

# Design des Vorhabens

Abschlussveranstaltung zum Vorhaben „Entwicklung eines Bilanzierungsinstrumentes 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

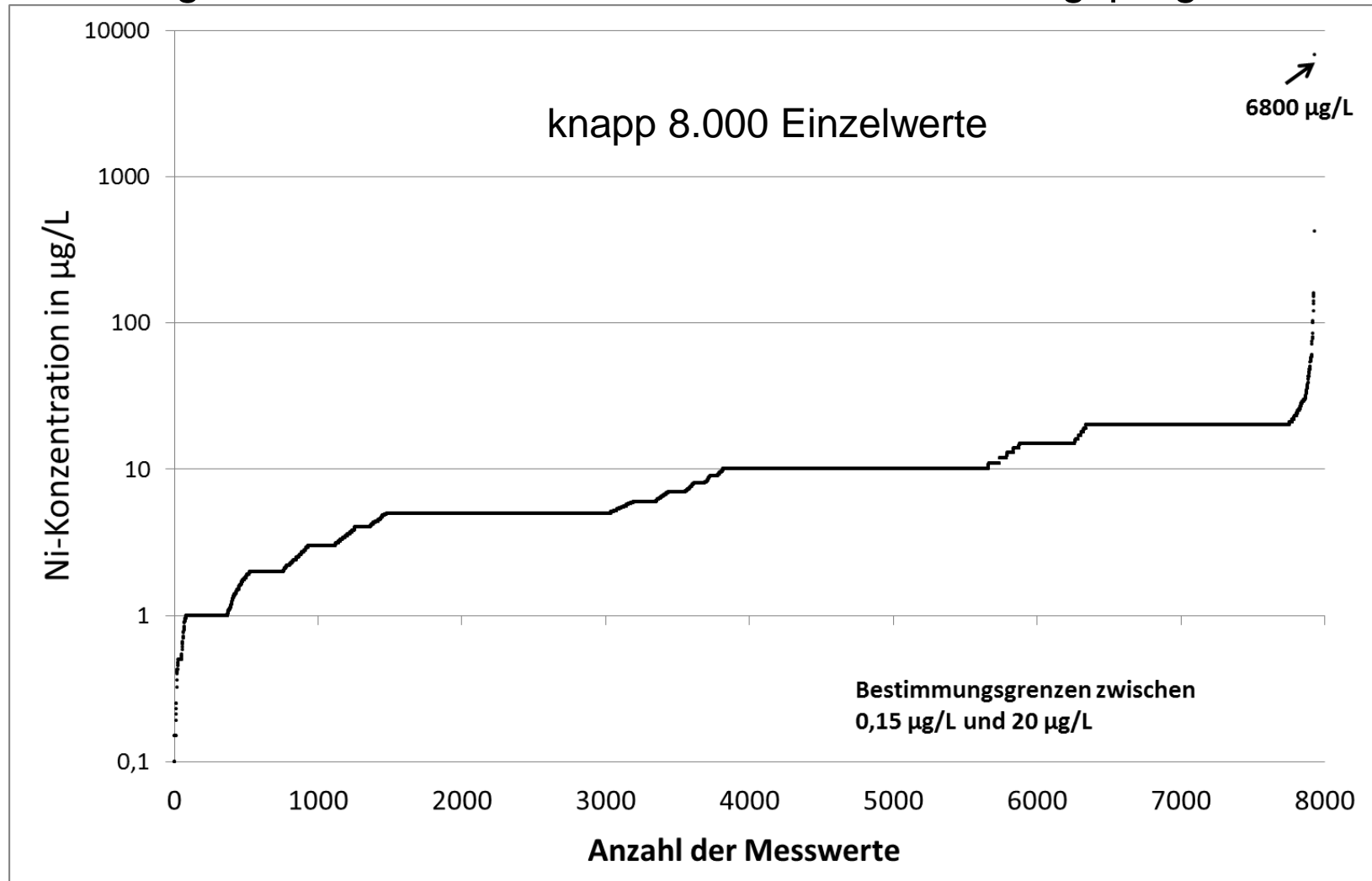
- Auf den ersten Blick gute Datenlage
- Hohe Inkonsistenz
  - Verschiedene Randbedingungen z.B. Probenahmeart
  - Unterschiedliche Bestimmungsgrenzen (BG)
  - Lückenhafte Dokumentation

→ 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,  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ - und  $\delta$ -Hexachlorcyclohexan),
- Di(2-ethylhexyl)phthalat (DEHP),
- Tributylzinn,
- Trichlormethan und Pentachlorphenol  
→ insgesamt 42 Stoffe
  
- Begleitparameter
  - Zu- und Ablauf: LF, AFS,  $GV_{AFS}$ ,  $Ks_{4,3}$ ,  $CSB_{ges}$ ,  $CSB_{gel}$ ,  $NH_4-N$ ,  $NO_3-N$ ,  $N_{ges}$ ,  $P_{ges}$ ,  $PO_4-P$ ,  $Fe_{ges}$ ,  $Zn_{ges}$  und  $Zn_{gel}$
  - Klärschlamm: TS, GV,  $P_{ges}$

# Kläranlagenauswahl

- weitgehend gleiche Verfahrenstechnik
  - Belebungsbecken mit Denitrifikation
  - P-Fällung
  - Nachklärbecken
  - Schlammfäulung

|                                     | Einheit | Kläranlage<br>M | Kläranlage<br>W | Kläranlage<br>H |
|-------------------------------------|---------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Ausbaugröße                         | [EW]    | 44.000          | 180.000         | 500.000         |
| Nominalbelastung                    | [EW]    | 30.000          | 147.000         | 314.000         |
| angeschlossene<br>Einwohner         | [E]     | 23.000          | 117.000         | 189.000         |
| angeschlossene<br>Einwohnergewichte | [EGW]   | 7.000           | 30.000          | 125.000         |

**02 bis 05/2013**

## Vorbereitung

Datenrecherche  
Anlagenauswahl, Planung,  
Monitoring

Methodenetablierung:

- 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

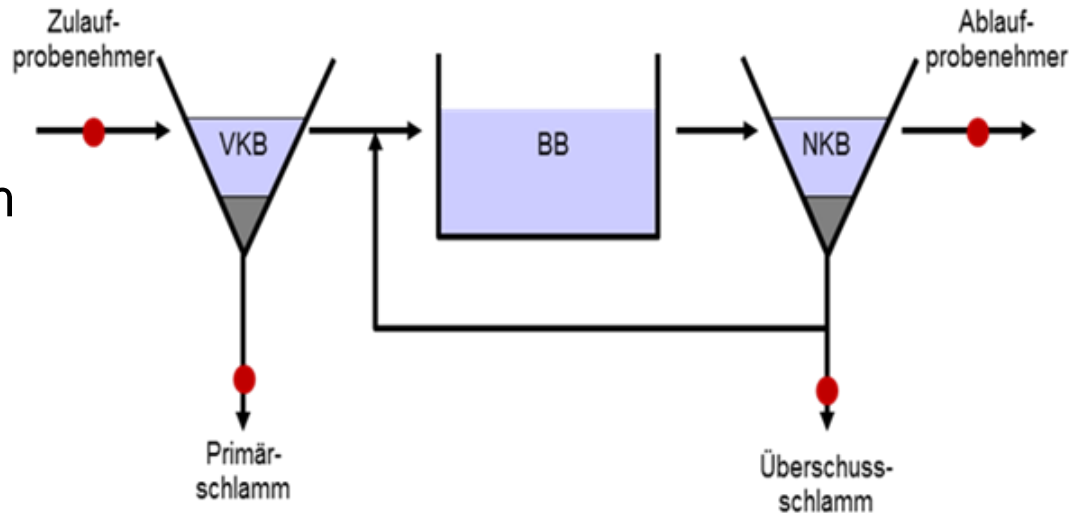
- Separate Probenahme

- Trockenwetter

- Regenwetter

- Vier Messkampagnen

- Juni bis September 2013



VKB: Vorklärbecken; BB: Belebungsbecken; NKB: Nachklärbecken

insg. 2.726 Messergebnisse

# Ergebnisse der Untersuchung

Abschlussveranstaltung zum Vorhaben „Entwicklung eines Bilanzierungsinstrumentes 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 gekoppeltem Vorkommen von Stoffen
  - Korrelationsanalyse zwischen Begleitparametern und Stoffen

# Ergebnisse der Untersuchung

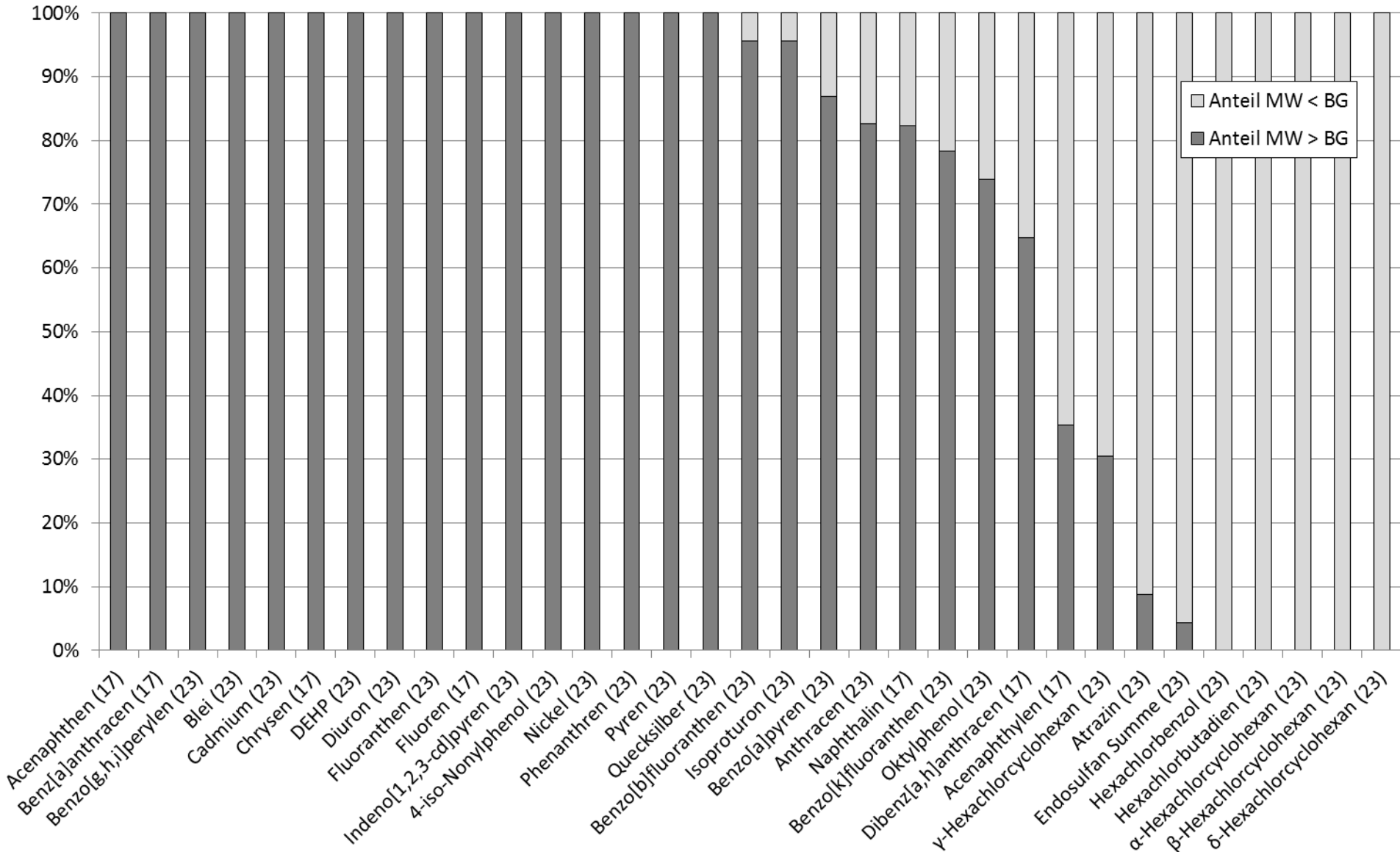
|                  | Wasser |        | Feststoff |     |
|------------------|--------|--------|-----------|-----|
| Anzahl Proben    | Zulauf | Ablauf | PS        | FS  |
| positive Befunde | 526    | 300    | 441       | 260 |
| negative Befunde | 244    | 489    | 318       | 148 |
| Insgesamt    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

# Positive Befunde je Kläranlage

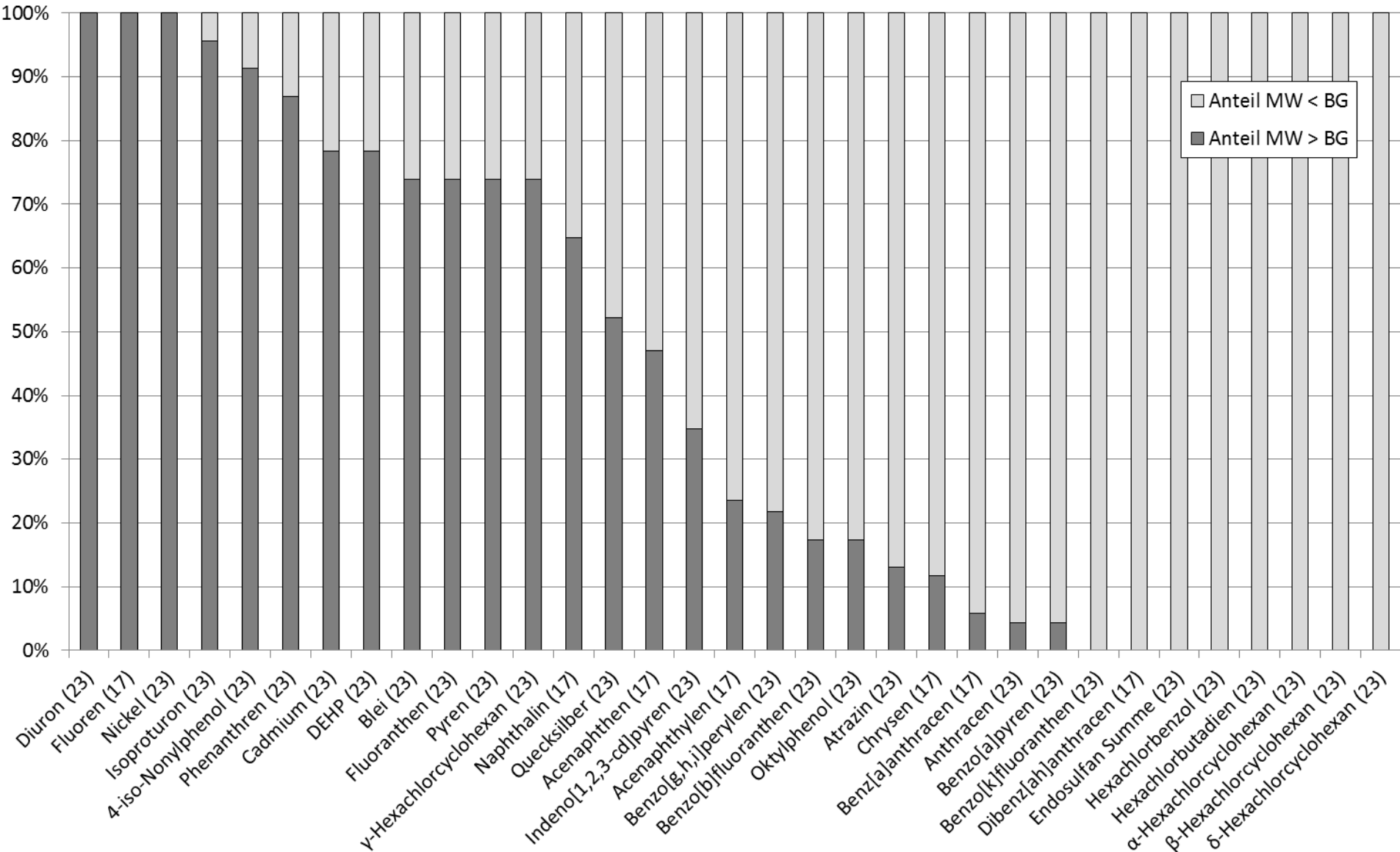
| Positive Befunde | Kläranlage M | Kläranlage W | Kläranlage H |
|------------------|--------------|--------------|--------------|
| Zulauf           | 29           | 31           | 31           |
| Ablauf           | 26           | 16           | 22           |
| Primärschlamm    | 24           | 21           | 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

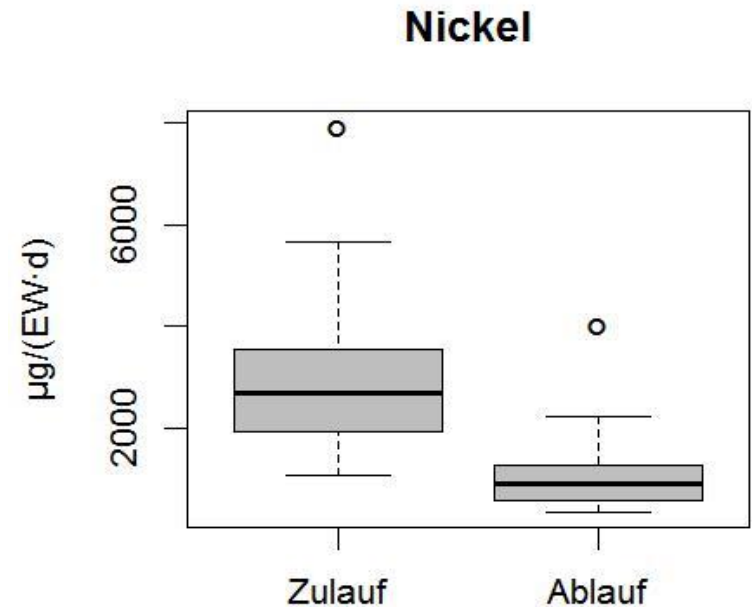


# Auswertung der Messergebnisse

| Nickel             | Zulauf<br>[µg/L] | Ablauf<br>[µg/L] | PS<br>[mg/kg] | FS<br>[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

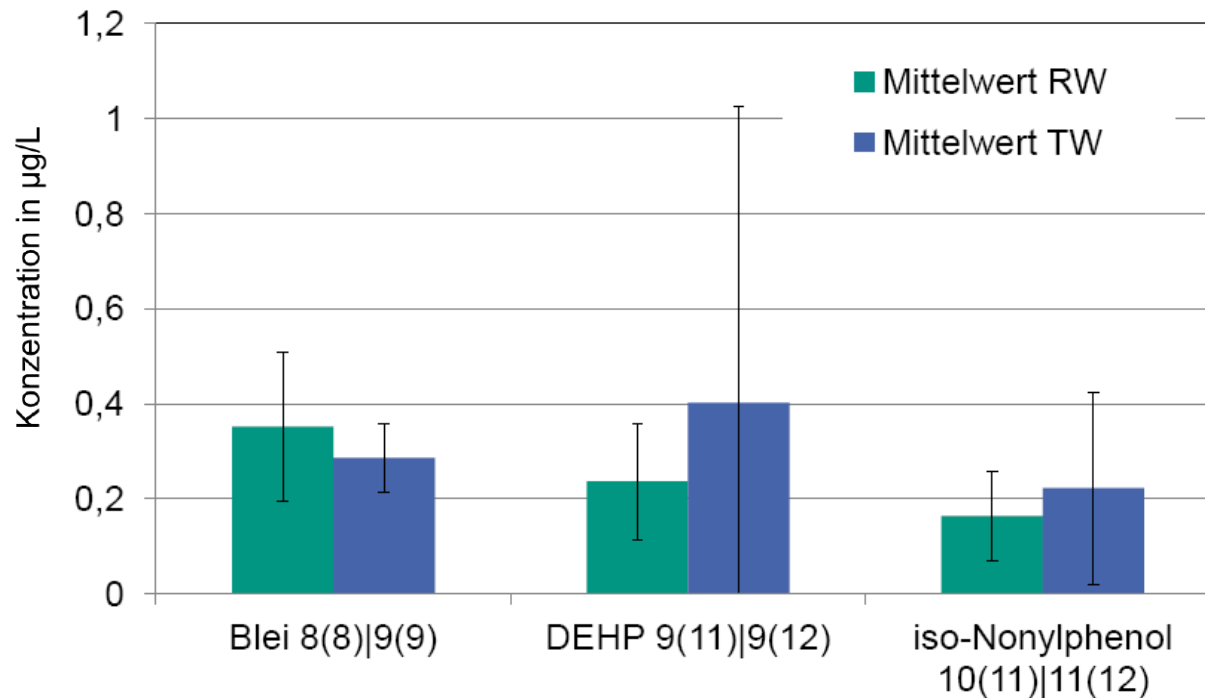
einwohnerwert-spezifische Tagesfracht





# Regenwetter vs. Trockenwetter

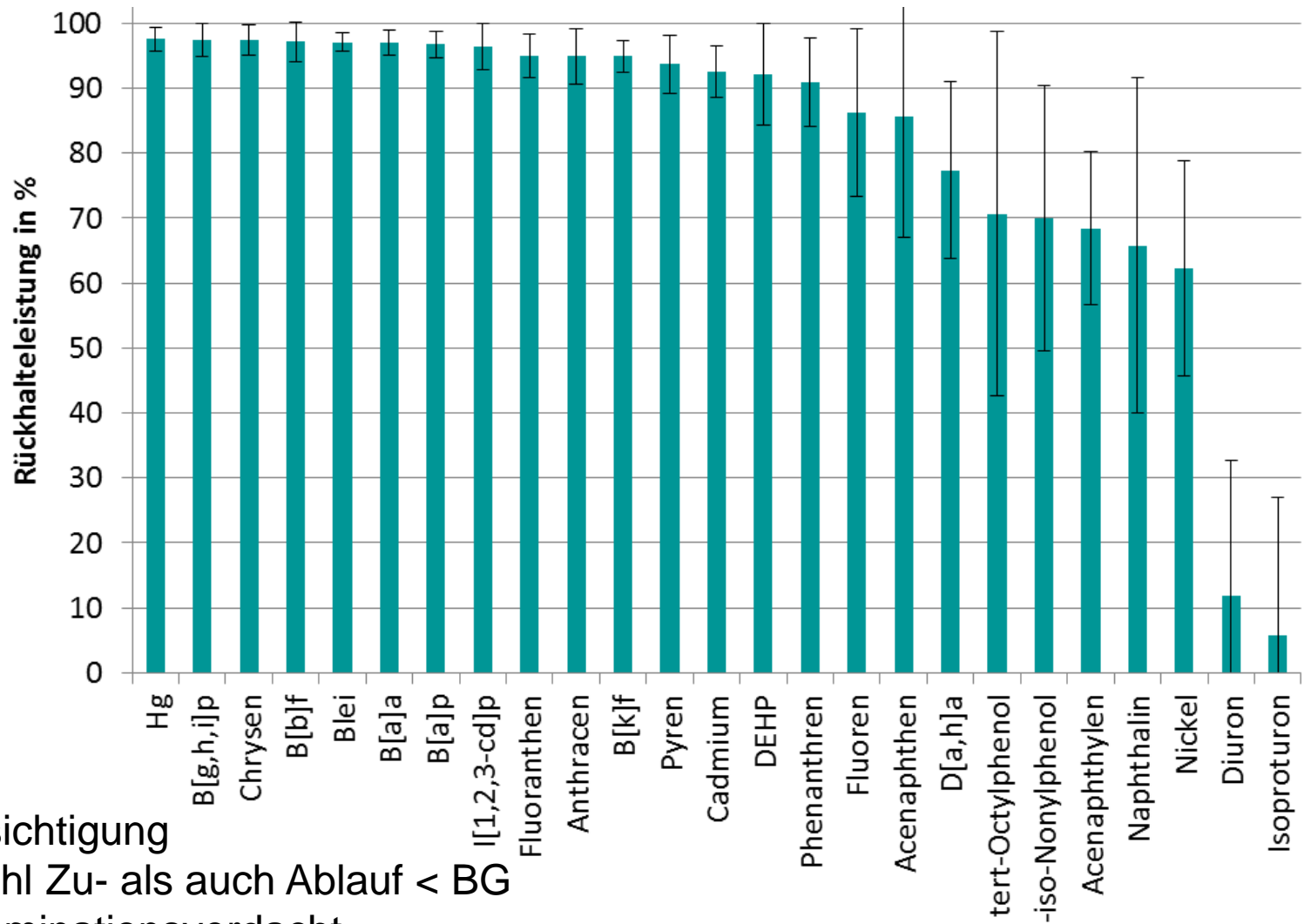
## Stoffkonzentrationen im Kläranlagenablauf



| 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

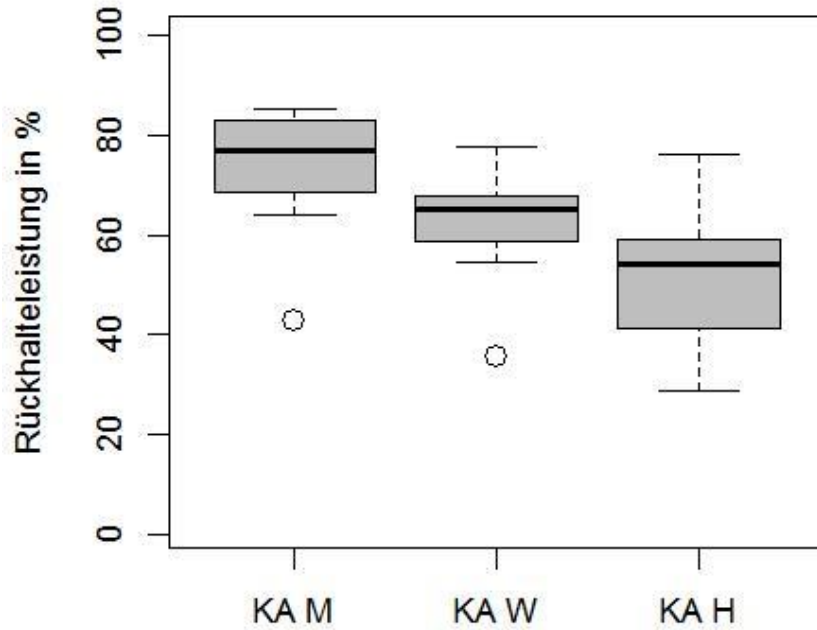


keine Berücksichtigung

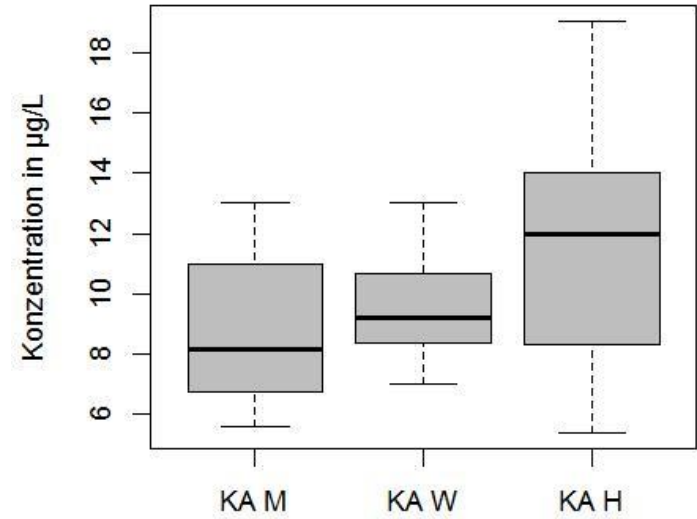
- wenn sowohl Zu- als auch Ablauf < BG
- beim Kontaminationsverdacht

# Vergleich der drei Kläranlagen

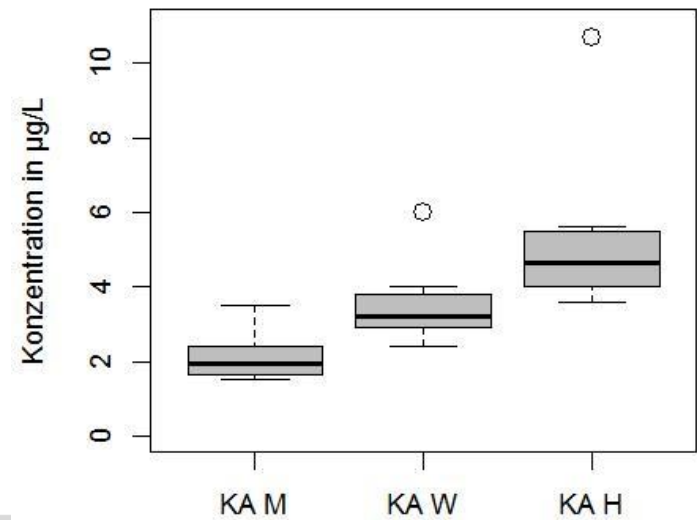
## Nickel



## Nickel - Zulauf

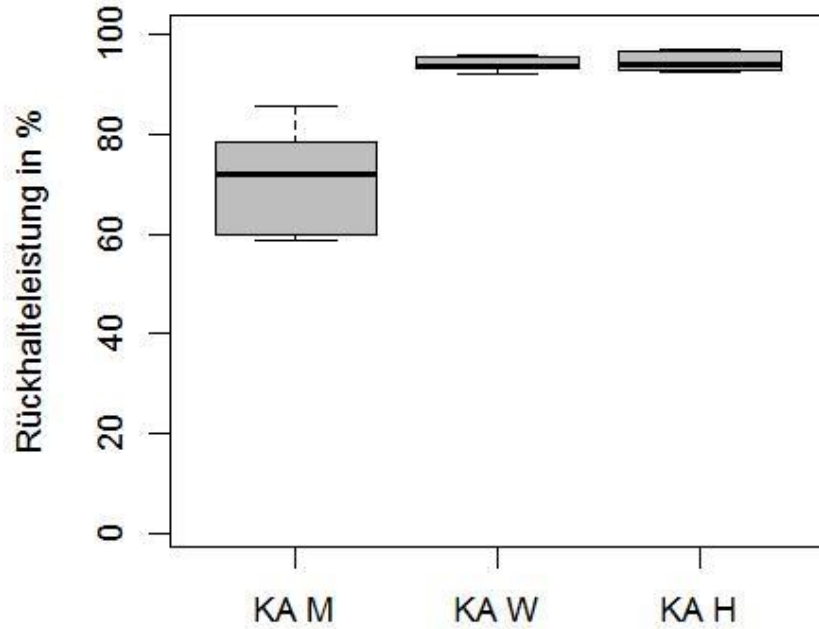


## Nickel - Ablauf

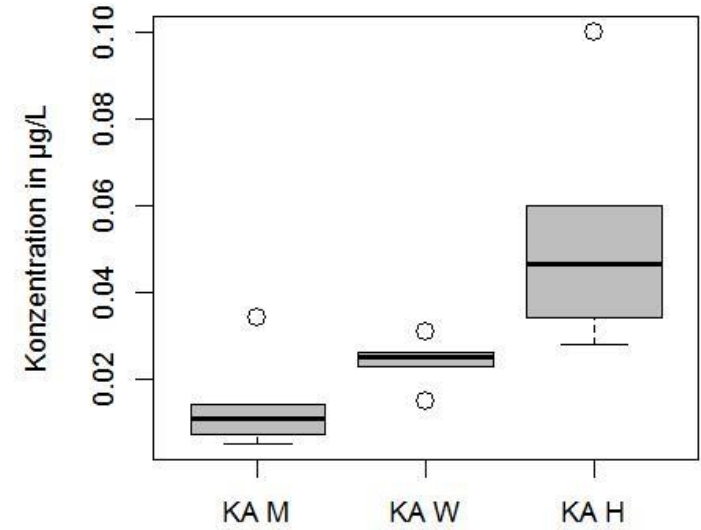


# Vergleich der drei Kläranlagen

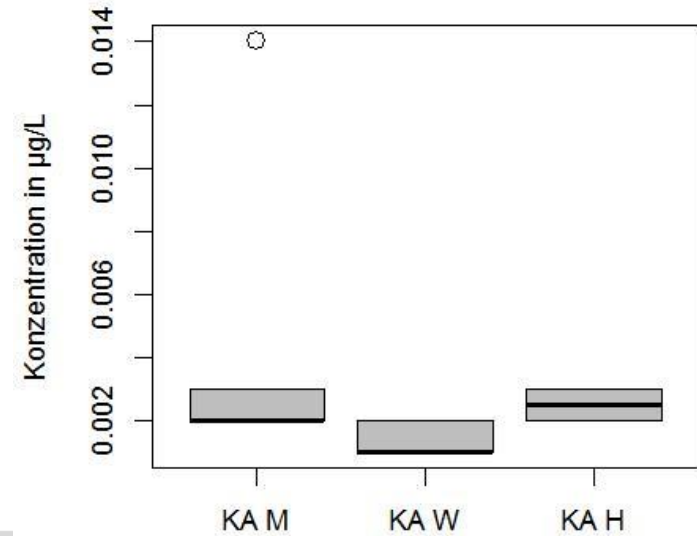
## Fluoren



## Fluoren - Zulauf



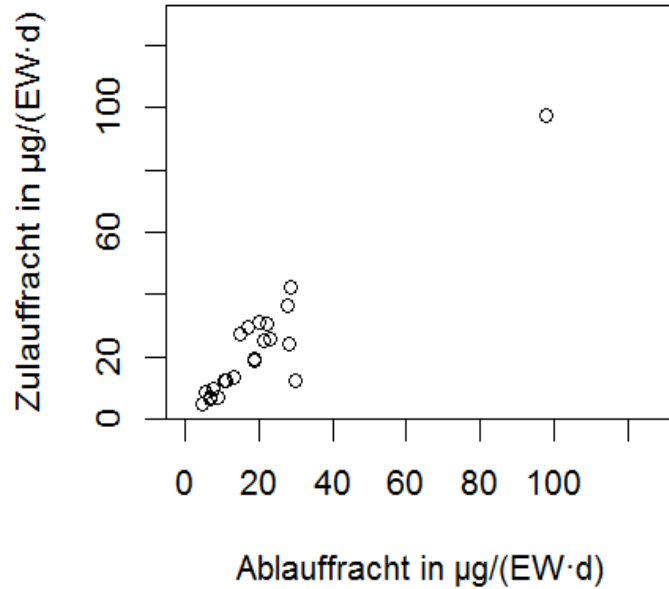
## Fluoren - Ablauf



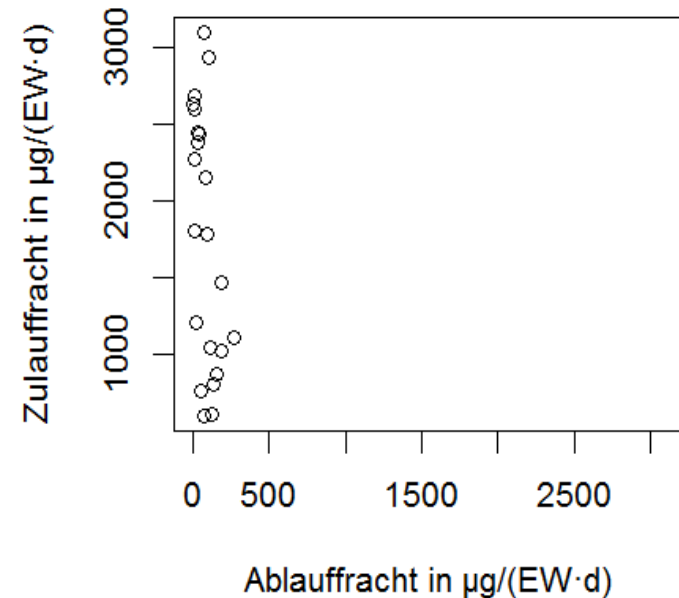
# Zu- und Ablaufwerten

- Verteilungsmuster je nach Stoffverhalten

**Diuron**



**DEHP**



# 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 Abauffrachten (einwohnerwert-spezifisch)
    - höchste max PAK-Zulauffrachten bei KA H
    - niedrigste max PAK-Zu- und Abauffrachten bei KA W
    - höchste max PAK-Abauffrachten 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 Bilanzierungsinstrumentes 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]perylen 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]   | Variationskoeff. | Anzahl | Anzahl > BG | mittlere Konz. [µg/L]              | Variationskoeff. | Anzahl | Anzahl > BG |
| Cadmium     | 0,016                   | <b>0,55</b>      | 18     | 18          | 0,17                               | <b>6,74</b>      | 739    | 402         |
| Blei        | 0,32                    | <b>0,38</b>      | 17     | 17          | 0,35                               | <b>1,57</b>      | 660    | 302         |
| Quecksilber | 0,001                   | <b>0,65</b>      | 14     | 12          | 0,02                               | <b>5,03</b>      | 475    | 287         |
| Nickel      | 3,7                     | <b>0,55</b>      | 23     | 23          | 4,42                               | <b>1,36</b>      | 699    | 661         |
| Diuron      | 0,073                   | <b>0,79</b>      | 23     | 23          | 0,58                               | <b>6,69</b>      | 1003   | 747         |
| Isoproturon | 0,059                   | <b>0,68</b>      | 23     | 22          | 0,13                               | <b>5,87</b>      | 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<br>[µg/L] | Min<br>[µg/L] | Max<br>[µg/L] | Anzahl<br>Werte | Anzahl<br>Werte<br>> 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  $\mu\text{g/L}$ ;  $Q$  = Abwassermenge in  $\text{m}^3$

## ■ Aktivitätsraten

| Jahr   | angeschlossene Einwohnerwerte [EW] | angeschlossene Einwohner [E] | Einwohnergleichwerte [EWG] | Jahresabwassermenge [1000 m <sup>3</sup> ] |
|--------|------------------------------------|------------------------------|----------------------------|--|
| 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

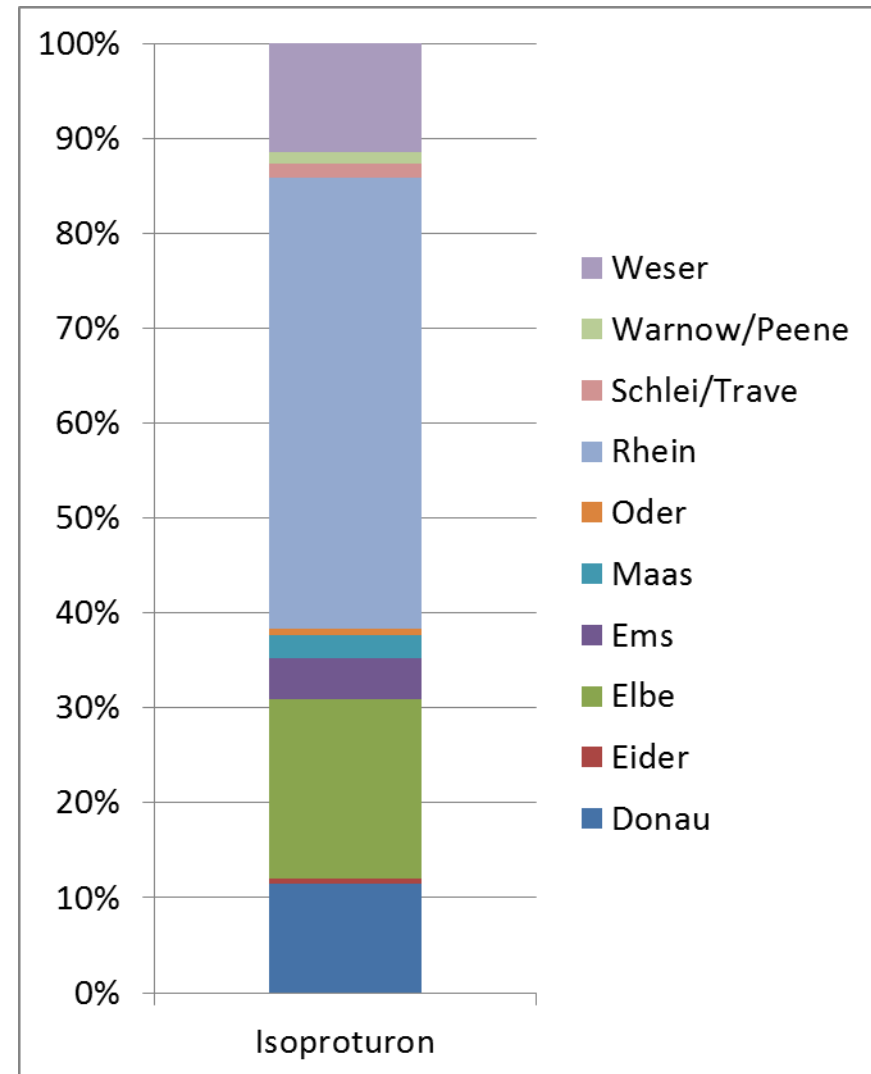
$$\text{Emissionsfaktor} \left[ \frac{\text{kg}}{\text{a} \cdot \text{x}} \right] = \frac{\text{Stoffeintrag} \left[ \frac{\text{kg}}{\text{a}} \right]}{\text{Aktivitätsrate} [\text{x}]}$$

| Stoff                 | Emissionsfaktor<br>Einwohnerwert<br>[mg/(EW·a)] | Emissionsfaktor<br>angeschl. Einwohner<br>[mg/(E·a)] | Emissionsfaktor<br>Einwohnergleichwerte<br>[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  |

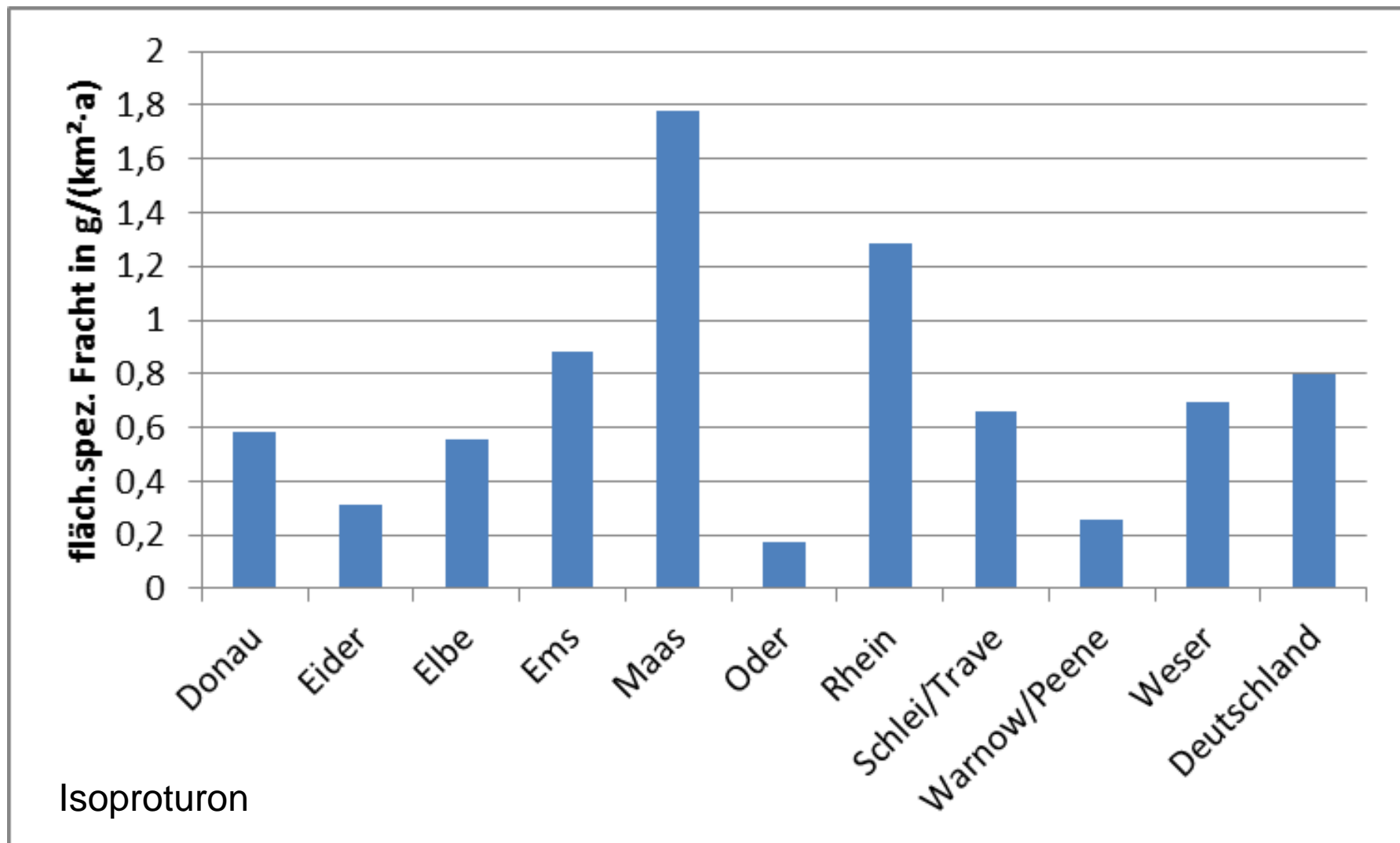
# Berechnung der Einträge über Kläranlagen in MoRE

- Isoproturon im Jahr 2010 für die Flussgebietseinheiten, berechnet mit EF Einwohnerwert 2,5 mg/(EW·a) für kommunale KA  $\geq 2.000$  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         |
| <b>Deutschland</b> | <b>284.775</b> |



# Berechnung der Einträge über Kläranlagen in MoRE





# Zusammenfassung

- Probennahmestrategie 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 valider 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