

Design des Vorhabens

Abschlussveranstaltung zum Vorhaben „Entwicklung eines Bilanzierungsinstruments für den Eintrag von Schadstoffen aus kommunalen Kläranlagen in Gewässer“
24.03.2015

INSTITUT FÜR WASSER UND GEWÄSSERENTWICKLUNG, BEREICH SIEDLUNGSWASSERWIRTSCHAFT UND WASSERGÜTEWIRTSCHAFT
FAKULTÄT FÜR BAUINGENIEUR-, GEO- UND UMWELTWISSENSCHAFTEN

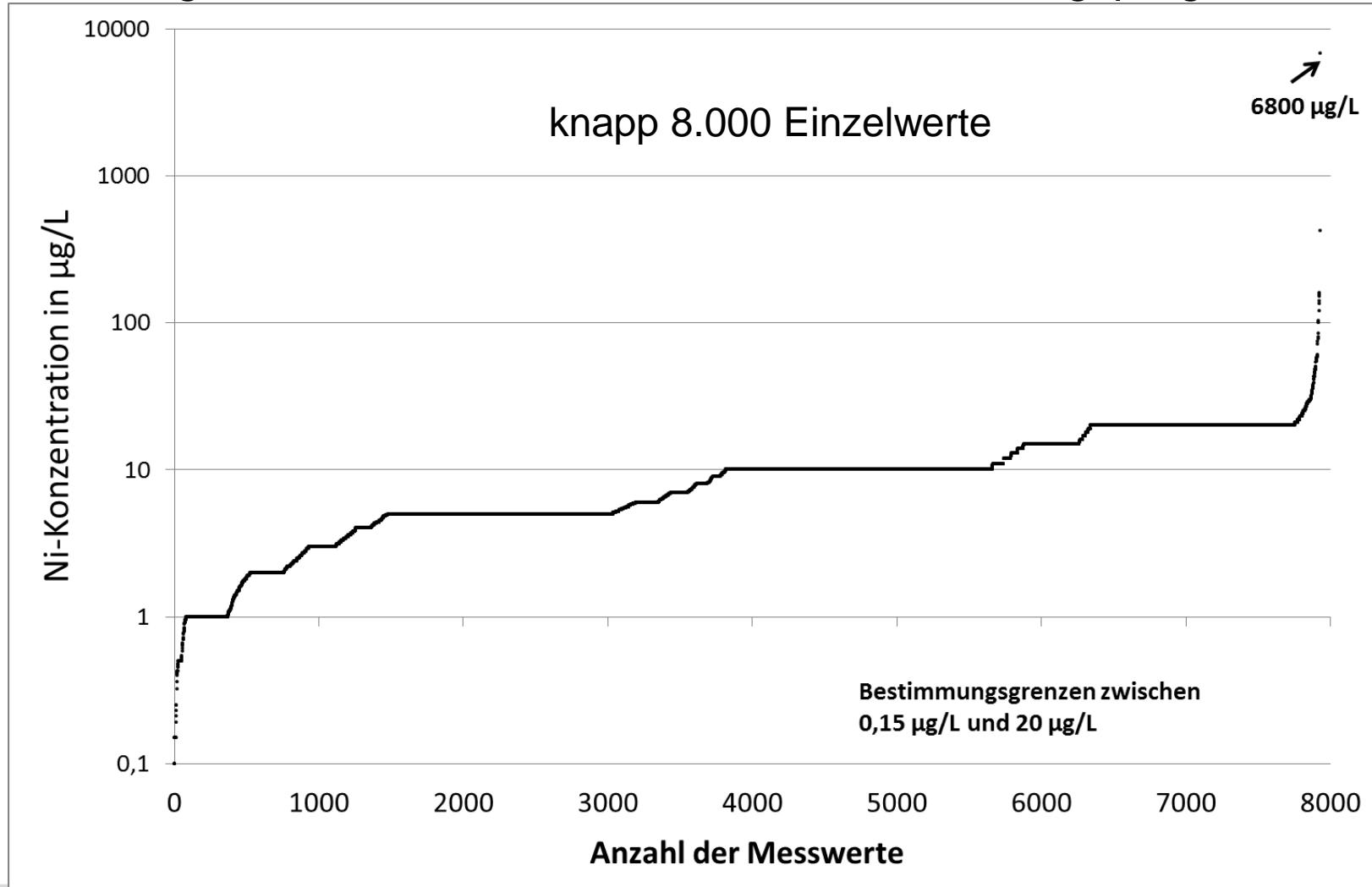


Kommunale Kläranlage

- Auf den ersten Blick gute Datenlage
- Hohe Inkonsistenz
 - Verschiedene Randbedingungen z.B. Probenahmeart
 - Unterschiedliche Bestimmungsgrenzen (BG)
 - Lückenhafte Dokumentation
- Hohe Schwankungen der Messwerte
- Problematische statistische Auswertung
- Identifizierung von Handlungsbedarf zur Verbesserung der Datenlage
- Entwicklung eines Konzepts für kampagnenbezogenes Monitoring

Kommunale Kläranlage

■ Sichtung nationaler und internationaler Untersuchungsprogramme



Ziele

- Entwicklung geeigneter Vorgehensweisen zur Probenahme, Probenaufbereitung und Analyse für prioritäre Stoffe
- Planung und Durchführung eines Monitorings
- Entwicklung einer Handlungsempfehlung
- Bereitstellung eines Datensatzes mit validen Konzentrationsdaten
- Ableitung von ersten Emissionsfaktoren für prioritäre Stoffe für den Eintragspfad „Kommunale Kläranlagen“

Auswahl der Parameter

- Liste der prioritären Stoffe
- Relevanz der Stoffe für kommunale Abwasserbehandlungsanlagen
 - u.a. die Studie von Clara et al. (2009)
- Relevanz der Stoffe für die Gewässer
 - Auswertung im Rahmen der Bestandsaufnahme Ad hoc AG Prioritäre Stoffe
- Spezifische Wünsche der Bundesländer (z.B. weitere PAK, Pestizide,...)
- Parameter, die aufgrund des verwendeten Analysenverfahrens ohne Mehrkosten analysiert werden können

- Schwermetalle (Cadmium, Quecksilber, Blei, Nickel),
- Pflanzenschutzmittelwirkstoffe (Atrazin, Diuron, Isoproturon),
- Alkylphenole (tert-Octylphenol, 4-iso-Nonylphenol),
- 16 polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe
- Polybromierte Diphenylether,
- Chlorierte Verbindungen (Hexachlorbutadien, Hexachlorbenzol, Endosulfan Summe, α -, β -, γ - und δ -Hexachlorcyclohexan),
- Di(2-ethylhexyl)phthalat (DEHP),
- Tributylzinn,
- Trichlormethan und Pentachlorphenol
 - insgesamt 42 Stoffe
- Begleitparameter
 - Zu- und Ablauf: LF, AFS, GV_{AFS}, Ks_{4,3}, CSB_{ges}, CSB_{gel}, NH₄-N, NO₃-N, N_{ges}, P_{ges}, PO₄-P, Fe_{ges}, Zn_{ges} und Zn_{gel}
 - Klärschlamm: TS, GV, P_{ges}

Kläranlagenauswahl

■ weitgehend gleiche Verfahrenstechnik

- Belebungsbecken mit Denitrifikation
- P-Fällung
- Nachklärbecken
- Schlammfaulung

	Einheit	Kläranlage M	Kläranlage W	Kläranlage H
Ausbaugröße	[EW]	44.000	180.000	500.000
Nominalbelastung	[EW]	30.000	147.000	314.000
angeschlossene Einwohner	[E]	23.000	117.000	189.000
angeschlossene Einwohnergleichwerte	[EGW]	7.000	30.000	125.000

Projektverlauf

02 bis 05/2013

Vorbereitung

Datenrecherche
Anlagenauswahl, Planung,
Monitoring

Methodenabstetzung:
• Probenahme
• Labor

06 bis 12/2013

Probenahme

Probenahme
Analysen
Auswertung

2014

Ergebnisse

Handlungsempfehlung
Emissionsfaktoren
Bericht
Abschlussveranstaltung

Probenahmekonzept

- Drei kommunale Abwasserbehandlungsanlagen

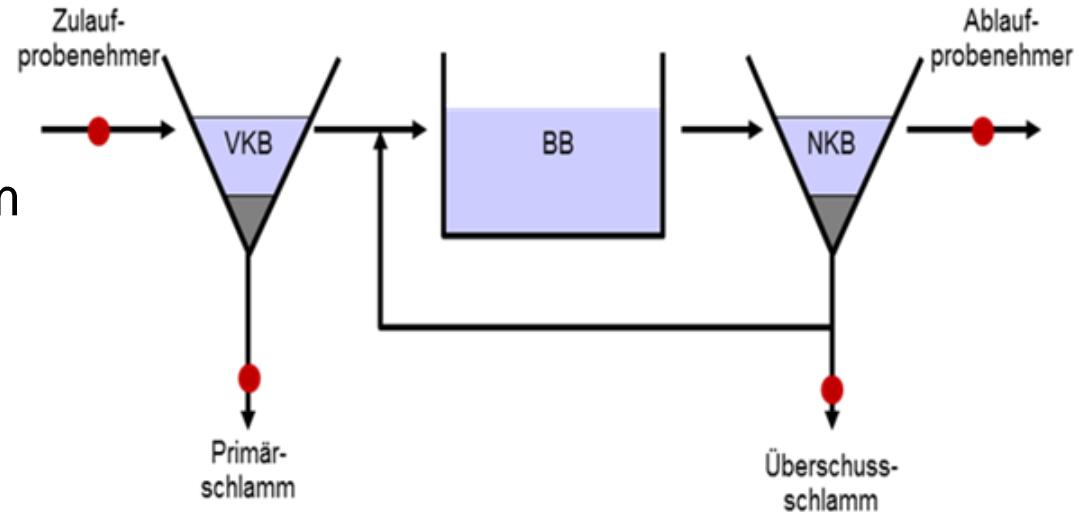
- Zu- und Ablauf

- Primär- und Faulschlamm

- Langzeitmischprobe

- Separate Probenahme

- Trockenwetter
 - Regenwetter



VKB: Vorklarbecken; BB: Belebungsbecken; NKB: Nachklärbecken

- Vier Messkampagnen

- Juni bis September 2013

insg. 2.726 Messergebnisse

Ergebnisse der Untersuchung

Abschlussveranstaltung zum Vorhaben „Entwicklung eines Bilanzierungsinstruments für den Eintrag von Schadstoffen aus kommunalen Kläranlagen in Gewässer“
24.03.2015

INSTITUT FÜR WASSER UND GEWÄSSERENTWICKLUNG, BEREICH SIEDLUNGSWASSERWIRTSCHAFT UND WASSERGÜTEWIRTSCHAFT
FAKULTÄT FÜR BAUINGENIEUR-, GEO- UND UMWELTWISSENSCHAFTEN



Datenauswertung

- systematische Auswertung
 - Anteil der positiven Befunde
 - Statistische Parameter je Stoff und Kompartiment
 - einwohnerwertspezifische Fracht
 - Regenwetter vs. Trockenwetter
- Vergleich der Kläranlagen untereinander
- Zum Verständnis des Stoffverhaltens in der Kläranlage
 - Analyse der Zusammenhänge zw. Zu- und Ablaufbelastung
 - Analyse des gekoppelten Vorkommen von Stoffen
 - Korrelationsanalyse zwischen Begleitparametern und Stoffen

Ergebnisse der Untersuchung

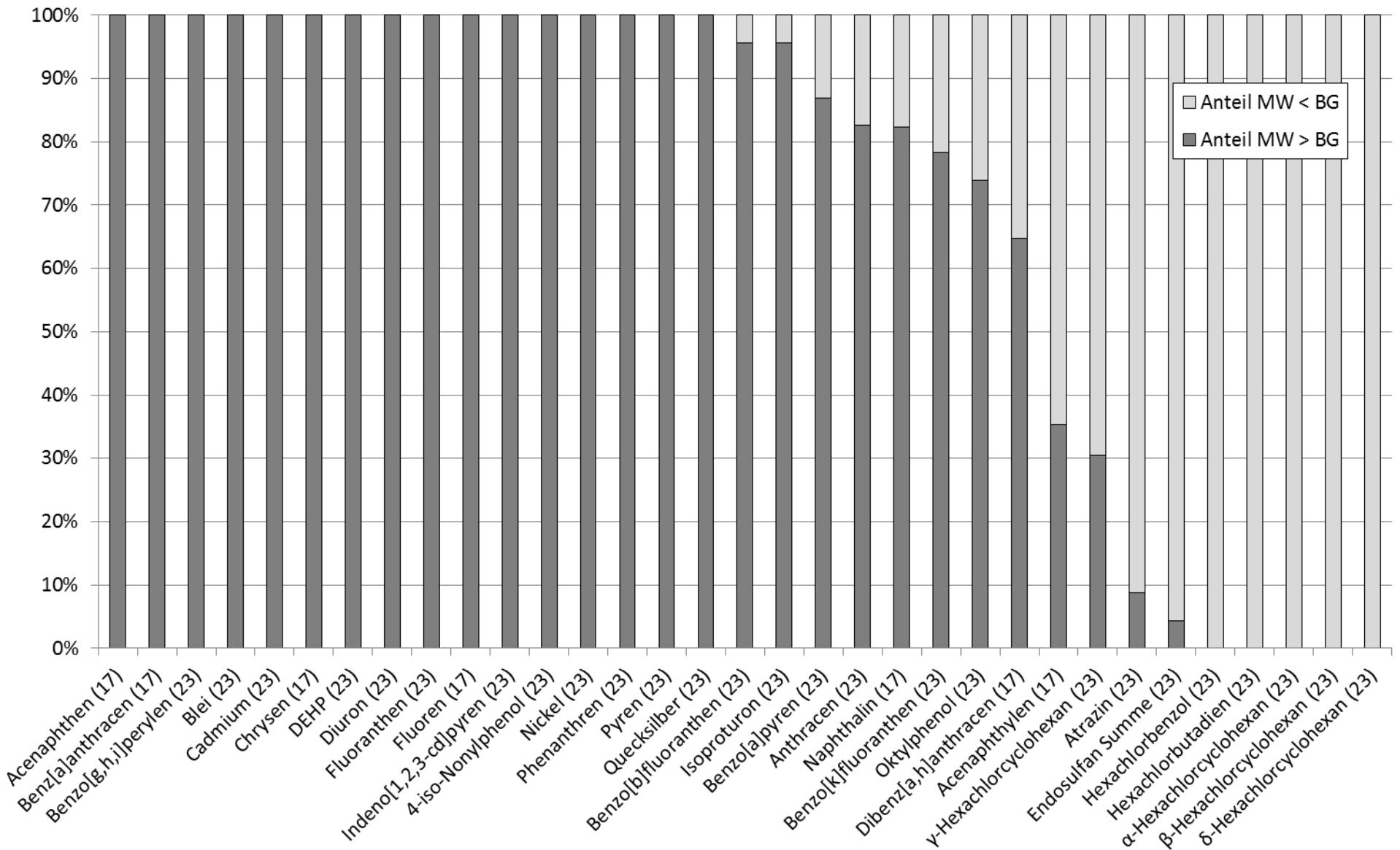
	Wasser		Feststoff	
	Zulauf	Ablauf	PS	FS
Anzahl Proben				
positive Befunde	526	300	441	260
negative Befunde	244	489	318	148
Insgesamt	770	789	759	408

Positive Befunde je Kläranlage

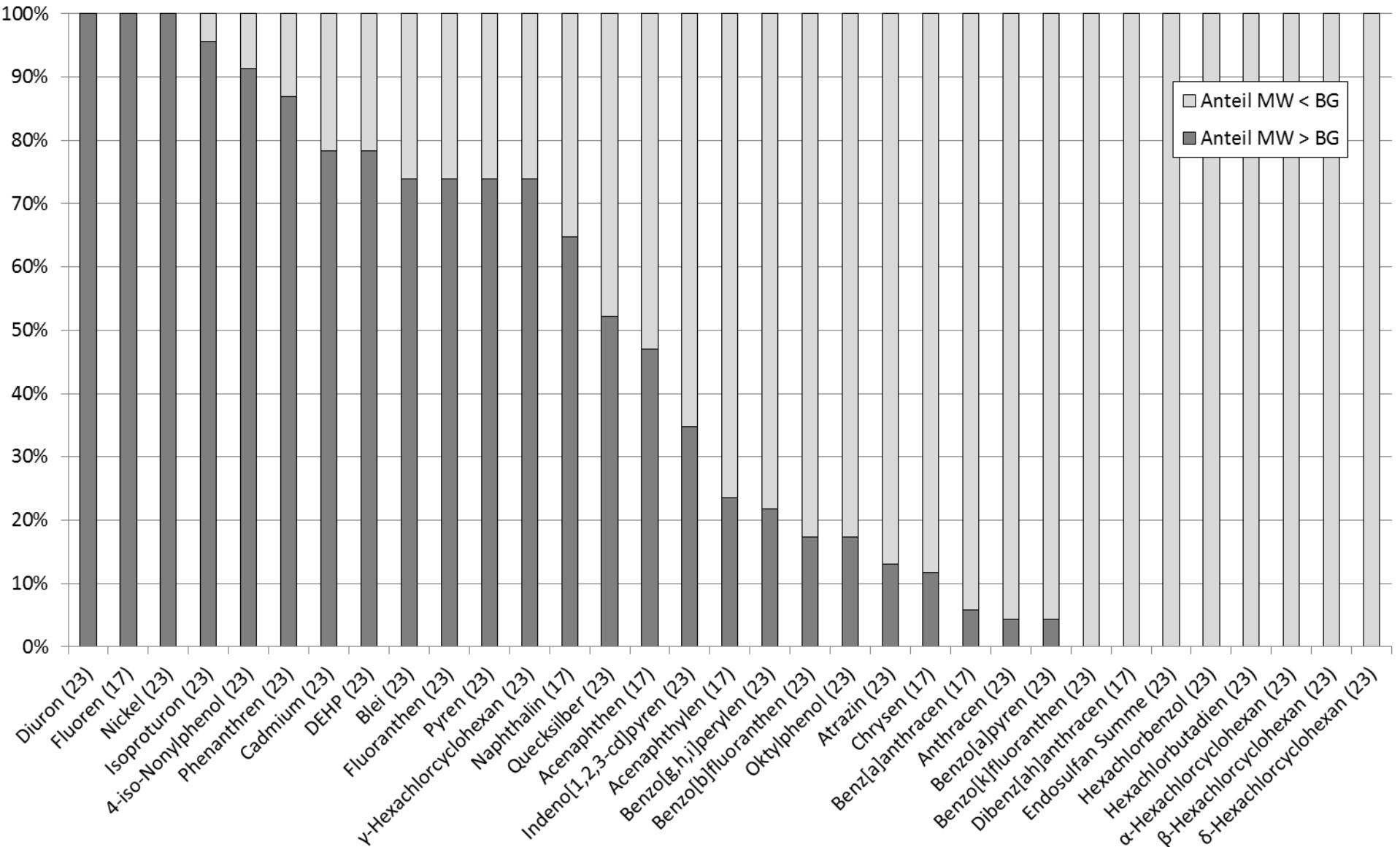
Positive Befunde	Kläranlage M	Kläranlage W	Kläranlage H
Zulauf	29	31	31
Ablauf	26	16	22
Primärschlamm	24	21	26
Faulschlamm	26	25	27

- Parameter insgesamt je Kläranlage:
 - im Zulauf 41 Parameter
 - im Ablauf 42 Parameter (zusätzlich TBT)
 - im Primärschlamm 40 Parameter
 - im Faulschlamm 41 Parameter (zusätzlich TBT)

Anteil der Positivbefunde im Zulauf



Anteil der Positivbefunde im Ablauf



Auswertung der Messergebnisse

Nickel	Zulauf [$\mu\text{g}/\text{L}$]	Ablauf [$\mu\text{g}/\text{L}$]	PS [mg/kg]	FS [mg/kg]
Min	5,4	1,5	12.000	22.000
Median	9,2	3,5	22.000	30.000
Mittelwert	10	3,7	21.652	29.333
Max	19	11	33.000	38.000
Standardabweichung	3,3	2	5.228	5.399
VarK	0,3	0,6	0,2	0,2
BG	1	1	1.000	1.000
Anzahl (N)	23	23	23	12
Anzahl > BG	23	23	23	12

PS: Primärschlamm

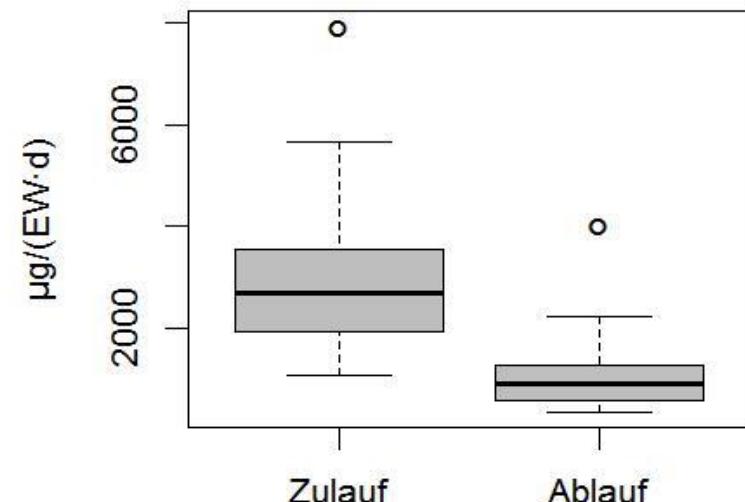
FS: Faulschlamm

SD: Standardabweichung

BG: Bestimmungsgrenze

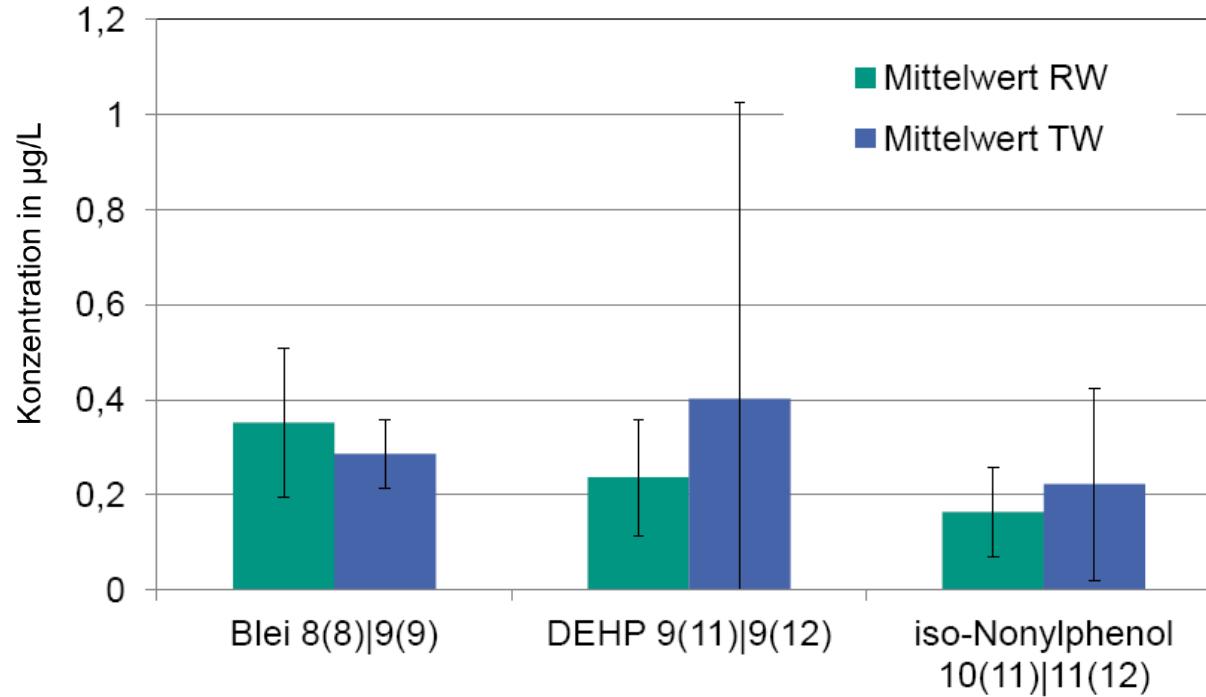
einwohnerwert-spezifische Tagesfracht

Nickel



Regenwetter vs. Trockenwetter

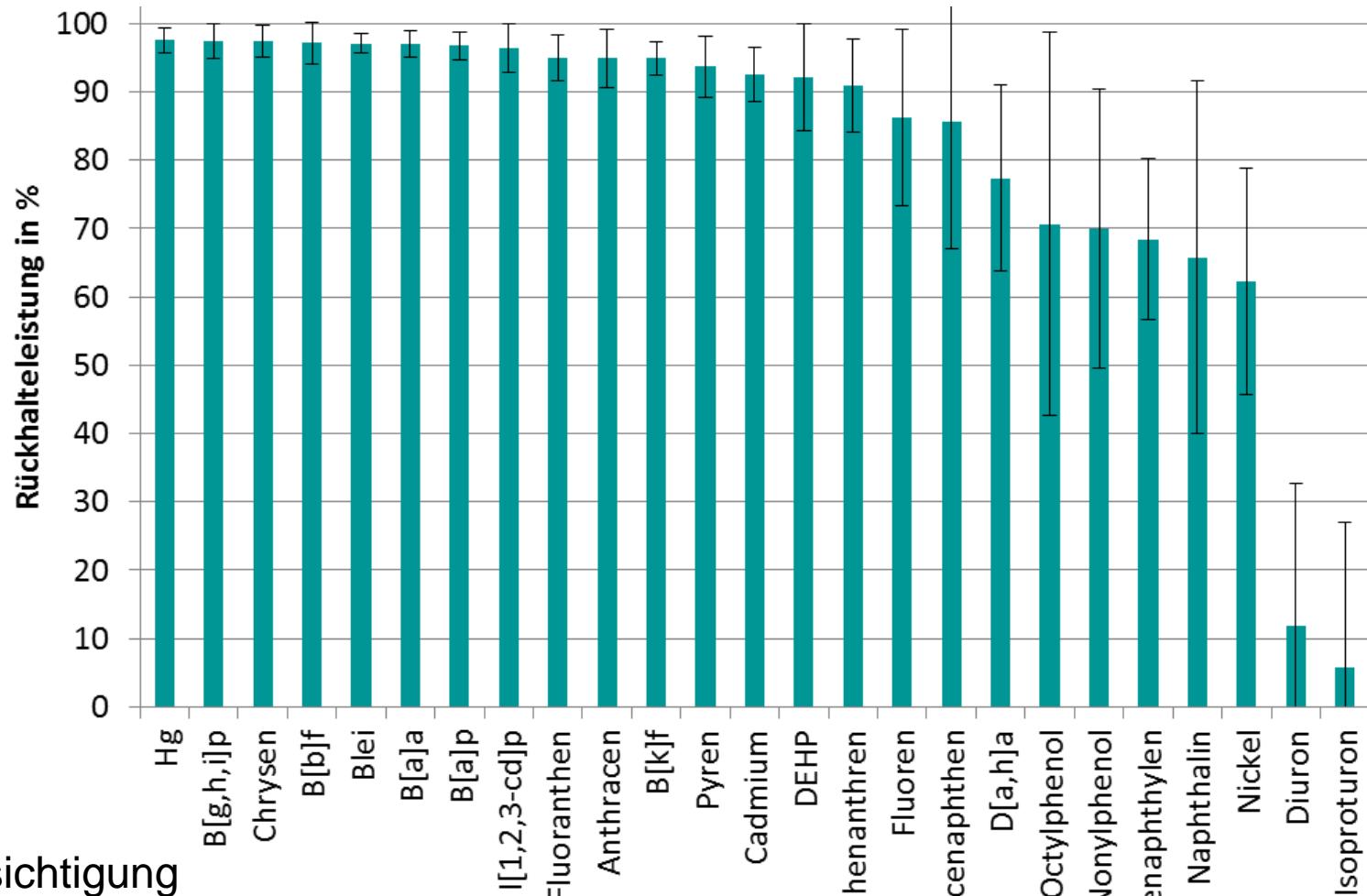
Stoffkonzentrationen im Kläranlagenablauf



Frachten in µg/(EW·d)	Cd	Pb	Hg	Ni
Zulauf RW	86	5.157	33	4.007
Zulauf TW	41	2.017	15	2.055

Frachten in µg/(EW·d)	Cd	Pb	Hg	Ni
Ablauf RW	5,7	148	0,74	1562
Ablauf TW	2,9	50	0,21	691

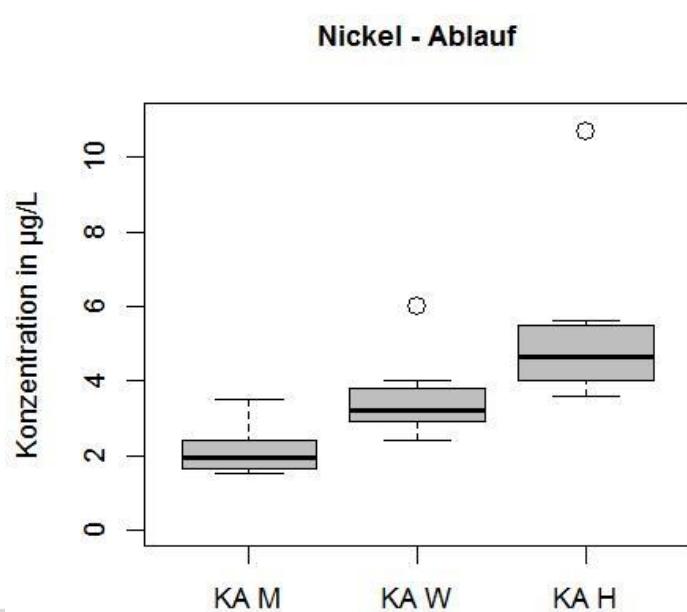
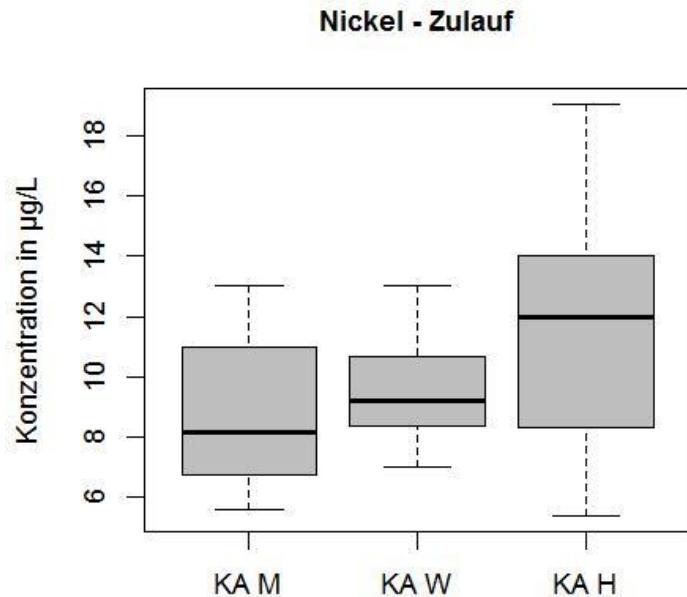
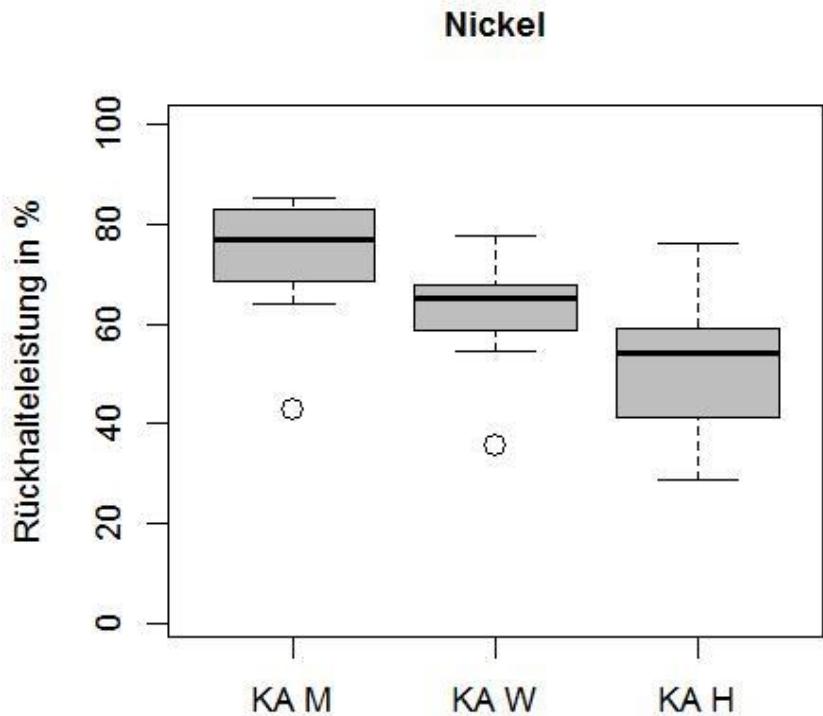
Mittlere Rückhalteleistung



keine Berücksichtigung

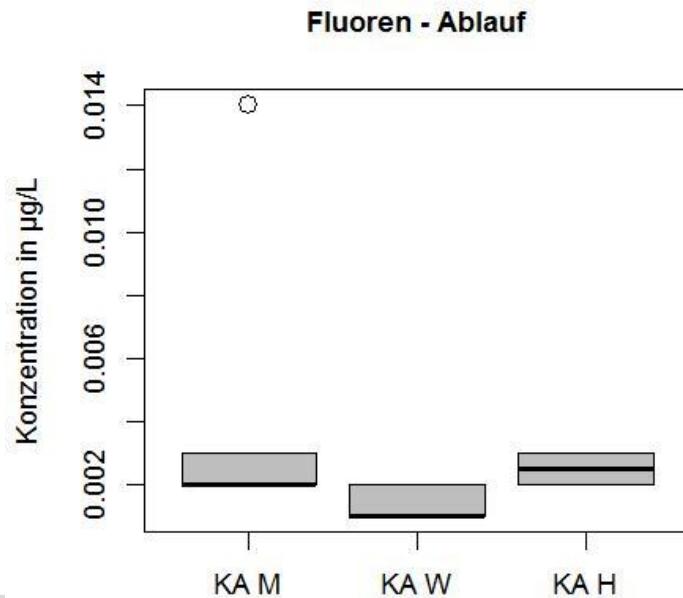
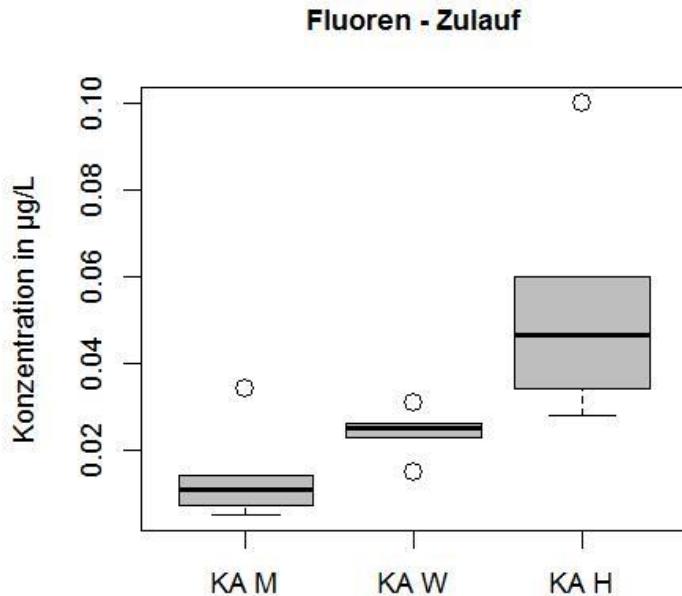
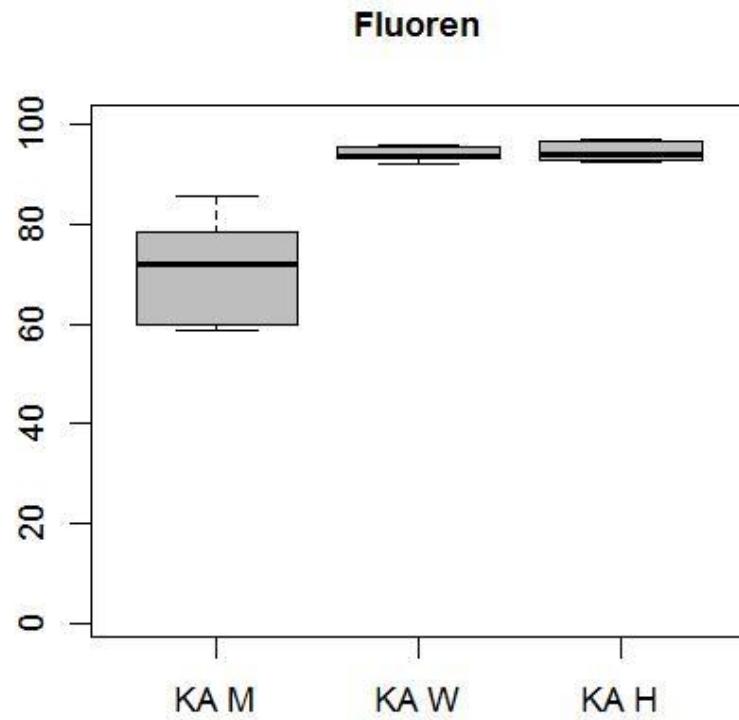
- wenn sowohl Zu- als auch Ablauf < BG
- beim Kontaminationsverdacht

Vergleich der drei Kläranlagen



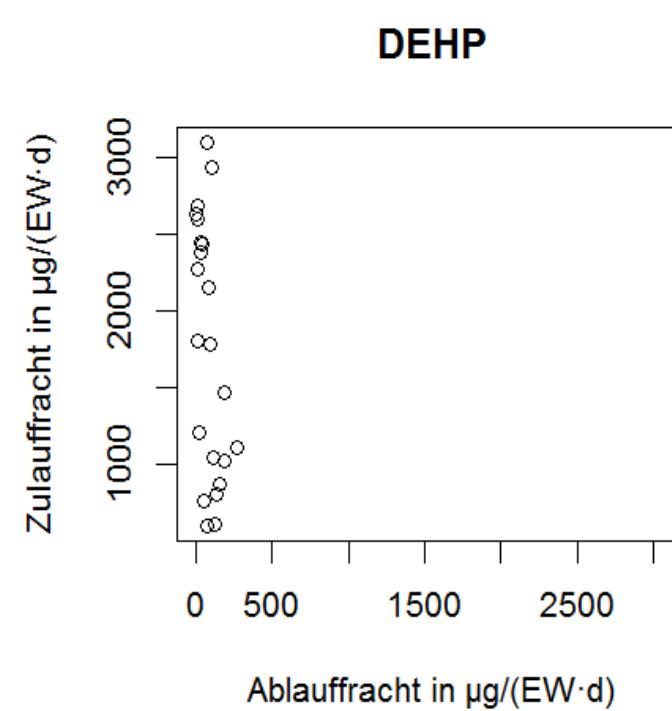
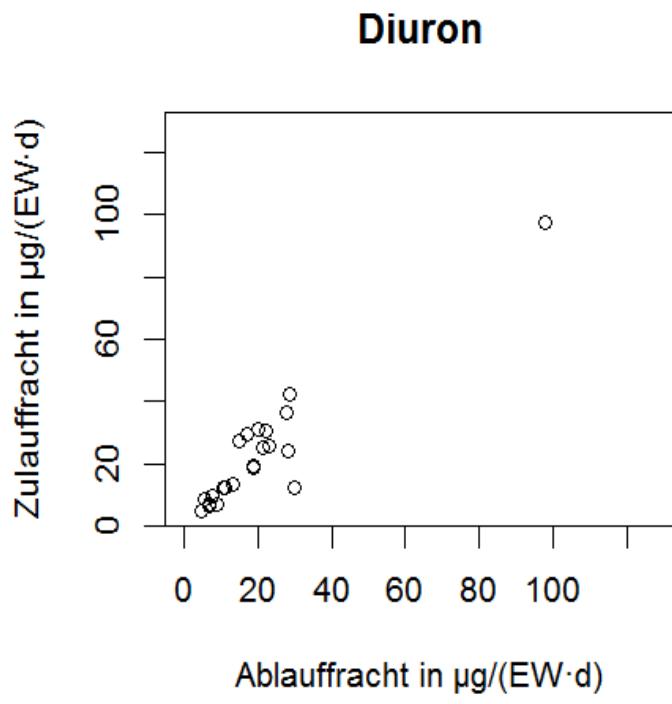
Vergleich der drei Kläranlagen

Rückhalteleistung in %



Zu- und Ablaufwerten

- Verteilungsmuster je nach Stoffverhalten



Schlussfolgerungen

- Indiz für die Unterschiede zwischen Kläranlagen
 - Keine bedeutende Unterschiede beim mittleren Wirkungsgrad
 - KA M im Bezug auf PAK im Vergleich schlechter (bis zu 20% weniger für Acenaphnet und Fluoren)
 - KA H besserer Rückhalt für OP (ca. 20-30%)
 - Zu- und Ablauffrachten (einwohnerwert-spezifisch)
 - höchste max PAK-Zulauffrachten bei KA H
 - niedrigste max PAK-Zu- und Ablauffrachten bei KA W
 - höchste max PAK-Ablauffrachten bei KA M
- Variabilität der einwohnerwert-spezifischen Tagesfrachten
 - niedrige Rückhalteleistung: hohen Ablauf-Schwankungsbreite in A. von der Höhe der Belastung im Zulauf
 - hohe Rückhalteleistung: stabile Ablaufwerte (Puffervermögen)
- Gekoppeltes Vorkommen von Stoffen im Zulauf
 - ✓ hochkondensierte PAK, Schermetalle (insb. Pb - Cd)
 - ✗ Pflanzenschutzmittel, Phenole
 - Sensible Ergebnisse i.A. von der Anzahl der berücksichtigten Werte
- Begleitparameter vs. Schadstoffe

Ergebnisse der Untersuchung

- Dank niedriger BG großer Anteil an Positivbefunden in allen Kompartimenten
- Untersuchung von Zulauf und Klärschlamm hilfreich bei Plausibilisierung der Daten
- Stark reduzierte Schwankungen der Messwerte
- Keine systematischen Unterschiede zwischen den drei Kläranlagen
- Getrennte Abflussbeprobung – kein systematischer Unterschied bei den Ablaufkonzentrationen

Vorhabensergebnisse – ein Beitrag zur Verbesserung der Bestandsaufnahme

Abschlussveranstaltung zum Vorhaben „Entwicklung eines Bilanzierungsinstruments für den Eintrag von Schadstoffen aus kommunalen Kläranlagen in Gewässer“
24.03.2015

INSTITUT FÜR WASSER UND GEWÄSSERENTWICKLUNG, BEREICH SIEDLUNGSWASSERWIRTSCHAFT UND WASSERGÜTEWIRTSCHAFT
FAKULTÄT FÜR BAUINGENIEUR-, GEO- UND UMWELTWISSENSCHAFTEN



Einordnung der Projektergebnisse

- Signifikant geringere mittlerer Konzentrationen für nahezu alle Stoffe
- Schaffung einer einheitlichen gut dokumentierten Datenbasis
- Für bestimmte Stoffe, z.B. nicht prioritäre PAK erste Befunde
- Ableitung repräsentativer Ablaufkonzentration basiert im wesentlichen auf den Ergebnissen dieser Studie
 - insb. tert-Octylphenol und TBT (großer Anteil der Messwerte aus diesem Vorhaben)
 - Benz[a]anthracen, Benzo[g,h,i]perylene und Indeno[1,2,3-cd]pyren (außer Ergebnisse aus diesem Vorhaben keine zuverlässige Konzentrationsmessungen)
- Insgesamt geringe Streubreite der Konzentrationen

Einordnung der Projektergebnisse im Datenkollektiv

Höhere Variationskoeffizienten

■ Atrazin in KA M, Juli

- Zulauf 2,1 µg/L
- Ablauf 1,8 µg/L
- Primärschlamm 120 µg/kg

■ Naphthalin, KA H, Juli

- Ablauf 0,4 µg/L

■ DEHP in KA W, September

- Ablauf 2,3 µg/l

Parameter	Auswertung DBU-Vorhaben				Auswertung übriges Datenkollektivs			
	mittlere Konz. [µg/L]	Variations- koeff.	Anzahl	Anzahl > BG	mittlere Konz. [µg/L]	Variations- koeff.	Anzahl	Anzahl > BG
Cadmium	0,016	0,55	18	18	0,17	6,74	739	402
Blei	0,32	0,38	17	17	0,35	1,57	660	302
Quecksilber	0,001	0,65	14	12	0,02	5,03	475	287
Nickel	3,7	0,55	23	23	4,42	1,36	699	661
Diuron	0,073	0,79	23	23	0,58	6,69	1003	747
Isoproturon	0,059	0,68	23	22	0,13	5,87	932	617

Auswahl der Datenbasis zur Ableitung von Emissionsfaktoren

- Aktualität der Messergebnisse (ab 2006)
- Möglichst großes Datenkollektiv
- Analytische Bestimmungsgrenze (BG) unterhalb der Umweltqualitätsnorm (UQN) liegen
- Mindestens 10 % der Messwerte des Untersuchungsprogramms > BG
- Eliminierung von Ausreißern

Mittlere Kläranlagenablaufkonzentrationen

Stoff	Mittelwert [µg/L]	Min [µg/L]	Max [µg/L]	Anzahl Werte	Anzahl Werte > BG
Cadmium	0,08	0,007	0,44	749	407
Blei	0,28	0,05	1	661	297
Quecksilber	0,004	0,0005	0,02	464	265
Nickel	3,15	0,075	9,6	667	629
Naphthalin	0,003	0,001	0,009	113	88
Fluoranthen	0,004	0,001	0,012	183	164
Benzo[b]fluoranthen	0,001	0,001	0,005	176	59
Diuron	0,05	0,0003	0,2	945	689
Isoproturon	0,03	0,0001	0,16	891	575
Atrazin	0,02	0,0002	0,22	402	230
γ-Hexachlorcyclo-hexan	0,009	0,001	0,03	170	156
DEHP	0,4	0,05	1,2	246	202
4-iso-Nonylphenol	0,16	0,025	0,28	111	75
tert-Octylphenol	0,02	0,003	0,07	35	9
Tributylzinn (TBT)	0,00005	0,00003	0,0002	23	5
BDE 47	0,0002	0,00003	0,001	222	39

Emissionsfaktoren

■ Frachtberechnung

$$E = C \cdot Q$$

E = Fracht in kg/a; C = Konzentration in $\mu\text{g}/\text{L}$; Q = Abwassermenge in m^3

■ Aktivitätsraten

Jahr	angeschlossene Einwohnerwerte [EW]	angeschlossene Einwohner [E]	Einwohnergleichwerte [EWG]	Jahresabwassermenge [1000 m ³]
2007	124.509.902	78.112.002	46.397.900	10.070.784
2010	119.683.566	78.128.419	41.908.228	9.988.057
Mittel	122.096.734	78.120.211	44.153.064	10.029.421

Statistisches Bundesamt (StaBu) (2013): Öffentliche Wasserversorgung und öffentliche Abwasserentsorgung. Öffentliche Abwasserbehandlung und -entsorgung. Fachserie 19. Wiesbaden, 2013

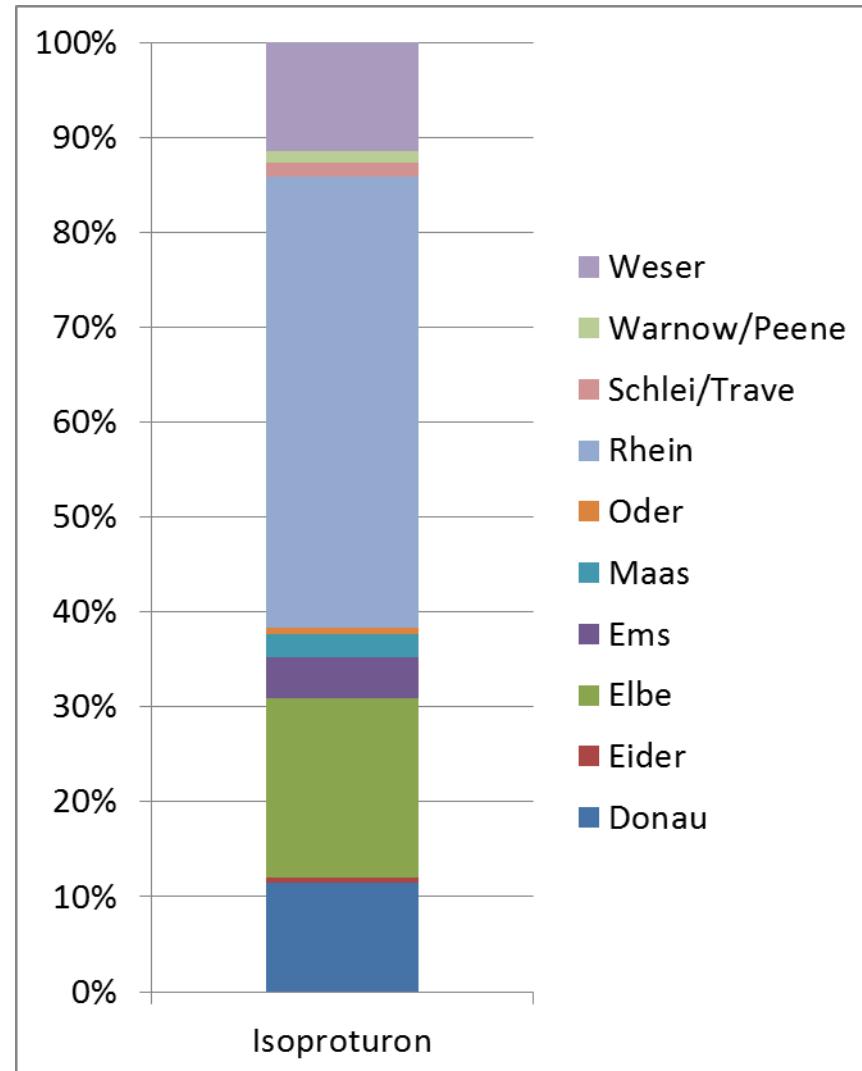
$$\text{Emissionsfaktor} \left[\frac{kg}{a \cdot x} \right] = \frac{\text{Stoffeintrag} \left[\frac{kg}{a} \right]}{\text{Aktivitätsrate} [x]}$$

Stoff	Emissionsfaktor Einwohnerwert [mg/(EW·a)]	Emissionsfaktor angeschl. Einwohner [mg/(E·a)]	Emissionsfaktor Einwohnergleichwerte [mg/(EGW·a)]
Cadmium	6,6	10	18
Blei	23	36	64
Quecksilber	0,33	0,51	0,91
Nickel	259	404	716
Naphthalin	0,25	0,39	0,68
Fluoranthen	0,33	0,51	0,91
Benzo[b]fluoranthen	0,08	0,13	0,23
Diuron	4,1	6,4	11,4
Isoproturon	2,5	3,9	6,8
Atrazin	1,6	2,6	4,5
γ-Hexachlorcyclohexan	0,7	1,2	2,0
DEHP	33	51	91
4-iso-Nonylphenol	13	21	36
tert-Octylphenol	1,6	2,6	4,5
Tributylzinn (TBT)	0,004	0,006	0,011
BDE 47	0,02	0,03	0,05

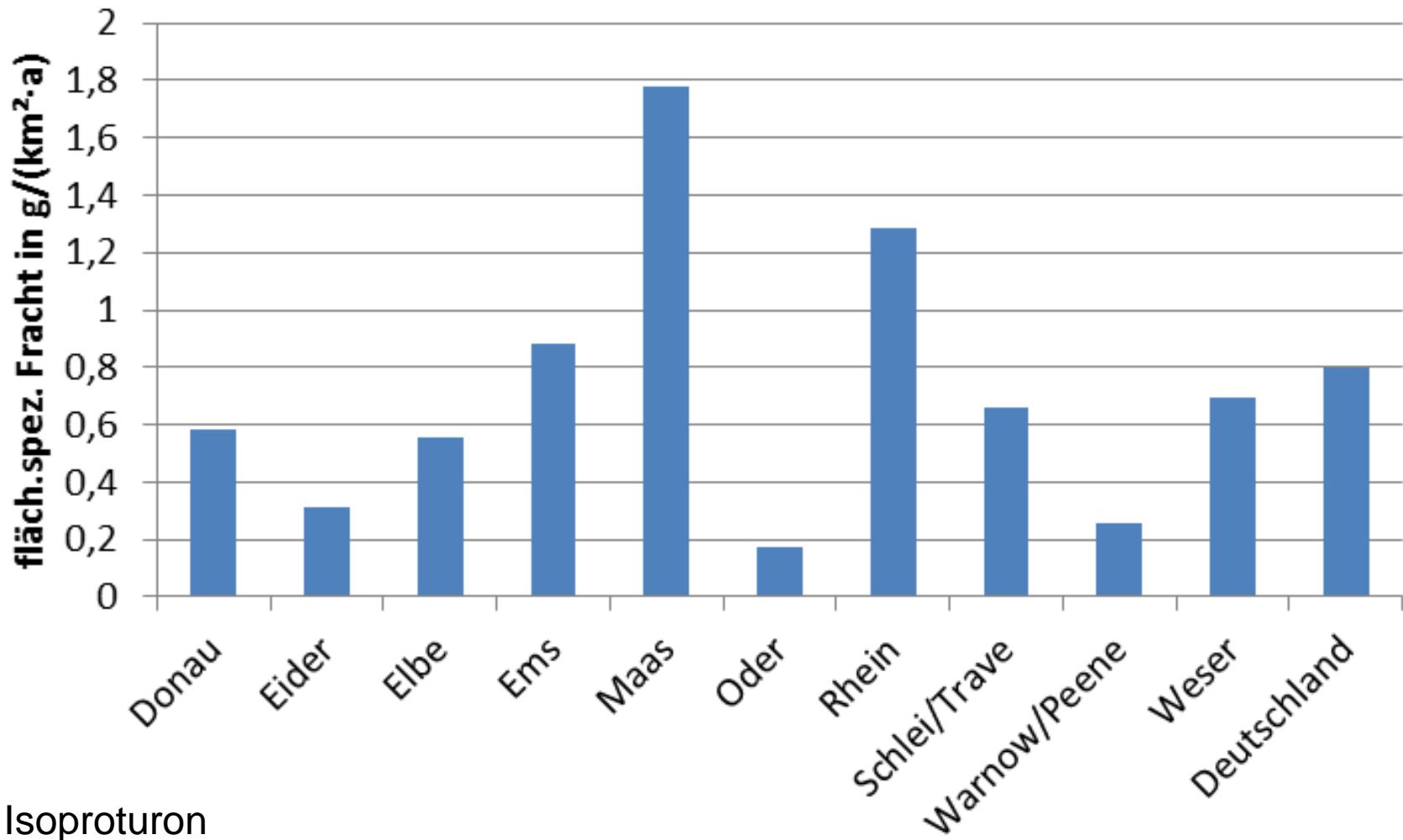
Berechnung der Einträge über Kläranlagen in MoRE

- Isoproturon im Jahr 2010 für die Flussgebietseinheiten, berechnet mit EF Einwohnerwert 2,5 mg/(EW·a) für kommunale KA ≥ 2.000 EW

Flussgeb.einheit	Fracht g/a
Donau	32.786
Eider	1.469
Elbe	53.659
Ems	12.336
Maas	7.096
Oder	1.712
Rhein	135.487
Schlei/Trave	4.010
Warnow/Peene	3.493
Weser	32.728
Deutschland	284.775



Berechnung der Einträge über Kläranlagen in MoRE



Zusammenfassung

- Probenahmestrategie hat sich bewährt
 - Kläranlagenpersonal kann das Prozedere gut in den tägliche Betrieb einbauen
 - Schwankungsbreite der einzelnen Kampagnen ist gering
 - Singuläre Ereignisse werden erfasst
 - Konventionelle Parameter bestätigen Grundannahmen
- Eine differenzierte TW-, RW-Beprobung führt zu keinen zusätzlichen Erkenntnissen
 - Unsystematische Schwankungen
 - Unterschiede deutlich geringer als Variabilität der Messwerte
- keine systematische Unterschieden zwischen den drei Kläranlagen
- Analytik ist aufwendig
 - Sehr geringe BG erfordern moderne Geräte und sorgfältigste Durchführung der Methoden
 - Enge Zusammenarbeit mit Labor erforderlich
 - Immer Gesamtwasserprobe analysieren

Zusammenfassung

- Wesentlicher Beitrag zur Verdichtung der bestehenden Datenbasis
 - Schaffung validier Messergebnisse
- Ableitung erster Emissionsfaktoren für die Bestandsaufnahme
 - Anwendung beim fließgewässerfrachtbezogenen Ansatz
- Handlungsempfehlung
- bestehende Lücken und Beschränkungen
 - keine Differenzierung für Emissionsfaktoren
 - weiterführendes Monitoring
- Richtlinie 2013/39/EU
- MoRE → Integration der Ergebnisse und Erkenntnisse