 2007

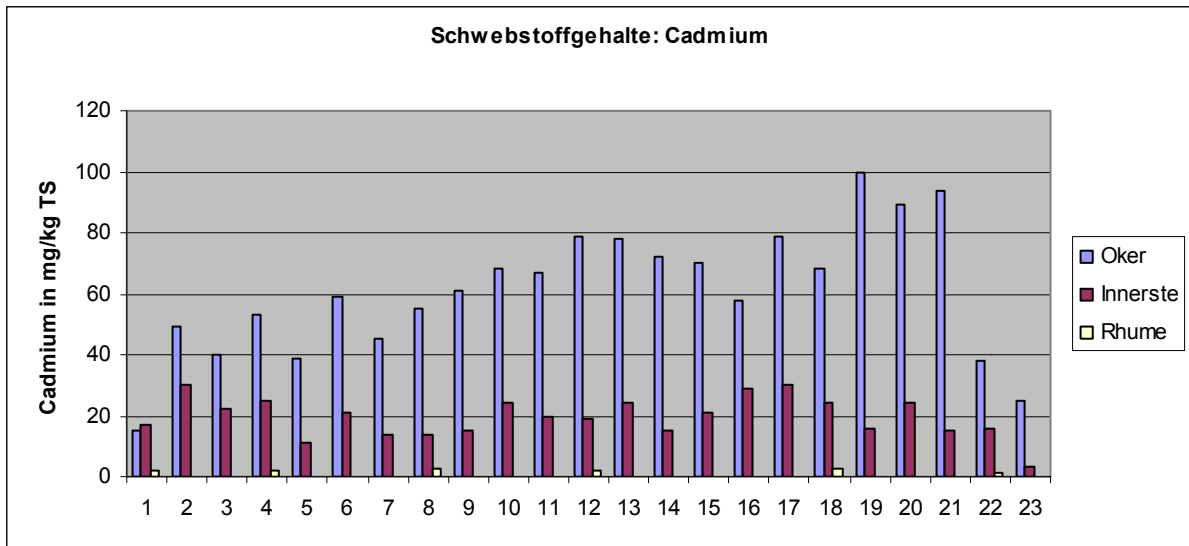


Abb. 4: Cadmiumgehalte [mg/kg TS] im Schwebstoff von Oker, Innerste und Rhume, 2007

Diesen Grafiken ist zu entnehmen, dass die Schwebstoffe der Oker und Innersten sehr hohe Schwermetallgehalte aufweisen. Auffällig ist zudem, dass die Gehalte deutlichen Schwankungen unterworfen sind. Während in den Schwebstoffen der Oker die vergleichsweise höchsten Zink- und Cadmiumgehalte gemessen wurden, ist beim Blei die Innerste dominierend. Die Rhume weist die mit Abstand geringsten Schwermetallgehalte auf.

## 2. Schwermetallkonzentrationen der gelösten Wasserphase

Die Untersuchungsergebnisse der gelösten Schwermetalle sind für die einzelnen Untersuchungsperioden in den Abb. 5 – 7 exemplarisch für Zink, Blei und Cadmium grafisch dargestellt.

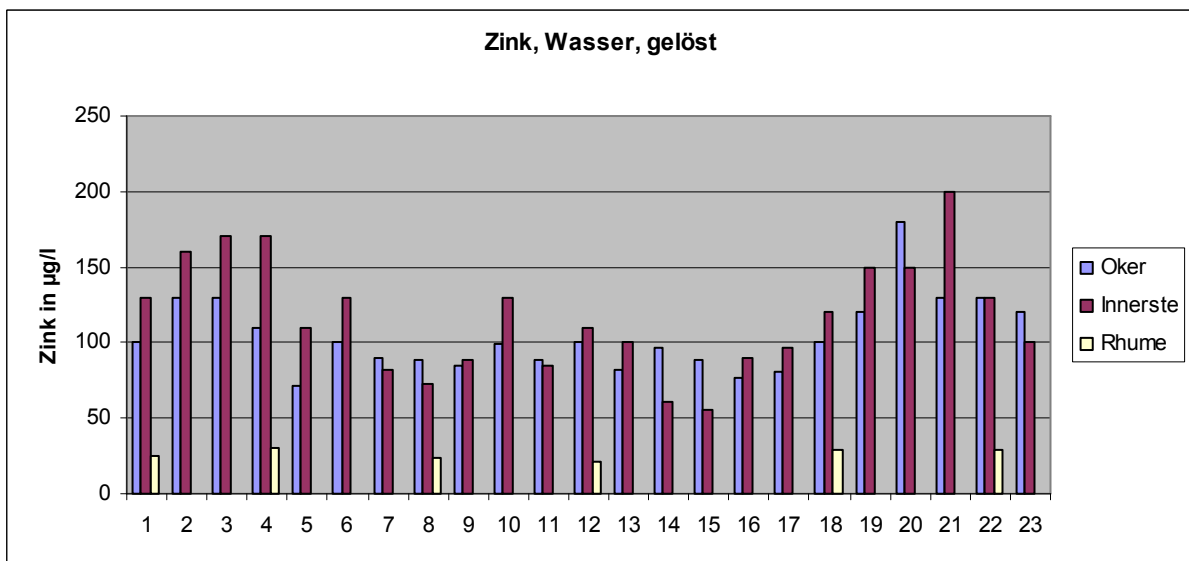


Abb. 5: Zinkkonzentrationen [µg/l], Wasser, gelöst, von Oker, Innerste und Rhume, 2007

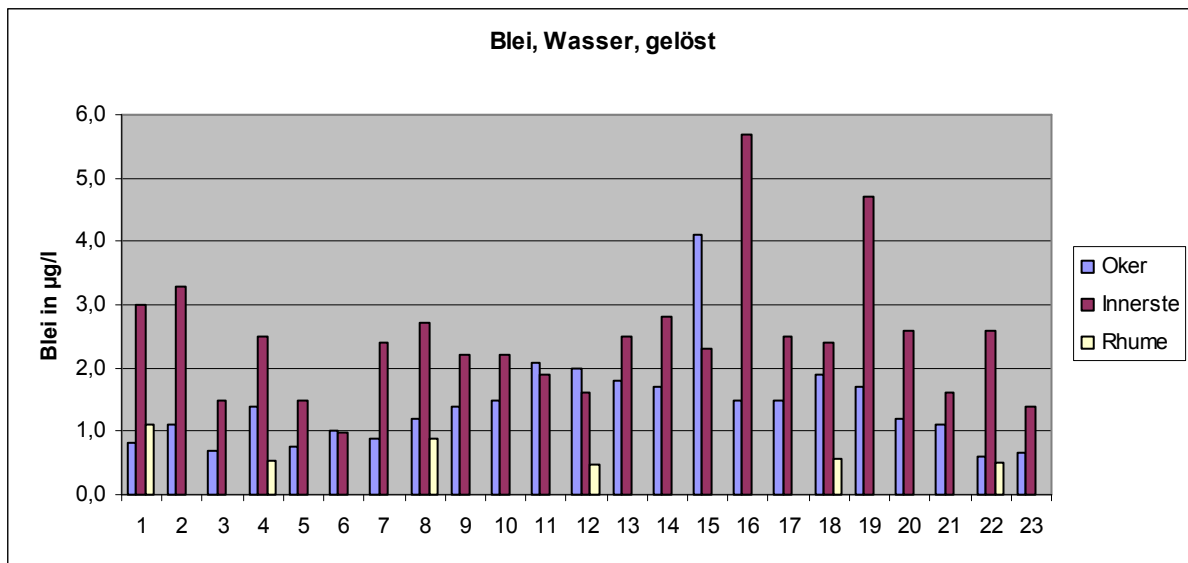


Abb. 6: Bleikonzentrationen [µg/l], Wasser, gelöst, von Oker, Innerste und Rhume, 2007

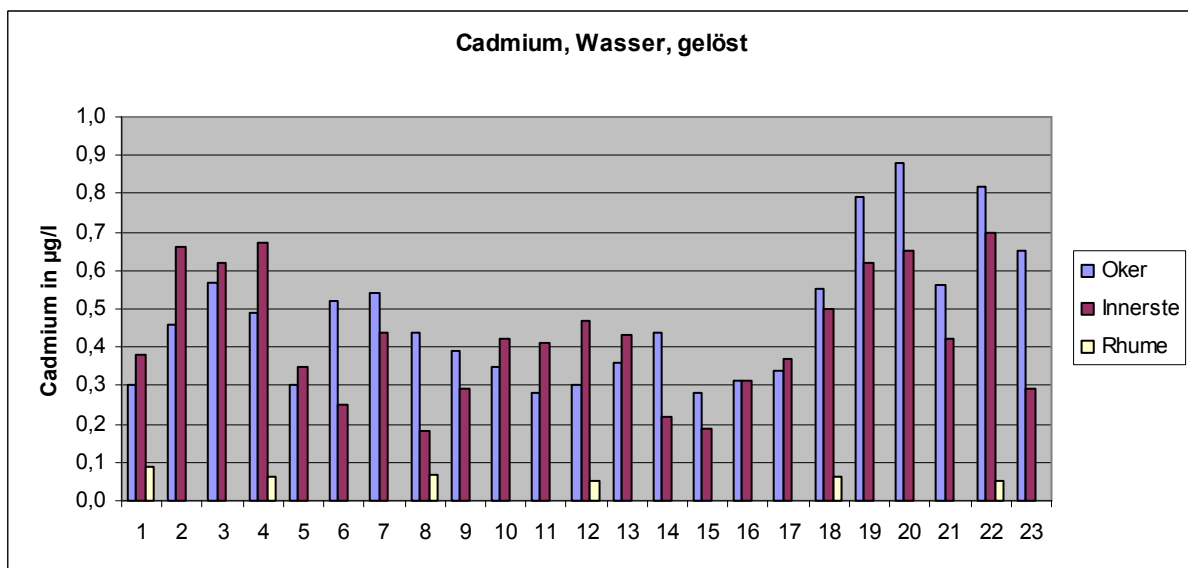


Abb. 7: Cadmiumkonzentrationen [µg/l], Wasser, gelöst, von Oker, Innerste und Rhume, 2007

Gegenüber den in den Schwebstoffen ermittelten Gehalten ergeben sich für Oker und Innerste bei den gelösten Konzentrationen deutliche Unterschiede: Bei Zink ist nunmehr – neben Blei – auch die Innerste dominierend, bei Cadmium überwiegend die Oker. Die Rhume weist – wie bei den Schwebstoffen – die vergleichsweise geringsten Schwermetallkonzentrationen auf.



### 3. Abflussverhalten in den untersuchten Zeitintervallen

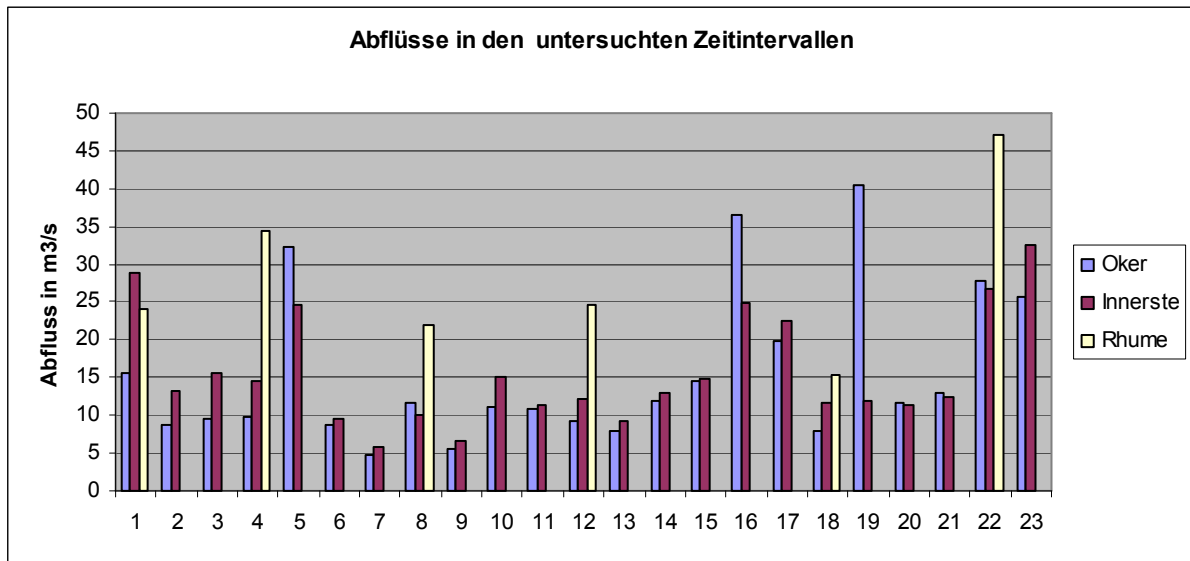


Abb. 8: Abflüsse [m³/s] in den untersuchten Zeitintervallen, Oker, Innerste und Rhume, 2007

Den in Abb. 8 dargestellten Abflüssen ist zu entnehmen, dass die Rhume in den betrachteten Zeitintervallen – bis auf Periode 1 - die vergleichsweise höchsten Abflüsse aufweist. Der jeweilige arithmetische Jahresabfluss-Mittelwert, berechnet auf der Basis der betrachteten Zeitintervalle, beziffert sich bei der Oker auf 15,4 m³/s, Innerste 15,6 m³/s und Rhume 28,0 m³/s. Zudem zeigt diese Grafik, dass auch die Abflüsse im Jahresverlauf deutliche Schwankungen unterliegen.

### 4. Schwebstoffkonzentrationen der Gewässer

Die Untersuchungsergebnisse der ermittelten Schwebstoffkonzentrationen, sind für die einzelnen Untersuchungsperioden in Abb. 9 für Oker, Innerste und Rhume dargestellt (Gehalte bezogen auf Trockensubstanz (TS)).

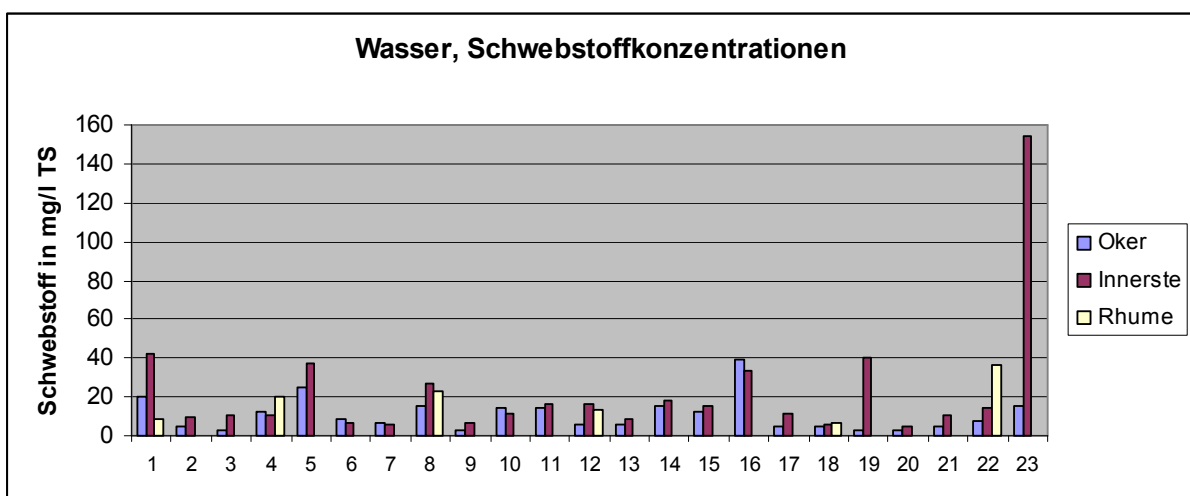


Abb. 9: Schwebstoffkonzentrationen [mg/l TS] in der Wasserphase, Oker, Innerste und Rhume, 2007

Die Schwebstoffgehalte weisen eine hohe Varianz auf. Die im Mittel höchsten Schwebstoffgehalte wurden in der Innerste bei Sarstedt festgestellt (22,5 mg/l TS), gefolgt von der Rhume/Northeim (17,8 mg/l TS) und letztlich der Oker/Gr. Schwülper von im Mittel 10,8 mg/l TS. Der höchste Schwebstoffgehalt von 150 mg/l TS wurde am 3./4. Dezember 2007 (Periode 23) in der Innersten gemessen.

## 5. Korrelation von Abfluss zu Schwebstoffkonzentrationen

Wie das Beispiel der Innerste/Sarstedt zeigt (siehe Abb. 10), besteht zwar eine Tendenz, jedoch keine eindeutig signifikante Abhängigkeit der betrachteten Abflüsse zu den gemessenen Schwebstoffgehalten: aus höheren Abflüssen resultieren somit nicht immer auch erhöhte Schwebstoffgehalte.

Der bereits zitierte hohe Schwebstoffgehalt (150 mg/l TS) vom 3./4.12.2007 ist auch mit dem höchsten erfassten Abfluss verbunden. Innerhalb des Datenkollektivs schlägt er jedoch überproportional zu buche, so dass dieser Wert innerhalb dieser Betrachtung eher als „Ausreißer“ einzuschätzen ist.

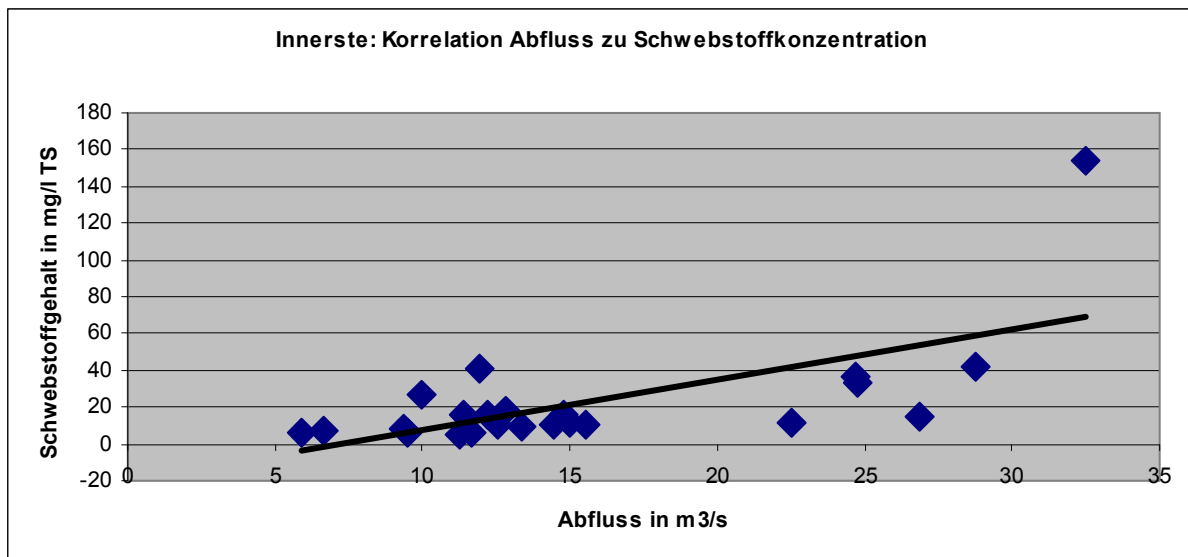


Abb. 10: Korrelation von Abflüssen [ $\text{m}^3/\text{s}$ ] zu Schwebstoffkonzentrationen [ $\text{mg/l TS}$ ], Innerste/Sarstedt, 2007

## 6. Korrelation von Schwebstoffgehalten zu Cadmium, gelöst

Aus den Abb. 11 und 12, in der die Schwebstoffkonzentrationen der Innersten und Oker den dazugehörigen Cadmium gegenüber gestellt sind, lässt sich bei erster Betrachtung hinsichtlich der Oker in etwa die Tendenz ablesen, dass mit zunehmenden Schwebstoffgehalten die gelöst vorliegenden Cadmiumkonzentrationen geringer werden. Aufgrund der enormen Streuung, insbesondere im Bereich eher niedriger Schwebstoffkonzentrationen, kann diese Aussage sicherlich nicht als signifikant angesehen werden. Dies gilt insbesondere für die Innerste, bei der absolut kein Zusammenhang erkennbar ist.

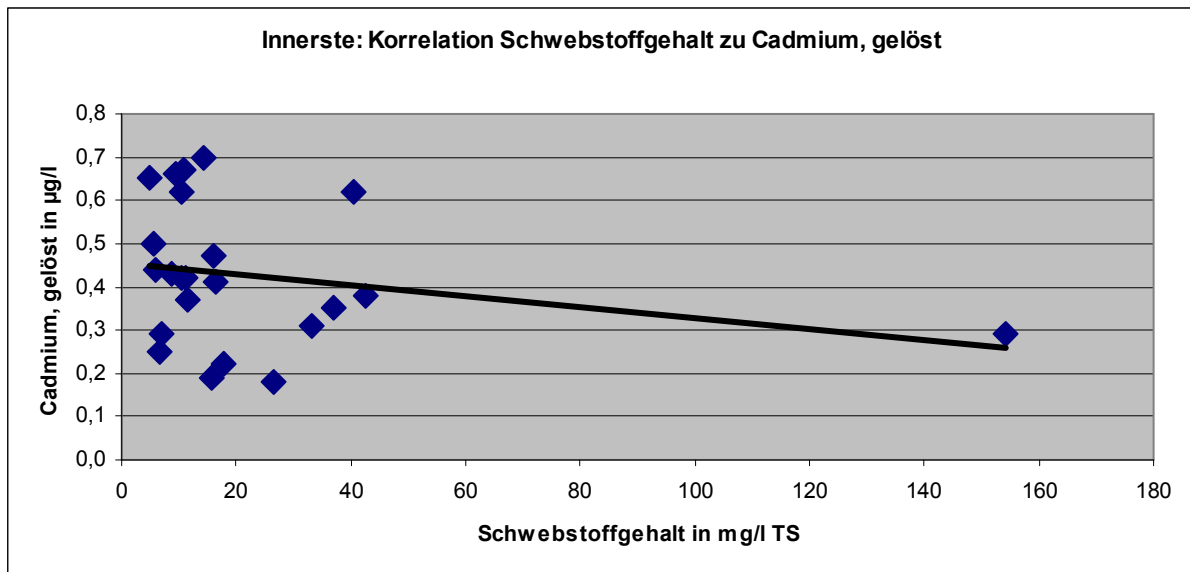


Abb. 11: Korrelation von Schwebstoffkonzentrationen [mg/l TS] zu Cadmiumkonzentrationen [µg/l], gelöst, Innerste/Sarstedt, 2007

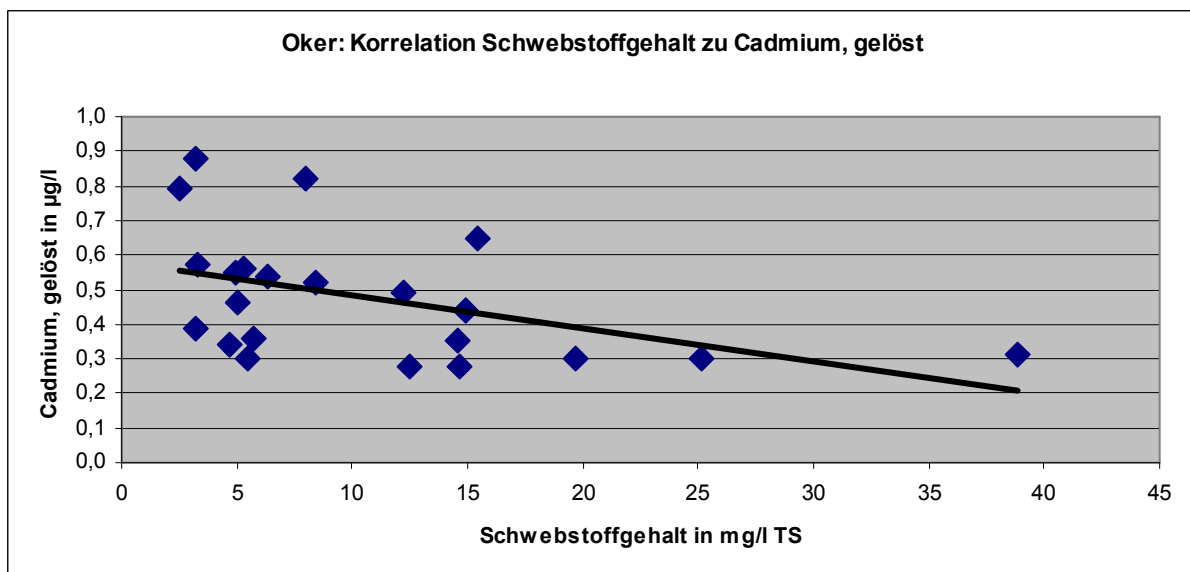


Abb. 12: Korrelation von Schwebstoffkonzentrationen [mg/l TS] zu Cadmiumkonzentrationen [µg/l], gelöst, Oker/Gr. Schwülper, 2007

## 7. Schwermetallfrachten (Summe von partikelgebunden und gelöst = gesamt) der einzelnen Untersuchungsintervalle

In den Abb. 13 – 15 sind die Schwermetallfrachten (in kg/d) von Zink, Blei und Cadmium für die untersuchten Zeitintervalle des Jahres 2007 dargestellt.

Die Grafiken zeigen, dass bei allen 3 Schwermetallen sehr große Schwankungen der Frachten innerhalb der Zeitintervalle zu verzeichnen sind. Bemerkenswert ist jedoch, dass die Oker im Hinblick auf die Zinkgehalte der Schwebstoffe die höchsten Gehalte aufwies (siehe Abb. 2), während bei den Zinkfrachten – insgesamt betrachtet - die beiden Gewässer Oker und Innerste in der gleichen Größenordnung liegen (siehe auch Tab. 1).

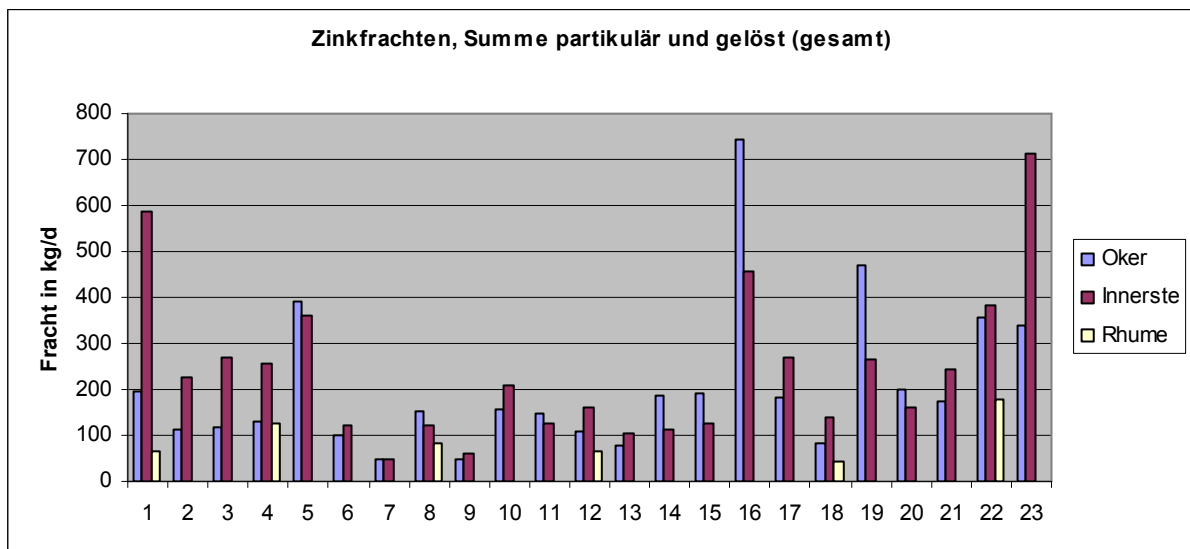


Abb. 13: Zinkfrachten [kg/d], Summe partikulär und gelöst, von Oker, Innerste und Rhume, 2007

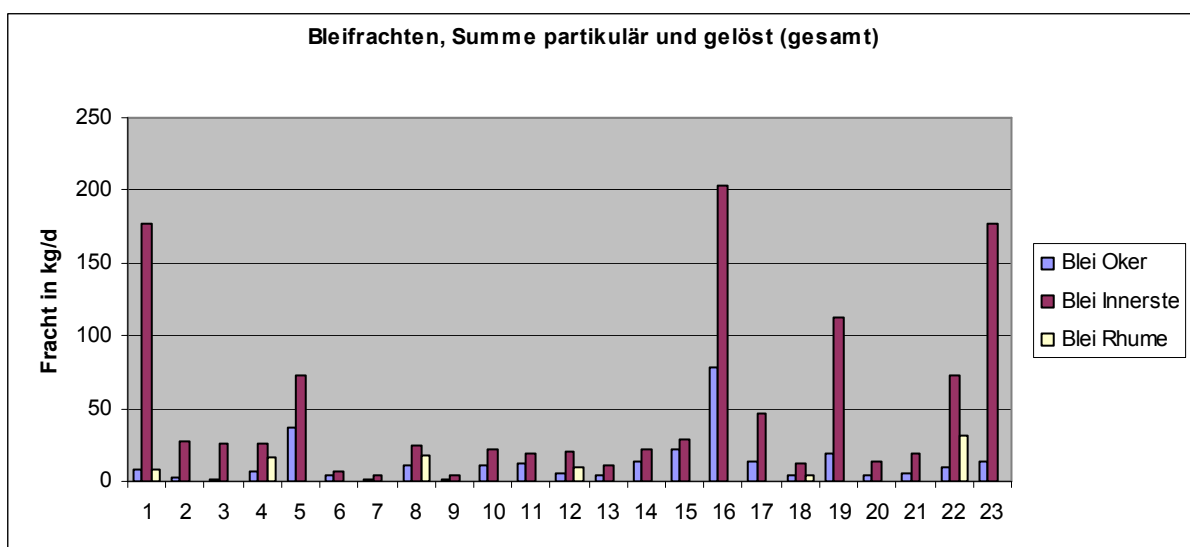


Abb. 14: Bleifrachten [kg/d], Summe partikulär und gelöst, von Oker, Innerste und Rhume, 2007

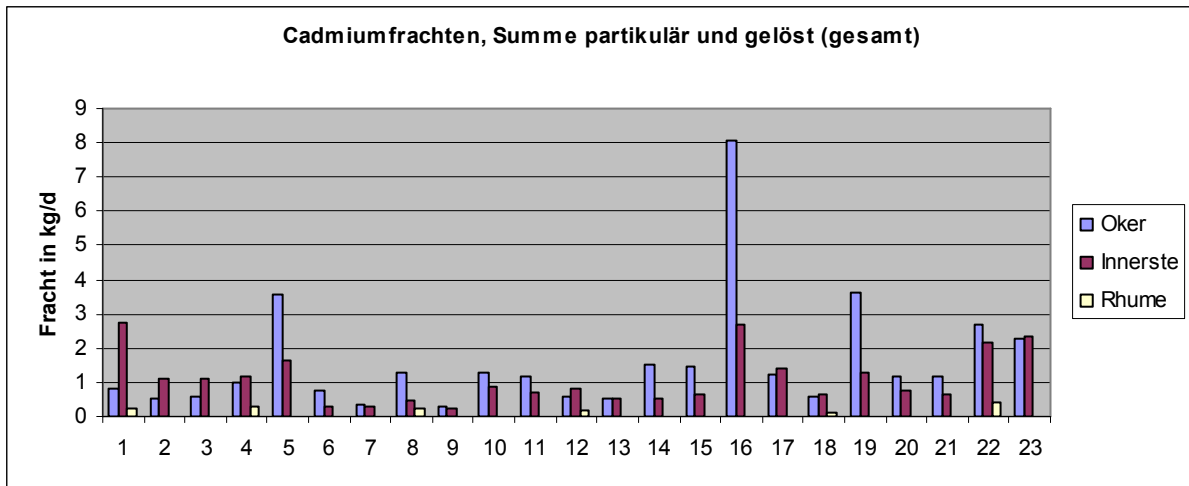


Abb. 15: Cadmiumfrachten [kg/d], Summe partikulär und gelöst, von Oker, Innerste und Rhume, 2007

### 8. Korrelation von Schwermetallfrachten (gesamt) zu den Abflüssen

Die Gesamt-Frachten von Zink, Blei und Cadmium mit den dazugehörigen Abflüssen sind in den Abb. 16 – 18 für die Innerste und in Abb. 19 – 21 grafisch dargestellt.

Es zeigt sich, dass die gewählte logarithmische Funktion zur Trenddarstellung die Untersuchungsergebnisse bei den 3 Schwermetallen insgesamt betrachtet gut widerspiegeln: Zunehmende Abflüsse haben auch erhöhte Schwermetallfrachten zur Folge. Insbesondere Hochwasserereignisse haben innerhalb eines relativ kurzen Zeitraums hohe Schwermetallfrachten zur Folge. Zudem ist die aus den Daten resultierende logarithmische Funktion ein Indiz dafür, dass es sich um überwiegend diffuse Einträge in die Gewässer handelt. Würde es sich um überwiegend punktuelle Einleitungen/Quellen handeln, so müssten die Frachten, wenig beeinflusst durch das Abflussgeschehen, annähernd konstant sein. In der Oker ist die Korrelation von Bleifracht zum Abfluss, wie aus Abb. 20 hervorgeht, allerdings weniger signifikant.

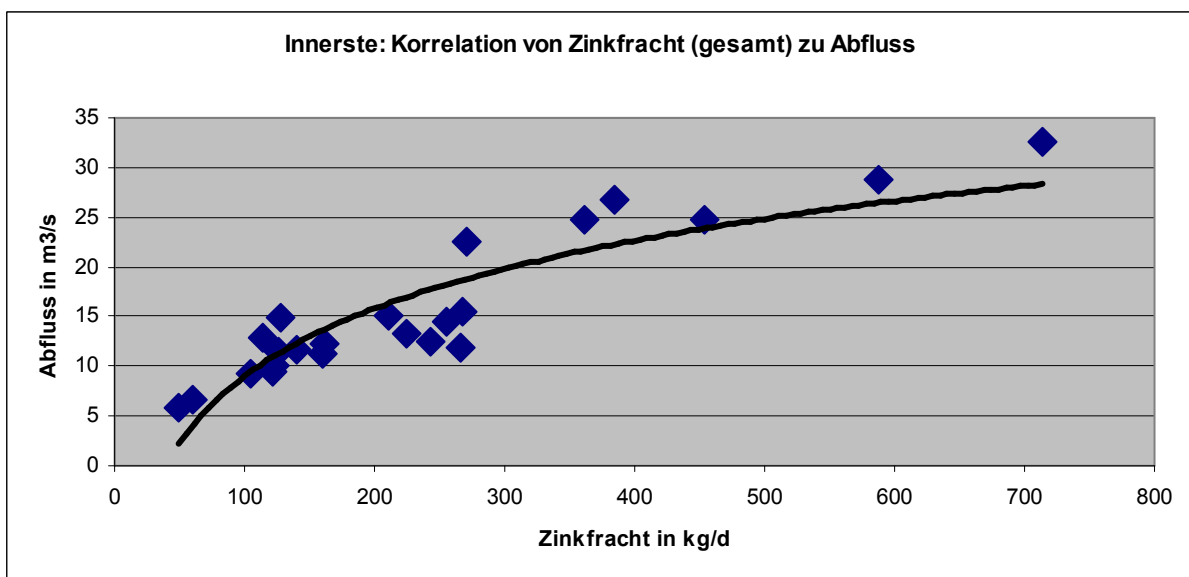


Abb. 16: Korrelation von Zinkfrachten [kg/d] zu Abflüssen [m<sup>3</sup>/s], Innerste/Sarstedt, 2007

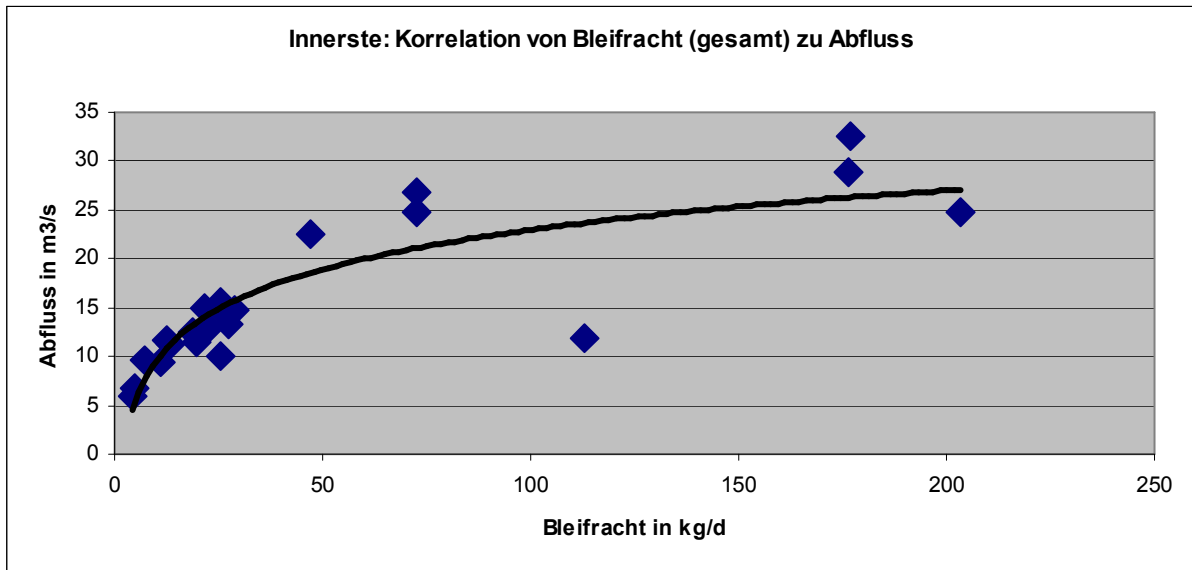


Abb. 17: Korrelation von Bleifrachten [kg/d] zu Abflüssen [m<sup>3</sup>/s], Innerste/Sarstedt, 2007

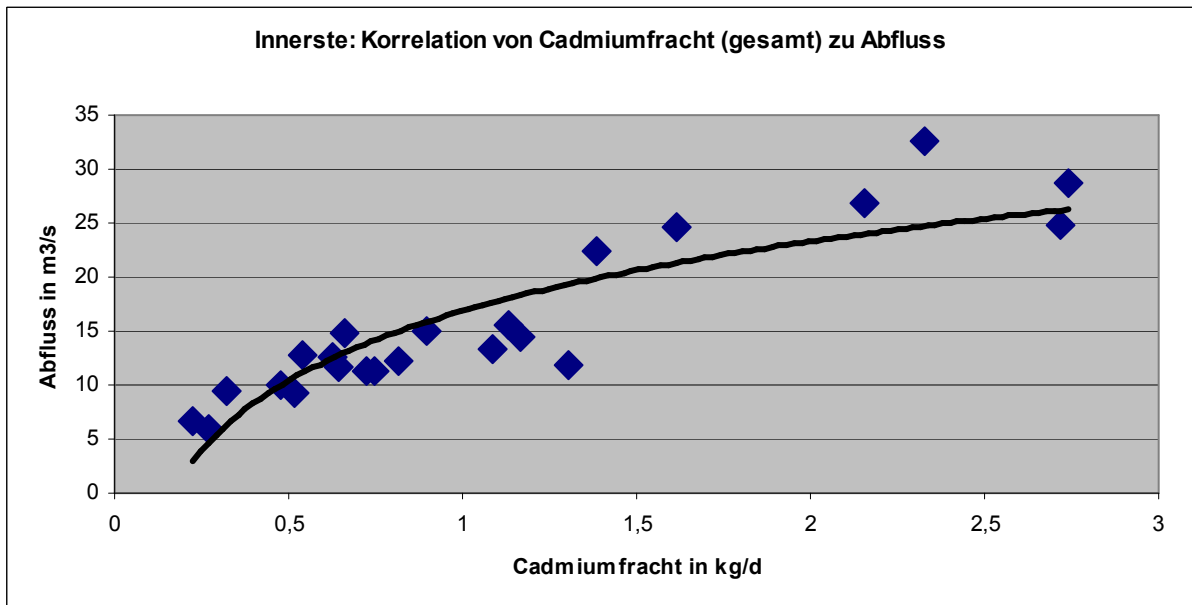


Abb. 18 Korrelation von Cadmiumfrachten [kg/d] zu Abflüssen [m<sup>3</sup>/s], Innerste/Sarstedt, 2007

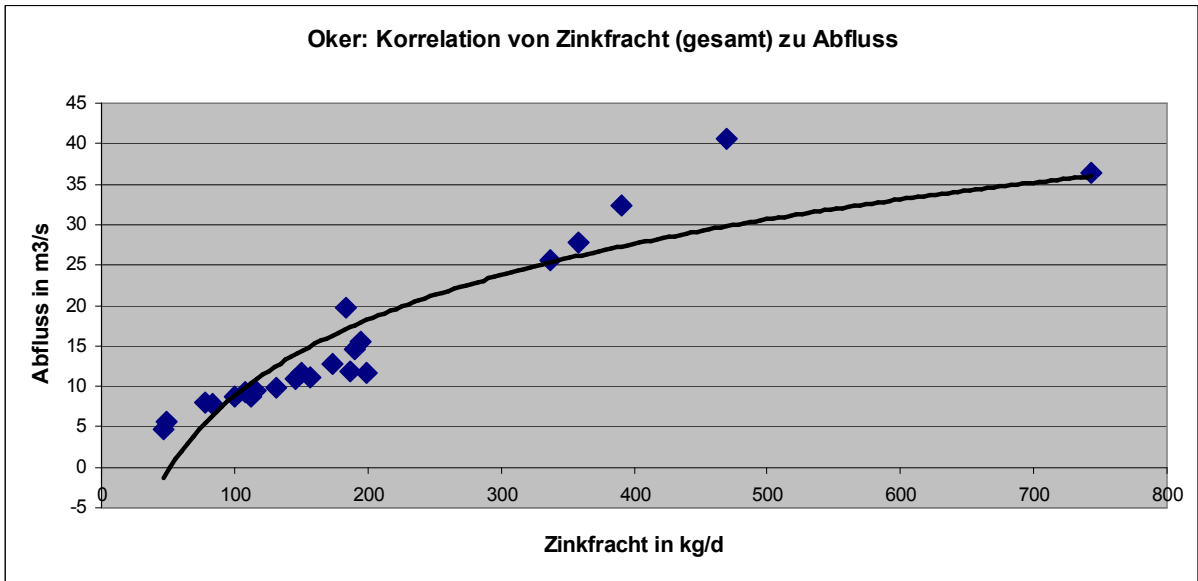


Abb. 19: Korrelation von Zinkfrachten [kg/d] zu Abflüssen [m<sup>3</sup>/s], Oker/Gr. Schwülper, 2007

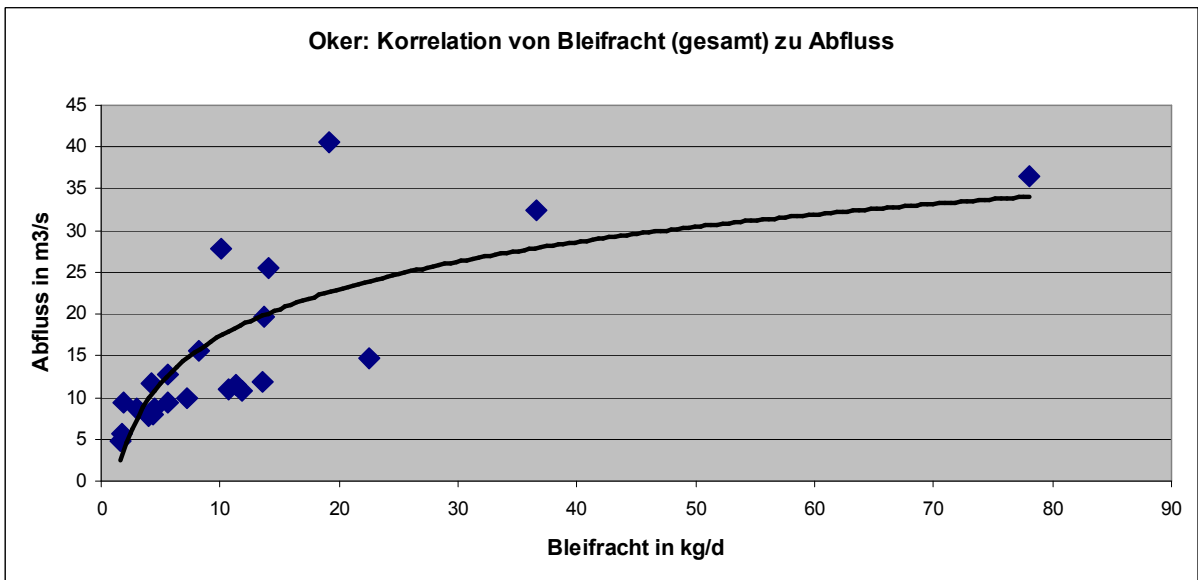


Abb. 20: Korrelation von Bleifrachten [kg/d] zu Abflüssen [m<sup>3</sup>/s], Oker/Gr. Schwülper, 2007

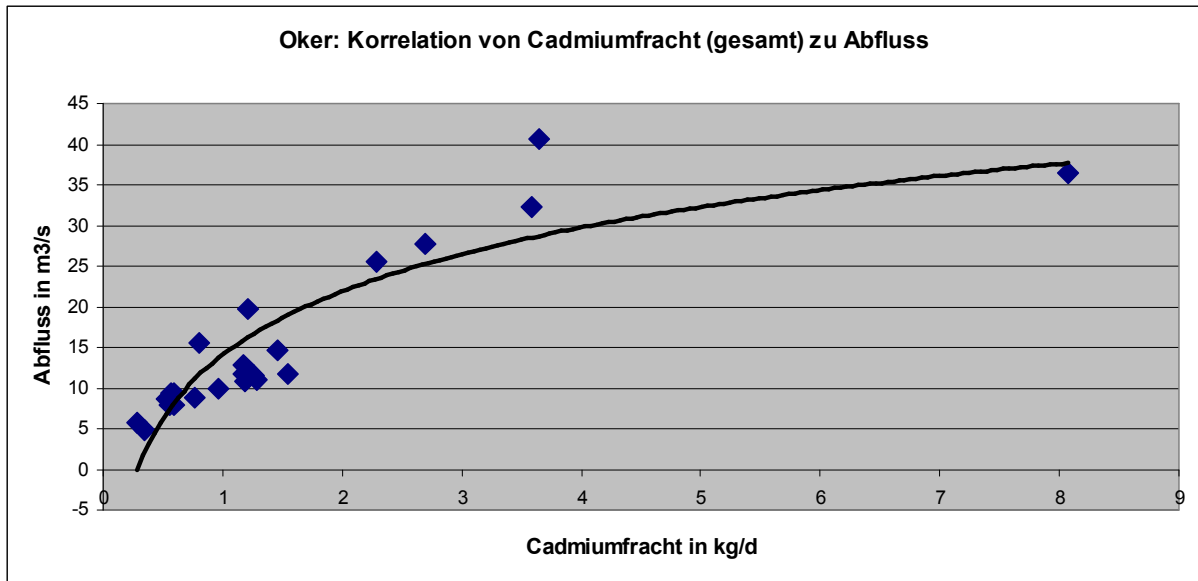


Abb. 21: Korrelation von Cadmiumfrachten [kg/d] zu Abflüssen [m<sup>3</sup>/s], Oker/Gr. Schwülper, 2007

## 9. Jahresfrachten sämtlicher untersuchter Schwermetalle

In Tab 1 sind die Jahresfrachten (in t/a) des Jahres 2007 aufgeführt, wobei zwischen der jeweils partikulär gebundenen und gelöst vorliegenden Fracht differenziert wird. Neben der Summe aus diesen beiden Kompartimenten (Gesamtfracht) enthält die Tab. 1 darüber hinaus Angaben über den prozentualen Anteil der partikulär gebundenen Schwermetalle, die Schwebstofffracht und letztlich den Mittelwert der Abflüsse (errechnet aus den jeweiligen Abflüssen der Untersuchungsintervalle). Wurde bei einem Schwermetall die Bestimmungsgrenze überwiegend unterschritten, so konnte keine zuverlässige Fracht ermittelt werden. In diesen Fällen wurde die Tabelle mit einem „-“ versehen, wie z.B. bei Antimon, gelöst.

Als bemerkenswert ist zunächst festzuhalten, dass der Transport bei den meisten Schwermetallen nicht überwiegend über Schwebstoffe, sondern über die gelöste Wasserphase erfolgt. Lediglich bei Blei erfolgt der Transport überwiegend, zu etwa 90 %, über die Schwebstoffpartikel. Bei Chrom, Kupfer und Cadmium halten sie sich in etwa die Waage.

Während die Innerste und Rhume pro Jahr etwa 16.000 t und 19.000 t an Schwebstoffen transportieren, waren es in der Oker deutlich weniger, nämlich lediglich etwa 7.000 t.

In der Rhume bei Northeim wurden zwar vergleichsweise deutlich geringere Schwermetallgehalte als in der Oker und Innersten ermittelt. Da der mittlere Abfluss der Rhume jedoch mit 28 m<sup>3</sup>/s deutlich höher als in der Oker (15,4 m<sup>3</sup>/s) und Innerste (15,6 m<sup>3</sup>/s) war, sind die ermittelten Frachten in der Rhume teilweise in einer nicht zu vernachlässigen Größenordnung. Beispielsweise liegen die Bleifrachten der Rhume mit 5,3 t/a in der gleichen Größenordnung wie die der Oker mit 4,7 t/a. (siehe im Vergleich auch Abb. 3 und 6). Auffallend sind zudem die in der Innersten ermittelten hohen Bleifrachten von 18 t/a, die somit dem etwa 3-fachen der Fracht der Oker und Rhume entsprechen.

Die Untersuchungen werden in den nächsten Jahren fortgeführt, allerdings wurde der Probenahmecycle von 14-tägig auf monatlich reduziert. Es wird jedoch zur Trendabschätzung empfohlen, in 3 oder 5 Jahren (2010 oder 2012) wieder zu den 14-tägigen Untersuchungen zurück zukehren.



Tab. 1: Jahresfrachten sämtlicher untersuchter Schwermetalle, der Schwebstoffe und der mittlere Abfluss (errechnet aus den Abflüssen der Untersuchungsintervalle)

	Partikulär gebunden	Gelöste Wasserphase	Gesamt, gerundet Summe von 2+3	Anteil partikulär gebunden
	t/a	t/a	t/a	%
1	2	3	4	5
<b>Oker</b>				
Chrom	0,61	0,44	1,1	55
Kupfer	1,5	1,8	3,2	47
Nickel	0,43	2,0	2,4	18
Zink	24	50	74	32
Blei	4,0	0,66	4,7	85
Cadmium	0,34	0,24	0,58	59
Kobalt	0,22	0,24	0,46	48
Quecksilber	0,014	-	-	-
Antimon	0,022	-	-	-
Arsen	0,28	0,85	1,1	25
Molybdän	0,025	-	-	-
Schwebstoffe	6500	0	6500	100
Mittlerer Abfluss	-	-	15,4 [m <sup>3</sup> /s]	-
<b>Innerste</b>				
Chrom	1,2	0,54	1,8	67
Kupfer	1,4	1,2	2,7	52
Nickel	0,71	1,3	2,0	36
Zink	30	58	88	34
Blei	17	1,2	18	94
Cadmium	0,19	0,21	0,40	48
Kobalt	0,26	-	-	-
Quecksilber	0,012	-	-	-
Antimon	0,013	-	-	-
Arsen	0,33	0,25	0,58	57
Molybdän	-	-	-	-
Schwebstoffe	15500	0	15500	100
Mittlerer Abfluss	-	-	15,6 [m <sup>3</sup> /s]	-
<b>Rhume</b>				
Chrom	1,2	0,45	1,7	71
Kupfer	1,1	1,4	2,6	42
Nickel	0,75	1,3	2,1	36
Zink	10	22	32	31
Blei	4,8	0,53	5,3	91
Cadmium	0,031	0,051	0,082	38
Kobalt	0,30	-	-	-
Quecksilber	0,0038	-	-	-
Antimon	0,016	-	-	-
Arsen	0,494	1,1	1,6	31
Molybdän	-	-	-	-
Schwebstoffe	18500	0	18500	100
Mittlerer Abfluss	-	-	28,0 [m <sup>3</sup> /s]	-

Der Autor möchte sich an dieser Stelle bei allen Kolleginnen und Kollegen der Betriebsstelle Hannover-Hildesheim, die an diesem Vorhaben beteiligt waren, ganz herzlich für ihr Engagement sowie professionelle und freundliche Unterstützung bedanken.

Für die Mitteilung der Abflussdaten von Oker und Rhume sei der Betriebsstelle Süd (Göttingen) ebenfalls gedankt.

Dr. Dieter Steffen  
Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft,  
Küsten- und Naturschutz (NLWKN)  
Betriebsstelle Hannover-Hildesheim  
An der Scharlake 39  
31135 Hildesheim  
Tel.: 05121 - 509 - 207 (oder -0)  
Fax : 05121 - 509 - 196  
e-Mail: [Dieter.Steffen@nlwkn-hi.niedersachsen.de](mailto:Dieter.Steffen@nlwkn-hi.niedersachsen.de)  
Internet: [www.nlwkn.de](http://www.nlwkn.de)