

Lehrstuhl für Siedlungswasserwirtschaft und Umwelttechnik

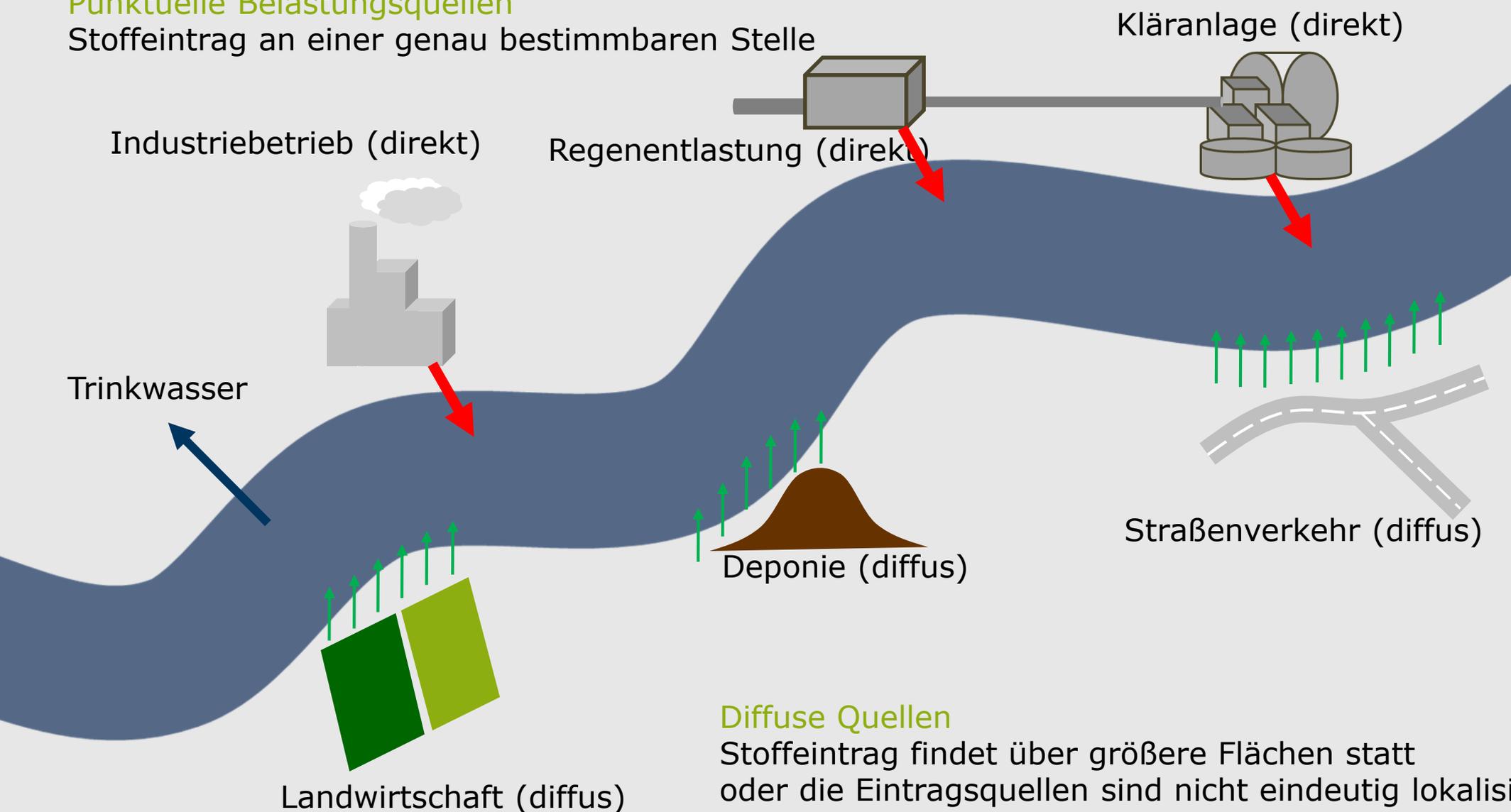
Mikroschadstoffentfernung auf kommunalen Kläranlagen im Spannungsfeld von Kosten und Nachhaltigkeit

M.Sc. Mareike Evers, Prof. Dr.-Ing. habil. Marc Wichern | Ruhr-Universität Bochum | Lehrstuhl für Siedlungswasserwirtschaft und Umwelttechnik

Wie gelangen die Spurenstoffe in die Gewässer?

Punktuelle Belastungsquellen

Stoffeintrag an einer genau bestimmbar Stelle



Diffuse Quellen

Stoffeintrag findet über größere Flächen statt oder die Eintragsquellen sind nicht eindeutig lokalisiert

Was die Medien über Spurenstoffe im Wasserkreislauf schreiben

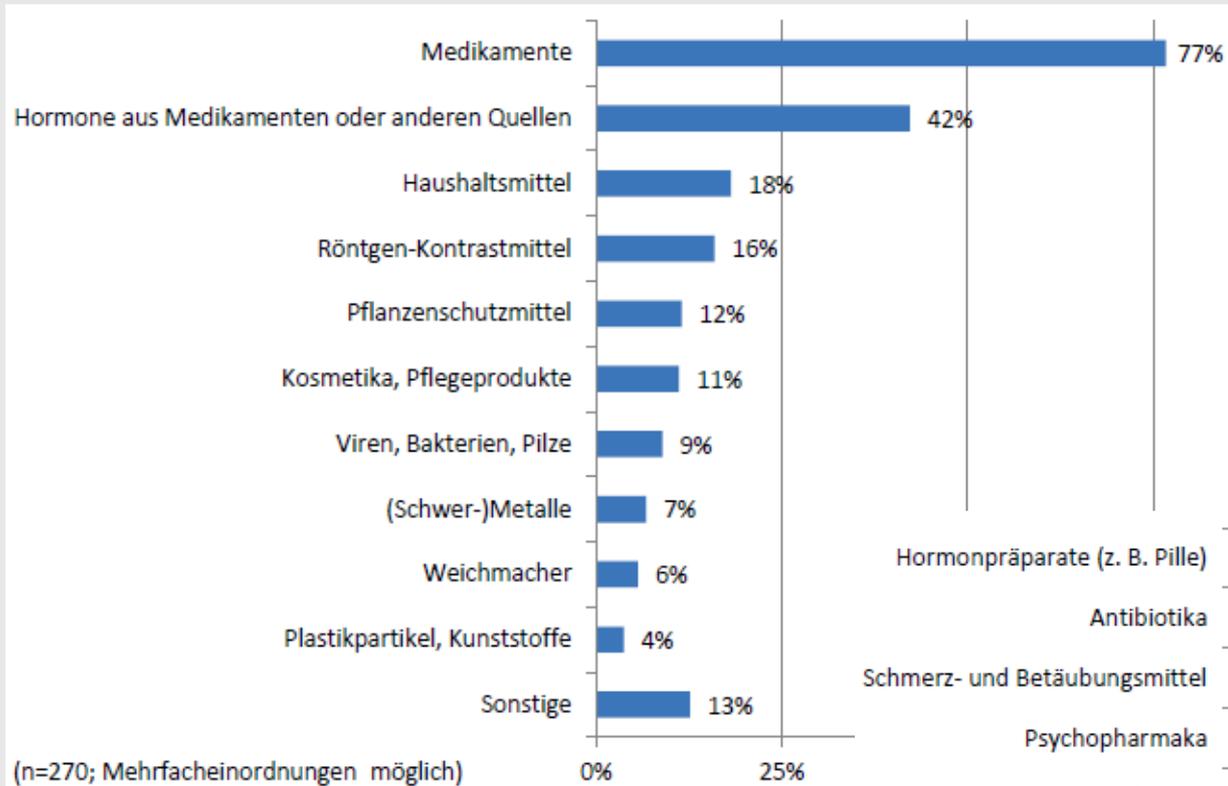
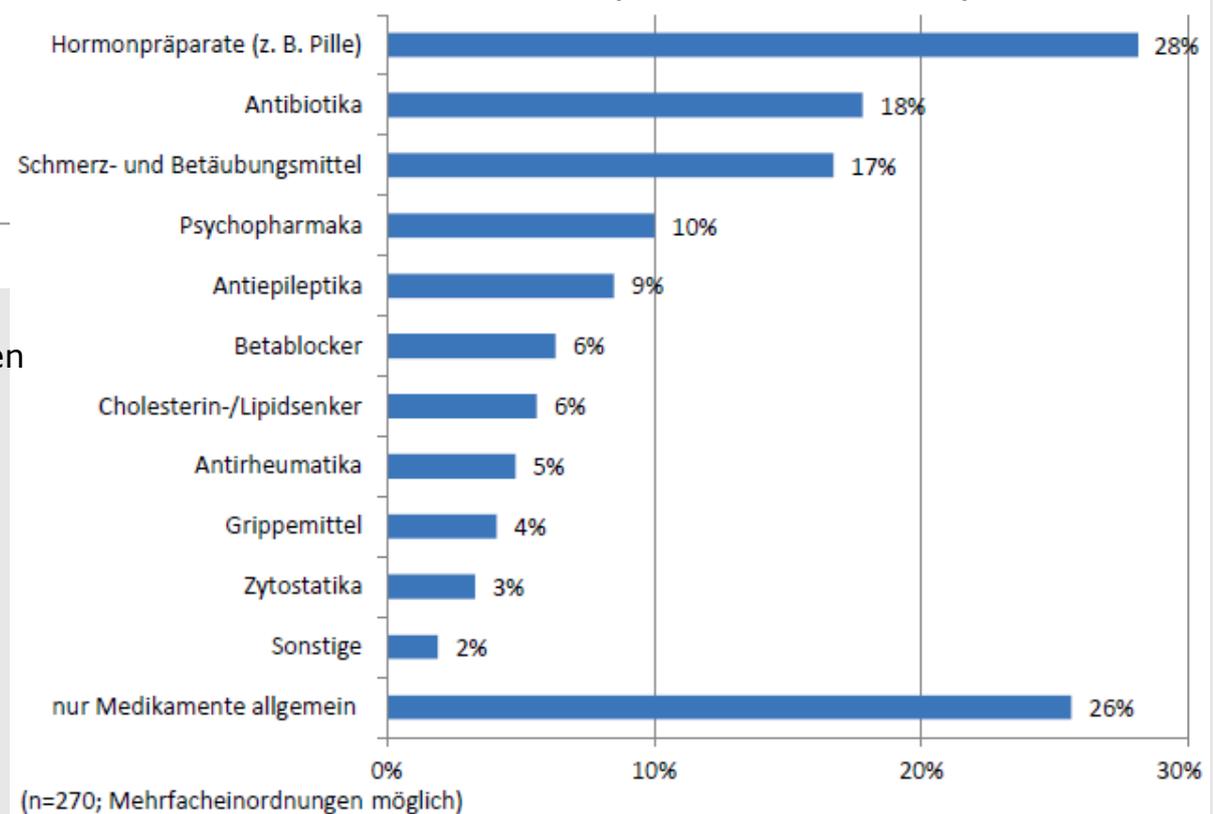


Abb. 1 Häufigkeit der in den Artikeln genannten Stoffgruppen. Eine Medieninhaltsanalyse der letzten zwölf Jahre Sunderer et al. 2013).

Abb. 2 Häufigkeit der in den Artikeln genannten Pharma-Wirkstoffe. Eine Medieninhaltsanalyse der letzten zwölf Jahre (Sunderer et al. 2013).



Herkunft einiger Spurenstoffe



Abb. 3 Spurenstoffe in alltäglichen Produkten.

Herkunft einiger Spurenstoffe

- Landwirtschaft (Pestizide, z.B. DDT, Aldrin, Lindan, Roundup)
- Medizin
 - Röntgenkontrastmittel
 - Antiepileptika
 - Endokrine Stoffe/ hormonell wirksame Stoffe (z.B. Estradiol, Estron)
 - Pharmaka für Mensch und Tier (z.B. Schmerzmittel, Antibiotika)
- Industriechemikalien
(phosphororganische Flammschutzmittel, Reinigungsmittel)
- Korrosionsschutzmittel (z.B. in Spülmaschinentabs)
- Lösungsmittel (Benzol, Toluol)
- Schwermetalle
- Täglicher Gebrauch (Kosmetikprodukte)

Arzneimittelvorkommen in Oberflächengewässern, Grundwasser und Leitungswasser/ Trinkwasser

😊...

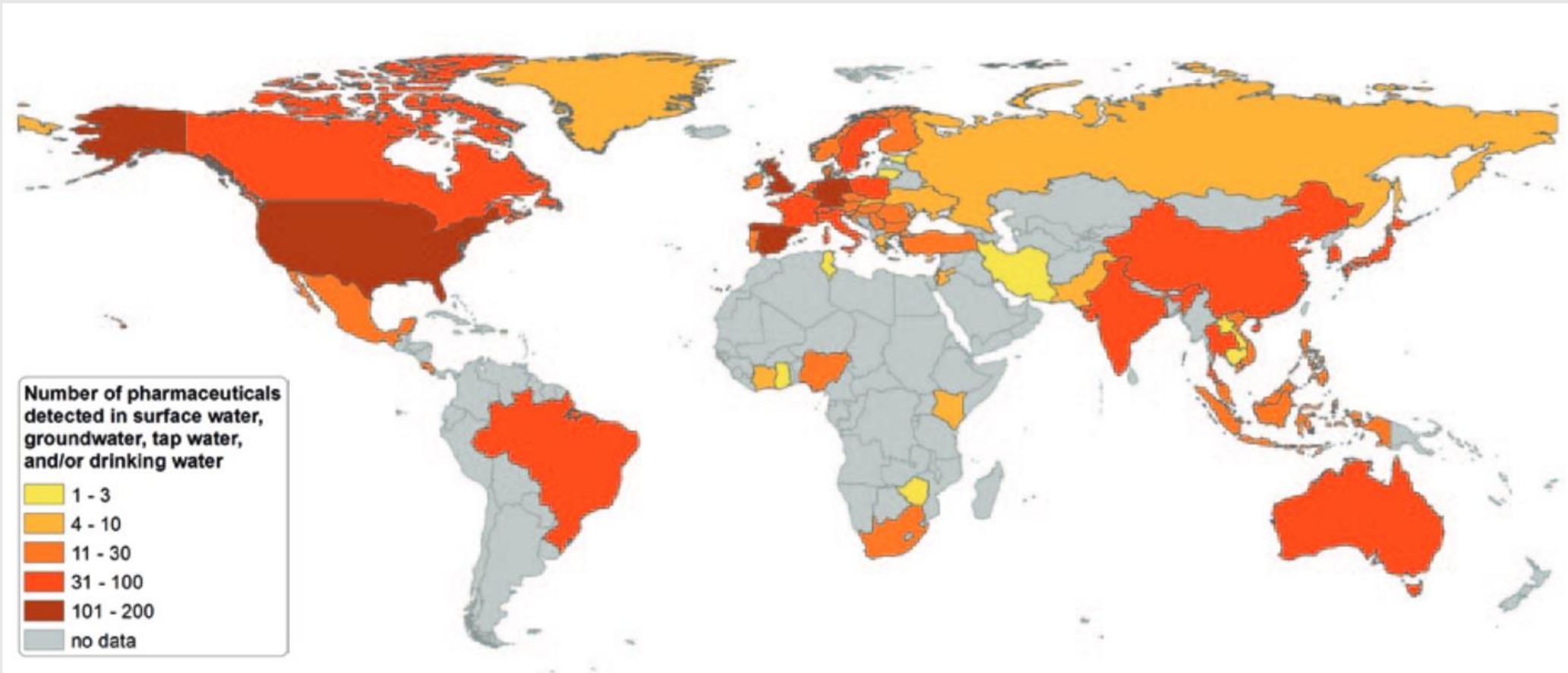


Abb. 4 Vorkommen der Spurenstoffe weltweit

(Weber et al., 2014)

Vorstellung ausgewählter Spurenstoffe

Diclofenac: Summenformel $C_{14}H_{11}Cl_2NO_2$

Analgetika/Schmerzmittel (~ 65 % des Wirkstoffs verlassen den Körper unverändert)¹

Deutscher Jahresverbrauch: 91,6 **Tonnen** (Stand 2009)⁴

Konzentrationen im Zulauf und Ablauf der Versuchsanlage: 3,22 / 2,96 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$

Paracetamol: Summenformel $C_8H_9NO_2$

Schmerzmittel

Deutscher Jahresverbrauch: 564 **Tonnen** (Stand 2009)⁴

1H-Benzotriazol: Summenformel $C_6H_5N_3$

Korrosionsschutzmittel

Deutscher Jahresverbrauch: 70 **Tonnen**⁵

Konzentrationen im Zulauf und Ablauf der Versuchsanlage: 11,61 / 7,51 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$

Iopromid: Summenformel $C_{18}H_{24}I_3N_3O_8$

Röntgenkontrastmittel (wird unverändert ausgeschieden)

Deutscher Jahresverbrauch: 46,8 **Tonnen** (Stand 2009)⁴

Konzentrationen im Zulauf und Ablauf der Versuchsanlage: 10,7 / 3,0 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$

⁵

¹ M. Meißner (Deutsches Ärzteblatt, 2008)

² Bayerisches Landesamt für Umwelt (lfu.bayern.de, 15.12. 2012)

³ ANUV, Projekt „Mikroplast“

⁴ UBA (2011)

www.lfu.bayern.de

Vorstellung ausgewählter Spurenstoffe

Diclofenac: Summenformel $C_{14}H_{11}Cl_2NO_2$

Analgetika/Schmerzmittel (~ 65 % des Wirkstoffs verlassen den Körper unverändert)¹

Deutscher Jahresverbrauch: 91,6 **Tonnen** (Stand 2009)⁴

Konzentrat

Konzentrationen liegen damit etwa in der Größenordnung, die wir auch bei einigen homöopathischen Medikamenten finden:

$\cdot L^{-1}$

Paracetamol

Schmerzmittel

Deutscher

Schmerzmittel: Harpagophytum D8/C4

1H-Benzotriazol

Korrosionsmittel

Deutscher

Konzentrat



$g \cdot L^{-1}$

$g \cdot L^{-1}$

Iopromid: Summenformel $C_{18}H_{24}I_3N_3O_8$

Röntgenkontrastmittel (wird unverändert ausgeschieden)

Deutscher Jahresverbrauch: 46,8 **Tonnen** (Stand 2009)⁴

Konzentrationen im Zulauf und Ablauf der Versuchsanlage: 10,7 / 3,0 $\mu g \cdot L^{-1}$

⁵

¹ M. Meißner (Deutsches Ärzteblatt, 2008)

² Bayerisches Landesamt für Umwelt (lfu.bayern.de, 15.12. 2012)

³ ANUV, Projekt „Mineralien“

⁴ UBA (2011)

www.lfu.bayern.de

Vorstellung ausgewählter Spurenstoffe

Diclofenac: Summenformel $C_{14}H_{11}Cl_2NO_2$

Analgetika/Schmerzmittel (~ 65 % des Wirkstoffs verlassen den Körper unverändert)¹

Deutscher Jahresverbrauch: 91,6 **Tonnen** (Stand 2009)⁴

Konzentrat ...oder in der Konzentration eines Marienkäfers auf einem Fußballfeld:



$\cdot L^{-1}$

$g \cdot L^{-1}$

$g \cdot L^{-1}$

Paracetamol

Schmerzmittel

Deutscher

1H-Benzotriazol

Korrosionsmittel

Deutscher

Konzentrat

Iopromid: S

Röntgenkontrastmittel

Deutscher Jahresverbrauch: 46,8 **Tonnen** (Stand 2009)⁴

Konzentrationen im Zulauf und Ablauf der Versuchsanlage: 10,7 / 3,0 $\mu g \cdot L^{-1}$

⁵

¹ M. Meißner (Deutsches Ärzteblatt, 2008)

² Bayerisches Landesamt für Umwelt (lfu.bayern.de, 15.12. 2012)

³ ANUV, Projekt „Mikroplast“

⁴ UBA (2011)

www.lfu.bayern.de

Beispiel: Diclofenac

- Gehört zur Arzneimittelgruppe der Analgetika/Antiphlogistika/Antirheumatiker (z.B. Voltaren)
- Es handelt sich um ein Schmerzmittel, welches in der Human- und Veterinärmedizin angewendet wird

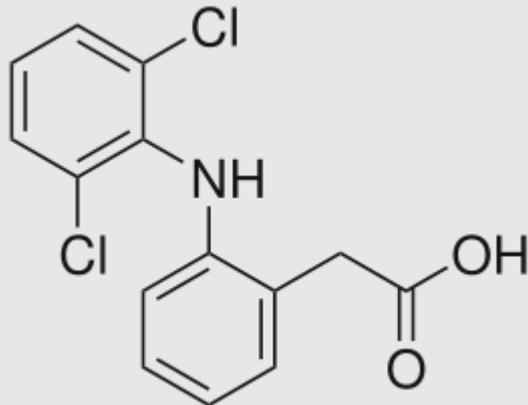


Abb. 5 Diclo-ratiopharm® Schmerzgel. Diclofenac-Natrium 10 mg · g⁻¹ Gel.

Anwendung und Verbleib im Körper

- Konzentrationen in Tabletten: 25 oder 50 mg/Tablette
- Die maximale Konzentration im Blutplasma bei Verabreichung von 25 mg Diclofenac liegt nach Untersuchungen bei 588 $\mu\text{g/L}$. Die Maximalkonzentration wird etwa 1 h nach Verabreichung erreicht (Hinz et al., 2005).
- 65% des Wirkstoffs verlassen den Körper unverändert über den Urin. 35% werden im Form von Metaboliten über die Galle ausgeschieden (www.drugs.com).

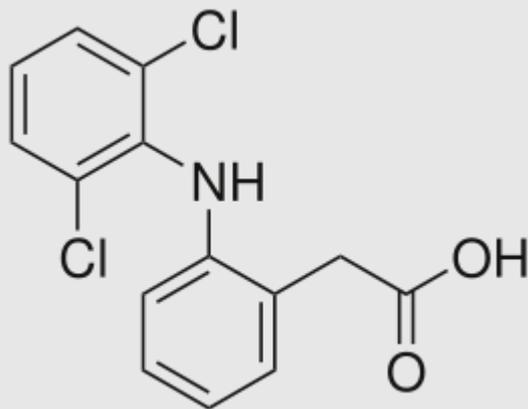


Abb. 6 Diclo-ratiopharm® Schmerzgel. Diclofenac-Natrium 10 mg · g⁻¹ Gel.

Verhalten von Diclofenac in Oberflächengewässern

- Diclofenac wird über das Abwasser von Krankenhäusern und Haushalten in die Kanalisation und die Gewässer eingetragen.
- Durch die Verwendung dieses Medikamentes in der Tiermedizin gelangt es außerdem über die Gülle auf die Felder oder durch die Verwendung bei der Fischzucht direkt ins Wasser.
- Diclofenac weist eine hohe Tendenz zur **Bioakkumulation** auf und kann somit in den Nieren und der Leber von Fischen nachgewiesen werden.
- Der Eintrag von Diclofenac in den **Wasserkreislauf** unterliegt starken jahreszeitlichen Schwankungen, da im Winter größere Mengen dieses Medikamentes verabreicht werden.
- Diclofenac neigt **nur in sehr geringem Maße zur Adsorption** und bindet sich daher nur schwer an Klärschlamm.

Beispiel: Diclofenac

- Die Konzentration im Zulauf zur Kläranlage ist je nach Einzugsgebiet sehr unterschiedlich. Sie liegt im Bereich von $0,3$ bis $3 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$. Die maximale Konzentration lag nach Untersuchungen bei etwa $20 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$.
- Die Elimination von Diclofenac auf Kläranlagen ist stark von dem eingesetzten Verfahren abhängig und kann zwischen 0 und 99% liegen.

Beispielrechnung: Diclofenaceintrag über Kläranlagen in deutsche Gewässer:

- zulaufbezogene Fracht von Diclofenac: $236 \text{ mg EW}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ($\sim 19 \text{ t a}^{-1}$, LUBW, 2014)
- Elimination von Diclofenac in einer Kläranlage mit Belebtschlammverfahren: $< 40 \%$ (Clara et al., 2005)

→ ablaufbezogene Fracht: $> 142 \text{ mg EW}^{-1} \text{ a}^{-1}$

→ bezogen auf $80,62$ Mio. Einwohner werden in Deutschland $11,45 \text{ t a}^{-1}$ Diclofenac über das Abwasser in Fließgewässer eingeleitet

Diclofenac in Oberflächengewässern

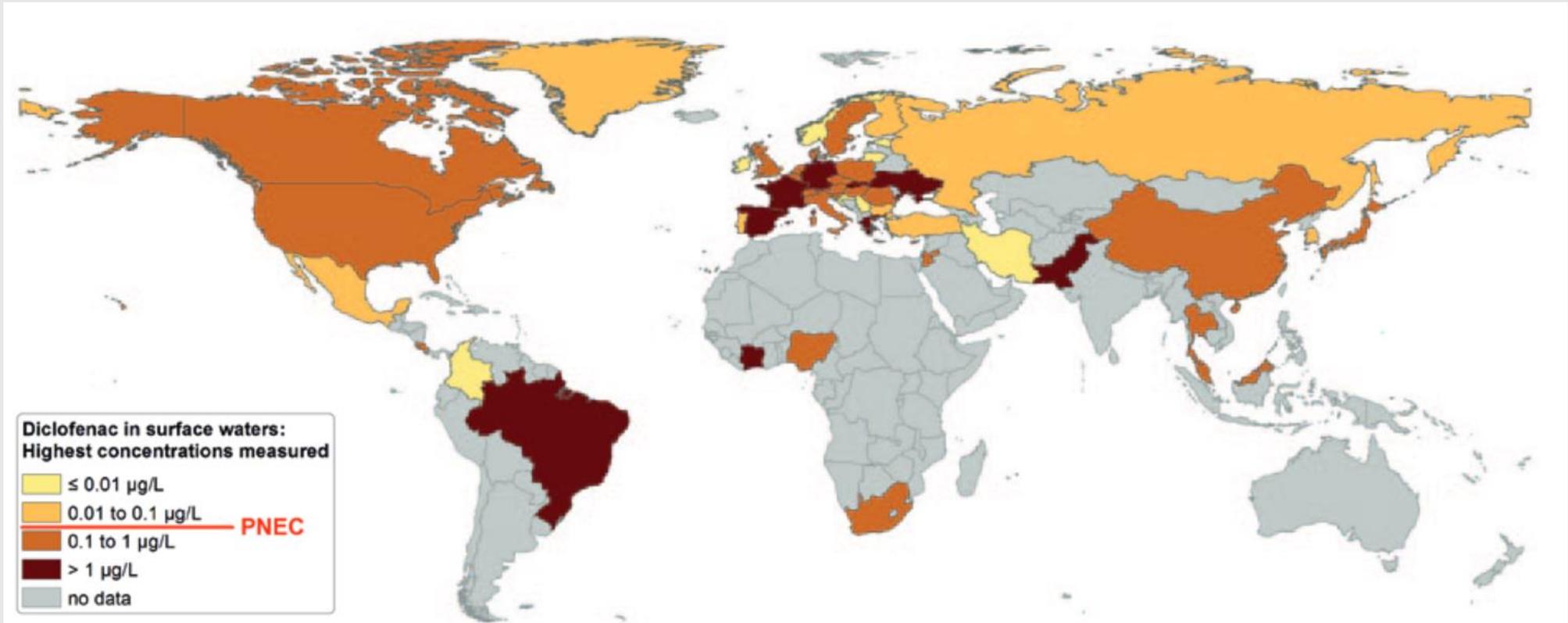


Abb. 7 Diclofenac: Vorkommen und PNEC-Grenzwerte

(Weber et al., 2014)

- PNEC: predicted no effect concentration
- Der PNEC ist die Konzentration, unterhalb derer höchstwahrscheinlich kein negativer Effekt an dem jeweiligen Ökosystem auftritt (hier $PNEC_{\text{Wasser}}$)

Wasserkreislauf (global)

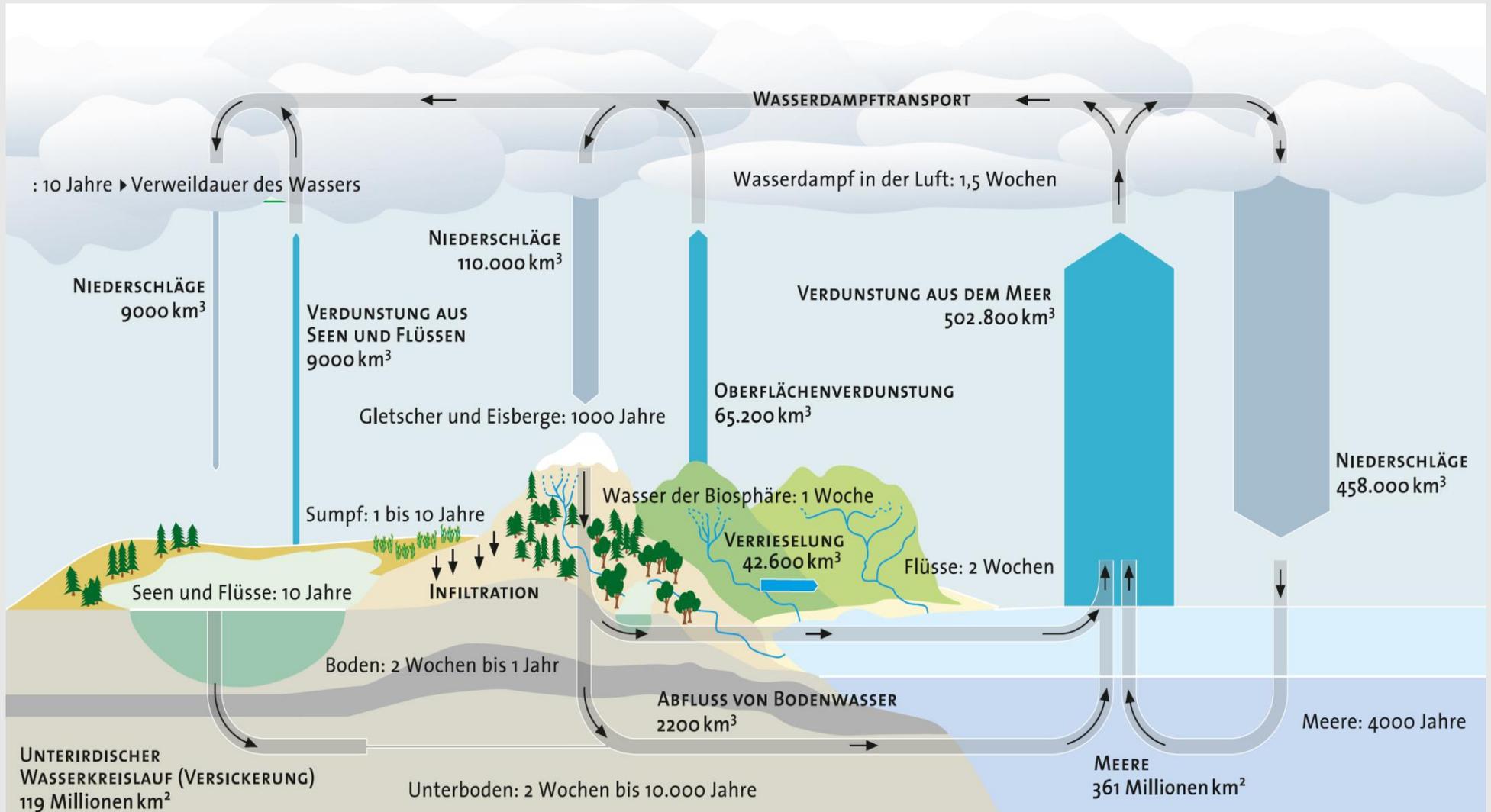


Abb. 8 Der globale Wasserkreislauf (Quelle: Atlas der Globalisierung).

Nutzung von Trinkwasser aus dem Wasserkreislauf

- Bereitgestellte Wassermenge in der EU
 - 50 bis 150 $\text{m}^3 \cdot \text{E}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ (gesamt)
 - Davon etwa 100 bis 150 $\text{L} \cdot \text{E}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ Trinkwasser
- Geförderte Wassermenge in NRW ca. **1.180.000.000 $\text{m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$ TW**
- Bereitgestellte Wassermenge in NRW
 - 66 $\text{m}^3 \cdot \text{E}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ davon häuslich etwa 139 $\text{L} \cdot \text{E}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$
- Spurenstoffe könnten für den Bereich Wasser durch den Menschen also über das **Trinkwasser oder über bewässerte landwirtschaftliche Produkte** aufgenommen werden.

Wasserkreislauf – Wassergewinnung in NRW

- Anteile der Trinkwasserentnahme aus Flüssen zum gesamten Trinkwasseraufkommen in NRW:
 - Ruhr: 20 % (GW-Anreicherung)
 - Rhein: 9 % (Uferfiltration)
 - Stever: 5 % (GW-Anreicherung)
 - Sieg: 1,2 % (Uferfiltration)

- Daraus leitet sich die Frage ab, ob wir in NRW im Hinblick auf Spurenstoffe besondere Maßnahmen ergreifen müssen. Wir gewinnen über das Uferfiltrat auf „kurzem“ Wege Trinkwasser aus Flüssen, die auch Sammler des gereinigten Abwassers sind.

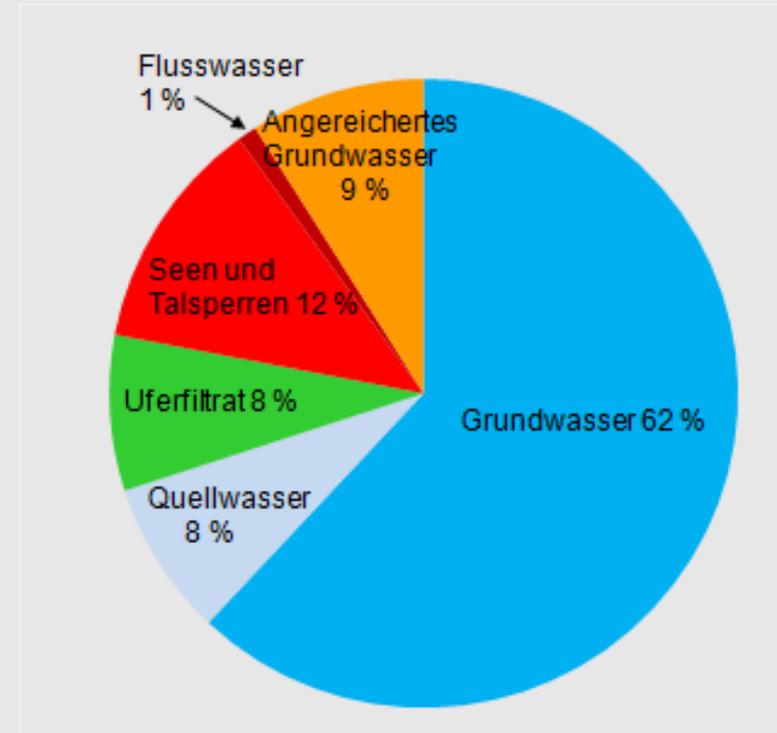


Abb. 9 Wassergewinnung in Deutschland. Verteilung auf Quellen. Statistisches Bundesamt (2007)

Wo können Spurenstoffe entfernt werden?

- **Am Entstehungsort – dezentral:**
 - + Spurenstoffe gelangen gar nicht erst in den Wasserkreislauf
 - + Spurenstoffe liegen weniger verdünnt im Abwasser vor und sind somit leichter zu entfernen
 - Teuer und sehr aufwendig, da unterschiedliche Lösungen für verschiedene Spurenstoffe gefunden werden müssen
 - nur für große Gebäudekomplexe (Krankenhäuser, Altenheime etc.) oder Trennkanalisation mit großzügigen Platzverhältnissen möglich

- **Auf einer Kläranlage – zentral („end-of-pipe“):**
 - + Spurenstoffe gelangen nur geringfügig in den Wasserkreislauf (Entlastungen)
 - + u. U. weniger teuer, da bestehende Kläranlagen ausgebaut werden können
 - Spurenstoffe liegen verdünnt in der gesamten Kläranlage vor

- **In der Trinkwasseraufbereitung – zentral:**
 - Spurenstoffe gelangen in den Wasserkreislauf bzw. in die Gewässer

Weitergehende Abwasserbehandlung

- **Adsorptive Verfahren mit Aktivkohle**

Durch die **große Oberfläche** gelingt es gelöste Stoffe geringer Konzentration an die Aktivkohle zu binden. Aktivkohle wird unter großem Energieaufwand hergestellt, dadurch gelingt es mit **Wasserdampf bei 650 °C Mikroporen** zu erzeugen.

- **Oxidative Verfahren (UV/Peroxid; Ozon)**
Chemische Oxidation der Spurenstoffe

- **Membranverfahren**

Membranfilter nutzen die unterschiedliche Größe von Molekülen aus. Die Membranfilter werden meist mit großem Druck beschickt, kleinere Moleküle passieren die Membrane, während langkettigere Moleküle zurückgehalten werden. Je nach Porengröße der Membrane wird dabei zwischen **Ultra- und Nanofiltration** unterschieden.

Projektvorstellung

Vergleichende Untersuchungen zum Einsatz von Aktivkohle im halbtechnischen Maßstab am Technikum auf der KLEM unter besonderer Berücksichtigung der Wirkung auf wesentliche Prozessstufen (AktiTechPro)

Projektpartner: EGLV, RUB



Lehrstuhl für Siedlungswasserwirtschaft
und Umwelttechnik



Förderung/Betreuung: MKULNV, LANUV

Ministerium für Klimaschutz, Umwelt,
Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz
des Landes Nordrhein-Westfalen



Landesamt für Natur,
Umwelt und Verbraucherschutz
Nordrhein-Westfalen



Skizze der halbtechnischen Versuchsanlage

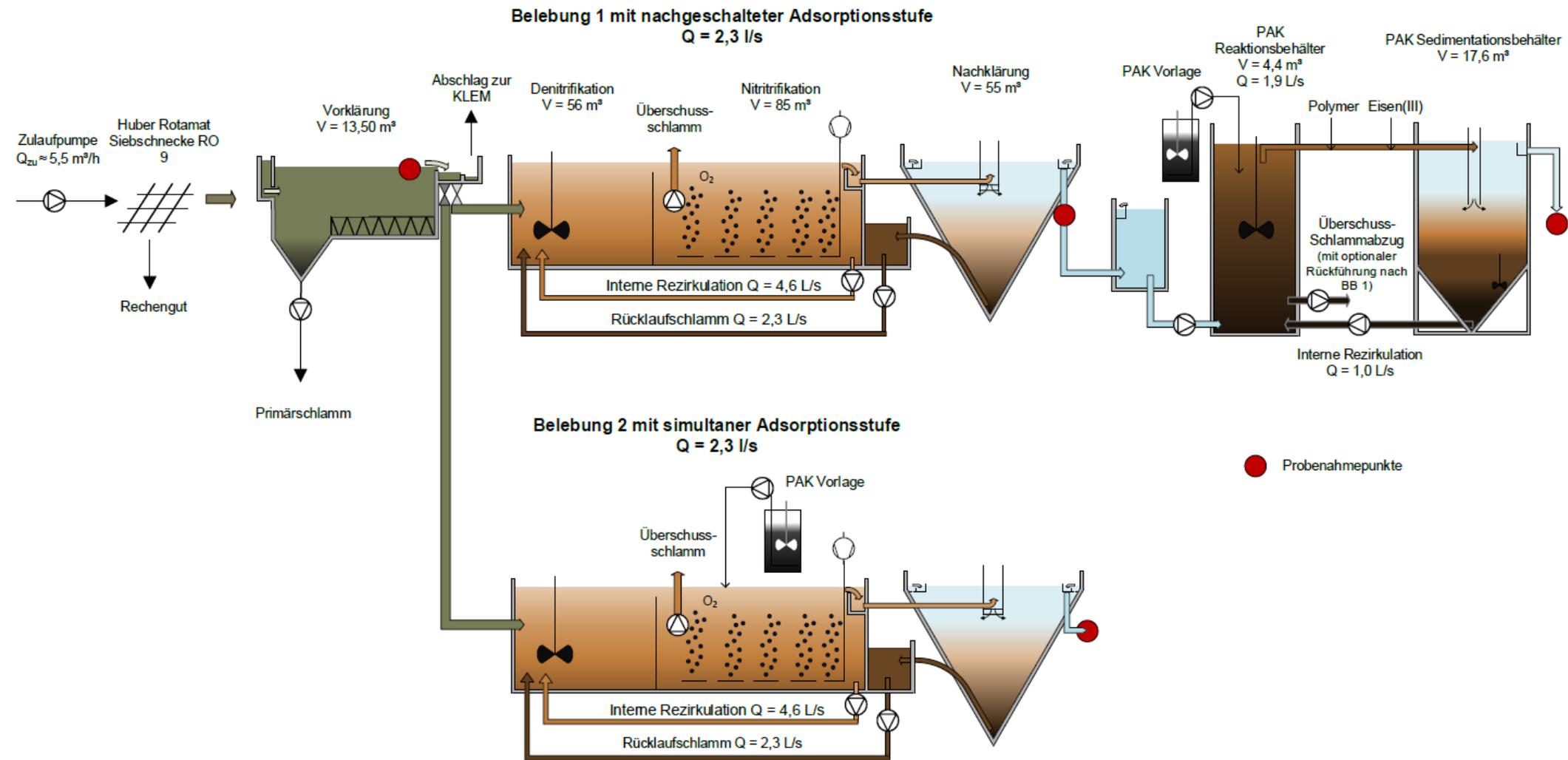


Abb. 11 Pilotanlage der EGLV auf der Kläranlage Emschermündung

Fotos der Pilotanlage (KLEM, EGLV)



Abb. 12 Pilotanlage der EGLV auf der Kläranlage Emschermündung

PAK-Bilanz AFF-Stufe

- Bestimmung der Feststoffe über die AFS-Konzentration
- Berücksichtigung der P-Fällung durch Eisen-III-Chlorid-Sulfat
- Resultierendes PAK-Schlammalter: $t_{PAK} = 8,1 \text{ d}$

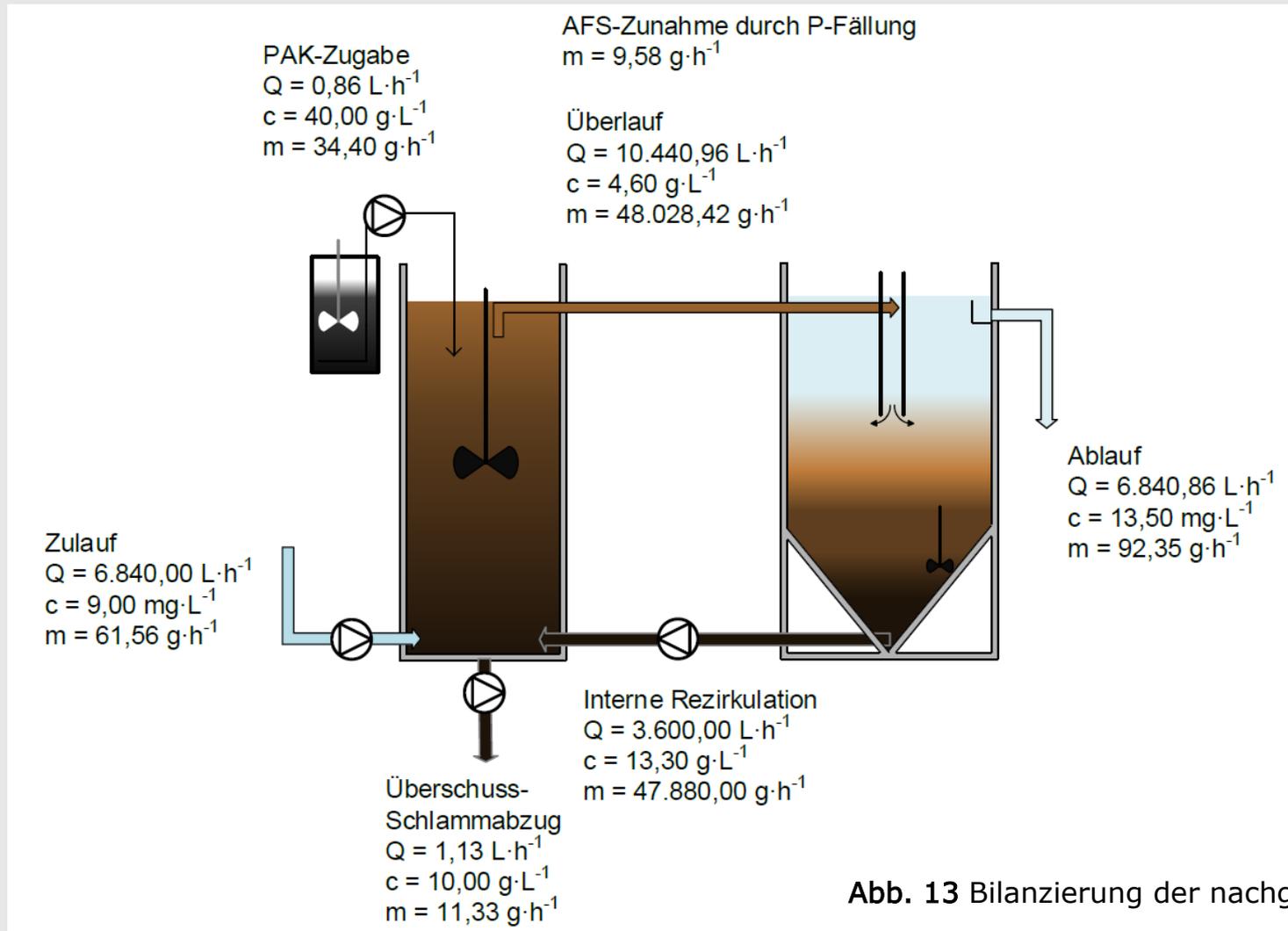


Abb. 13 Bilanzierung der nachgeschalteten PAK-Stufe

Prozentuale Eliminationsleistungen bei $5 \text{ mg}_{\text{PAK}} \cdot \text{L}^{-1}$

Arzneimittelwirkstoffe

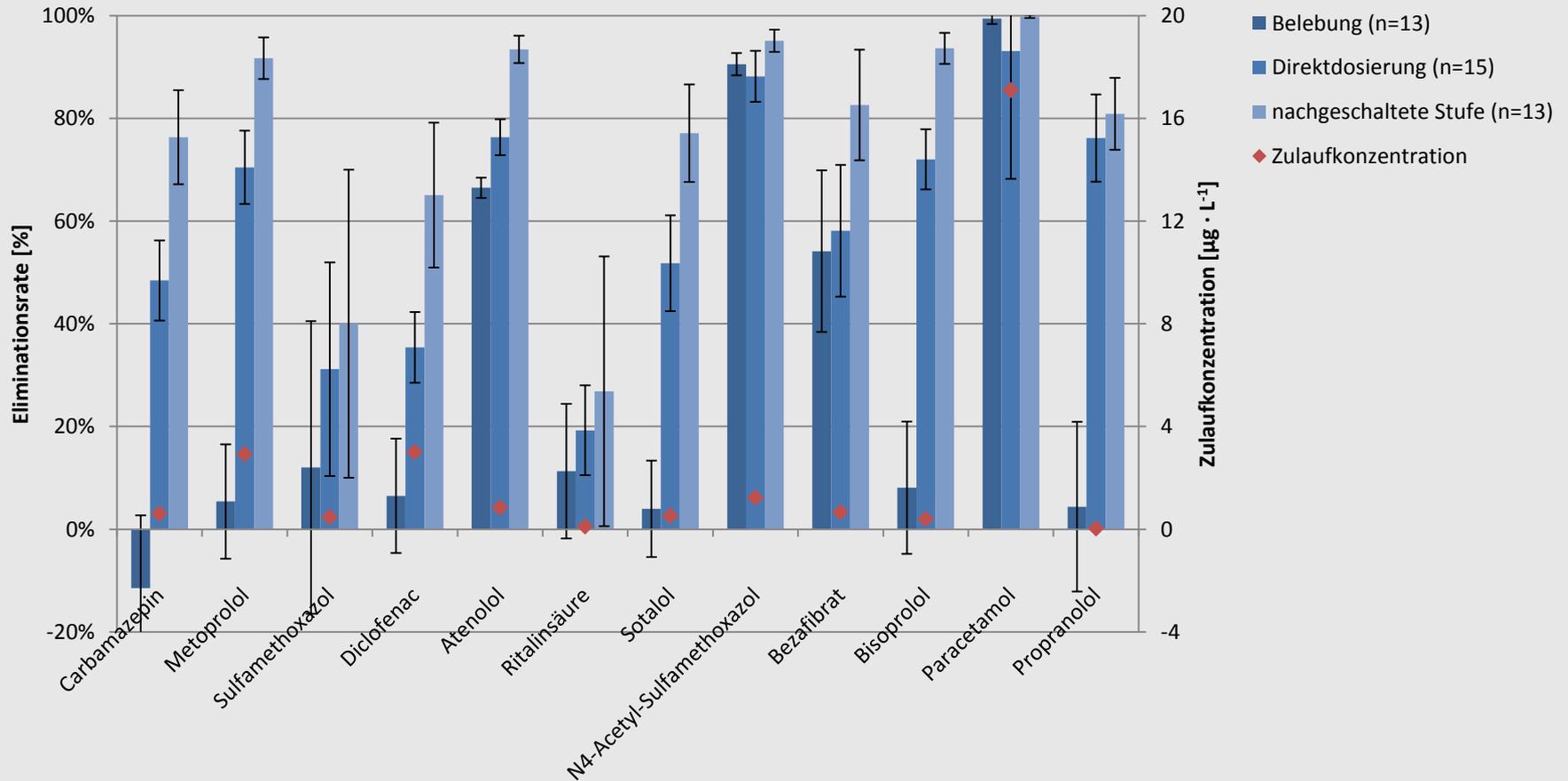


Abb. 14 Eliminationsleistungen für unterschiedliche Spurenstoffe und Verfahren auf der Pilotanlage der KLEM (EGLV)

Prozentuale Eliminationsleistungen bei $5 \text{ mg}_{\text{PAK}} \cdot \text{L}^{-1}$

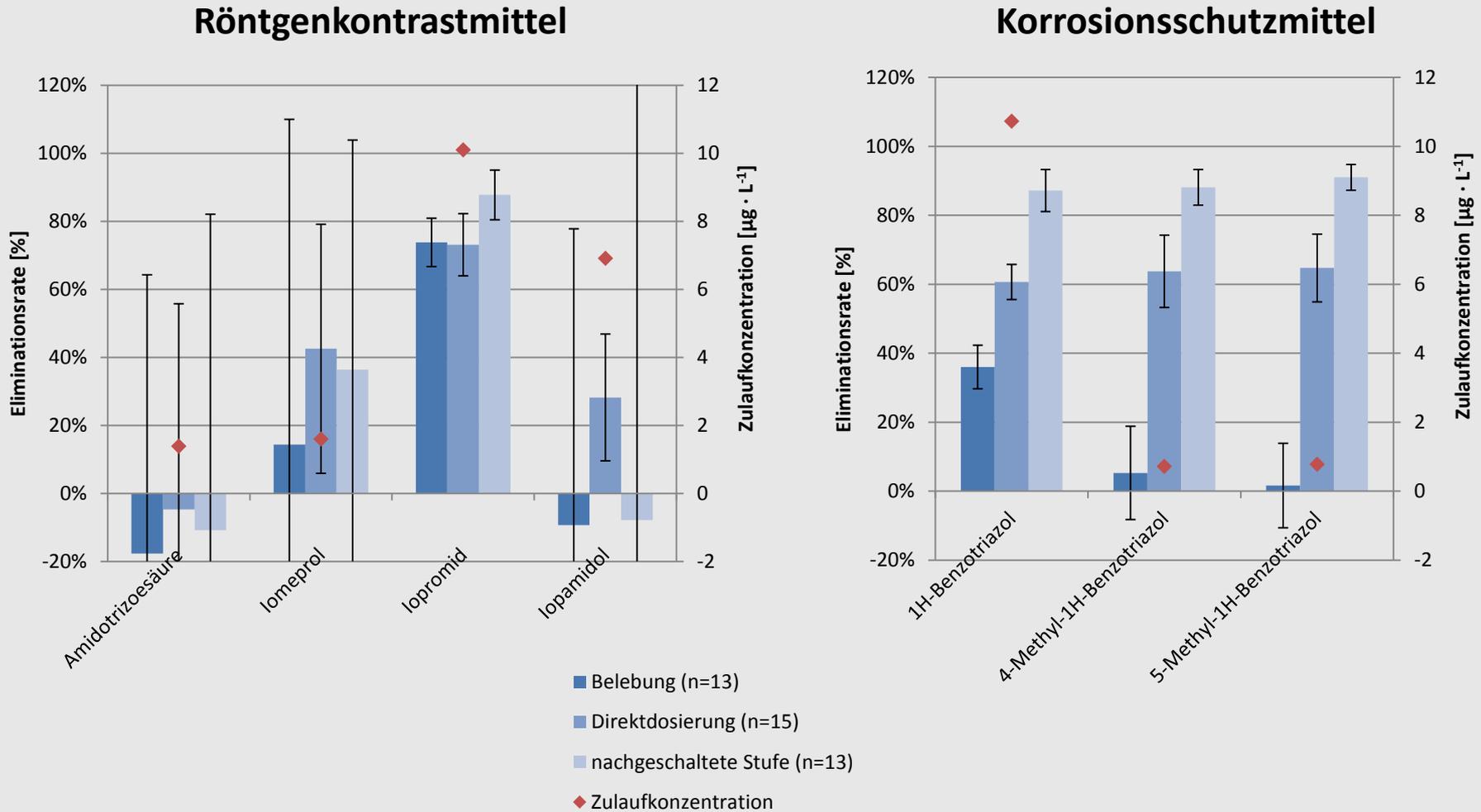


Abb. 15 Eliminationsleistungen für unterschiedliche Spurenstoffe und Verfahren auf der Pilotanlage der KLEM (EGLV)

Verwendete Pulveraktivkohle

- NORIT® SAE SUPER
- Material: Torf, Diverse Arge Spurenstoffe NRW (2011)
- Eigenschaften: Körnung D_{50} 15 μm Nowotny et al. (2007)
 - BET-Oberfläche 1050-1300 $\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ Zietzschmann et al. (2014)
 - Schüttdichte 300-400 $\text{kg} \cdot \text{m}^3$ Nowotny et al. (2007)

Kostenrechnung für 5 $\text{mg}_{\text{PAK}} \text{L}^{-1}$ und ein Jahr Versuchsdauer:

$$m_{\text{PAK}} = 5 \text{ mg}_{\text{PAK}} \cdot \text{L}^{-1} * 365 \text{ d} * 397,4 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$$

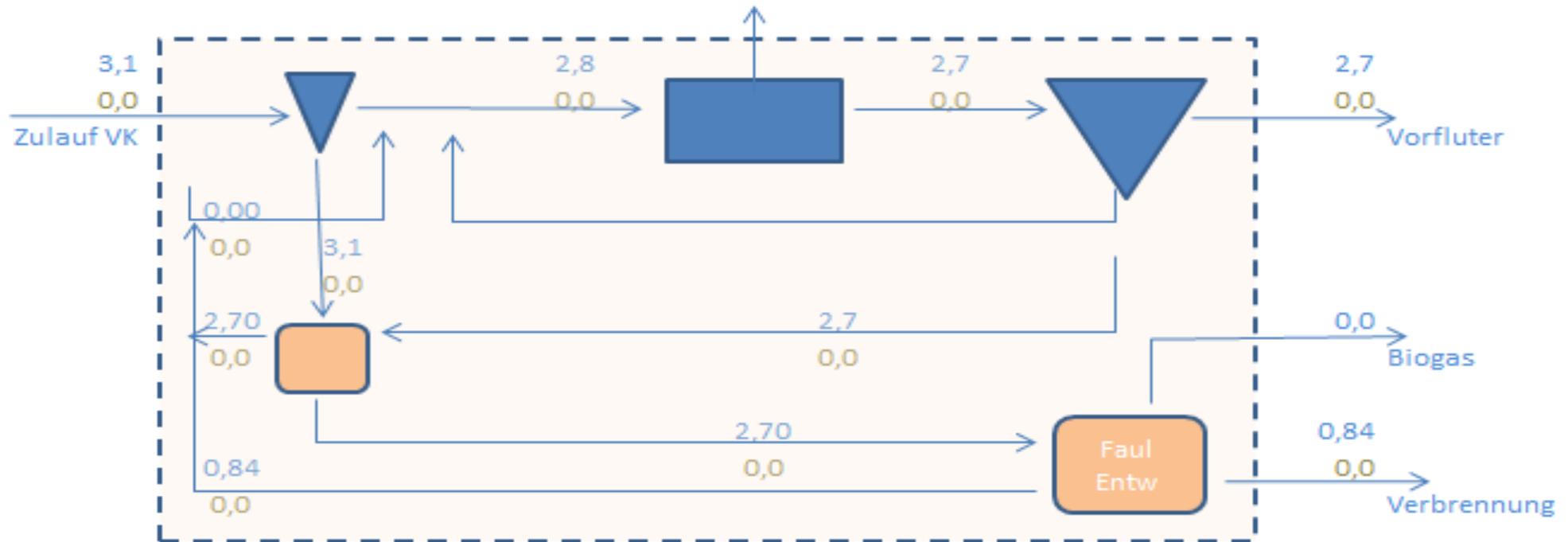
$$= 0,73 \text{ t}_{\text{PAK}} \cdot \text{a}^{-1}$$

Bei 1.800 € pro t_{PAK} entspricht das 1.314 € a^{-1} .

Bei etwa 2000 angeschlossenen Einwohnern entspricht das 0,66 € pro Jahr und Einwohner (nur für PAK, ohne IK und Energiebedarf).

Bilanz von Diclofenac ohne PAK

Gesamttracer: gelöst und partikulär [$\mu\text{g/L}$] bzw. [mg/m^3]

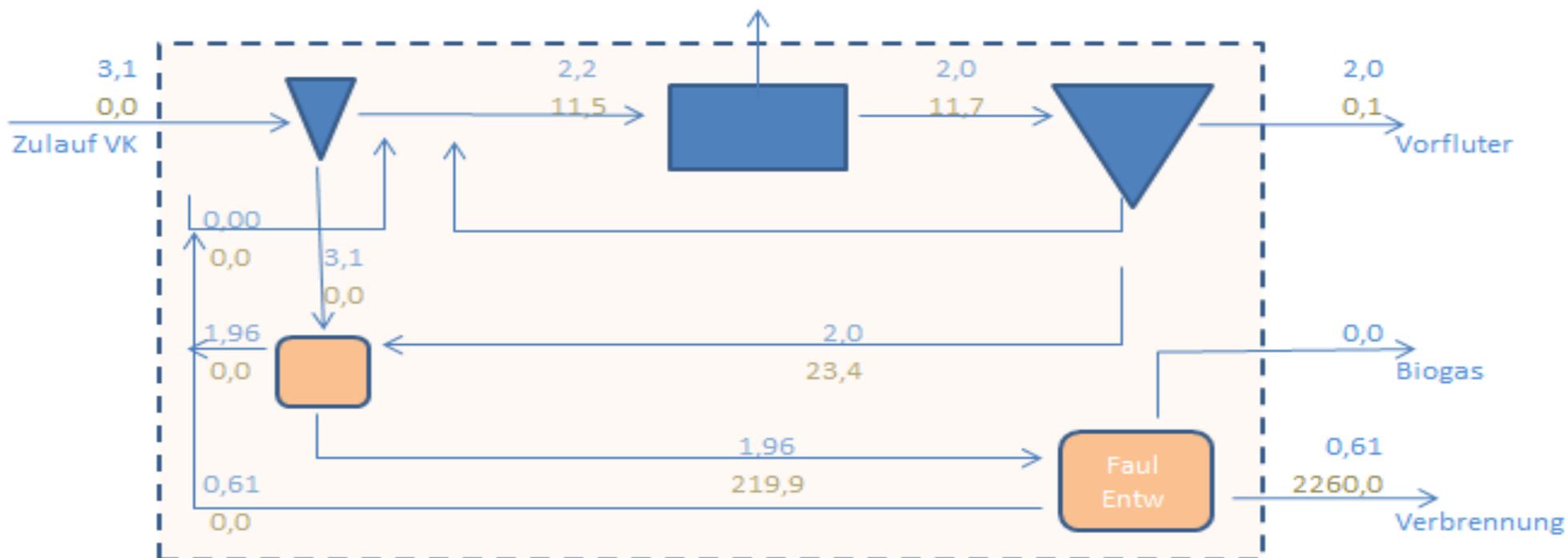


Gesamteli bez. auf gelöste Konz	ZuFaul	0,0	$\mu\text{g/gTS}$	2,70 $\mu\text{g/L}$
13,0 %	AbFaul	0,0	$\mu\text{g/gTS}$	0,84 $\mu\text{g/L}$
Tatsächliche Gesamteli (Fracht, Schlamm verbrannt)	ZuFaul	0,0	g/d	3,5 g/d
13,0 %	AbFaul	0,0	g/d	1,1 $\mu\text{g/d}$
Anteil Rückbelastung an Zulauffr.				
2,5 %				

Abb. 16 Bilanzierung von Diclofenac auf Basis der Ergebnisse der Pilotanlage der KLEM (EGLV)

Bilanz von Diclofenac mit PAK ($5 \text{ g}_{\text{PAK}}/\text{m}^3_{\text{AblaufVK}}$)

Gesamttracer: gelöst und partikulär [$\mu\text{g}/\text{L}$] bzw. [mg/m^3]



Gesamteili bez. auf gelöste Konz	ZuFaul	4,7	$\mu\text{g}/\text{gTS}$	1,96 $\mu\text{g}/\text{L}$
36,8 %	AbFaul	8,3	$\mu\text{g}/\text{gTS}$	0,61 $\mu\text{g}/\text{L}$
Tatsächliche Gesamteili (Fracht, Schlamm verbrannt)	ZuFaul	288,1	g/d	2,6 g/d
33,8 %	AbFaul	288,1	g/d	0,8 g/d
Anteil Rückbelastung an Zulauffr.				
1,8 %				

Abb. 17 Bilanzierung von Diclofenac bei PAK-Dosierung ins Belebungsbecken auf Basis der Ergebnisse der Pilotanlage der KLEM (EGLV)

Verhalten von Spurenstoffen im anaeroben Milieu

- Hohe Eliminationen (>70%) für bspw. Diclofenac, Ibuprofen
- Keine Unterschiede zwischen mesophil und thermophil
- Bisphenol A wird im einstufigen System etwas schlechter eliminiert als in dem zweistufigen System
- Carballa et al. (2007) stellte für das Arzneimittel Carbamazepin keine Elimination unter anaeroben Bedingungen fest

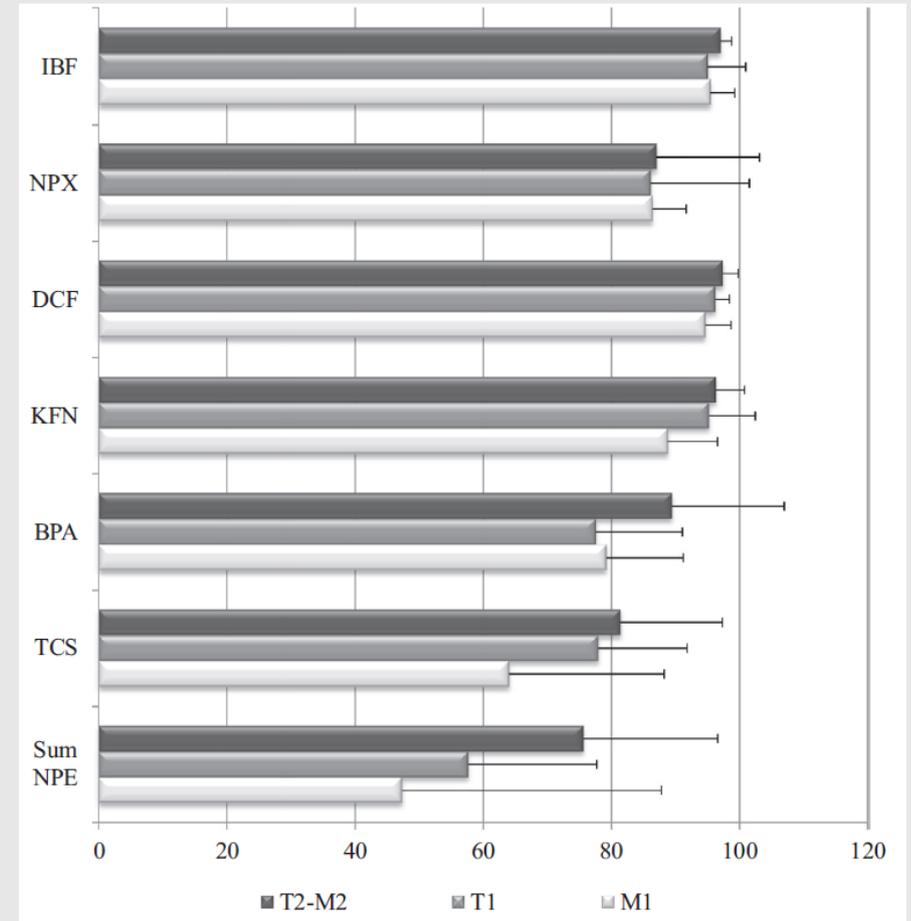


Abb. 18 Elimination von Spurenstoffen im mesophilen (M1), thermophilen (T1) und zweistufigen, thermophil-mesophil (T1 – M2) System (Samaras et al., 2014)

Energiebedarf der Mikroschadstoffentfernung auf Kläranlagen

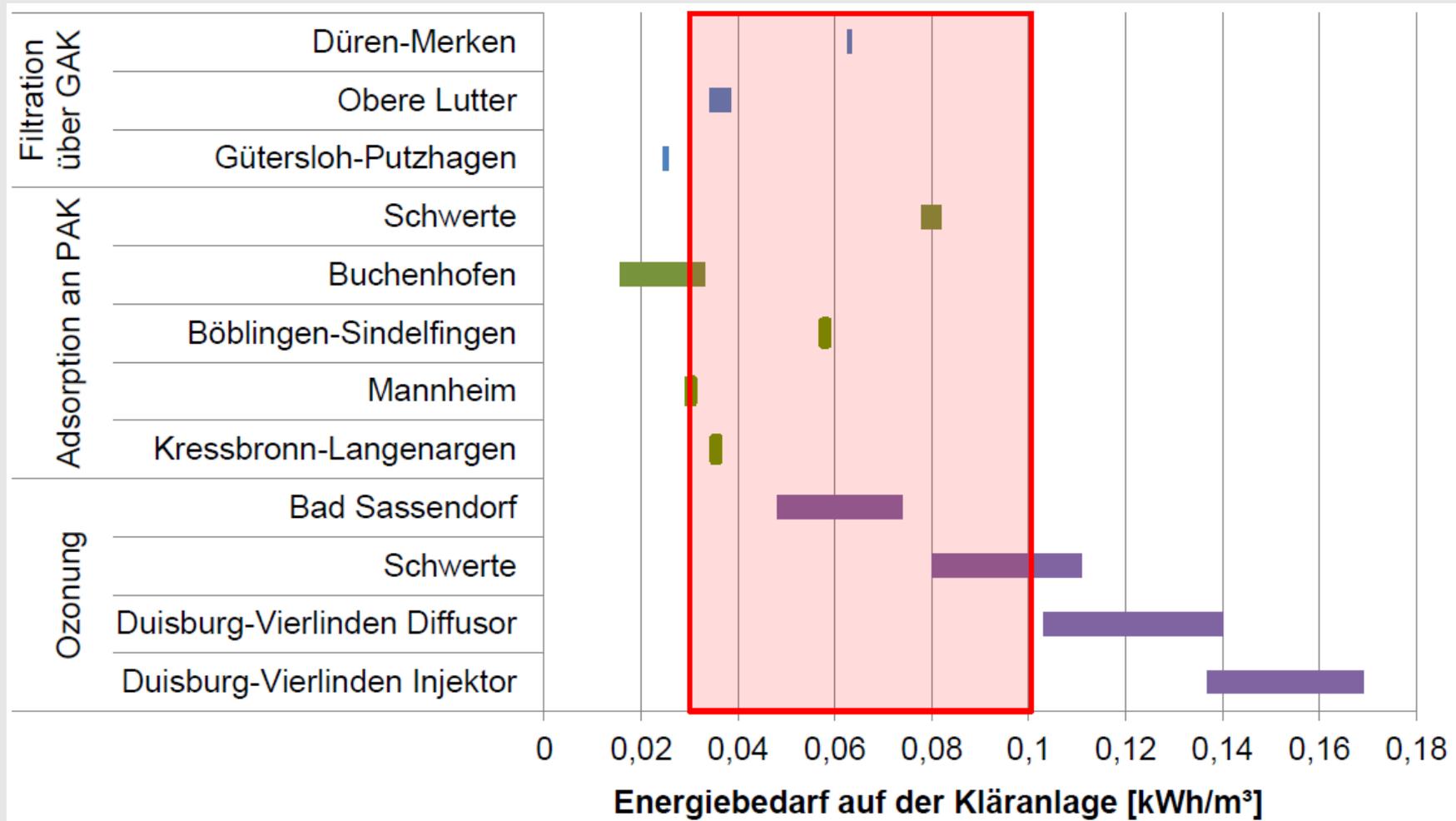


Abb. 19 Energiebedarf der Mikroschadstoffentfernung

Pinnekamp at al. (2015)

Primärenergiebedarf der Mikroschadstoffentfernung

Verfahren	Primärenergiebedarf	Anmerkungen
Ozonung	0,2 - 0,7 kWh·m ⁻³	2,5 - 7,5 g _{O₃} ·m ⁻³
PAK (Kontaktbecken)	0,1 - 1,3 kWh·m ⁻³	10 - 20 g _{PAK} ·m ⁻³ Energiegewinn aus Schlammverbrennung berücksichtigt

Wieviel steigt der Primärenergiebedarf durch die Einführung der Spurenstoffelimination?

ohne Spurenstoffelimination etwa 200 kWh/(EW*a)
 mit Spurenstoffelimination etwa 250 kWh/(EW*a)

Energiebilanz

Energieverbrauch der einzelnen Anlagenaggregate auf der KLEM-PA

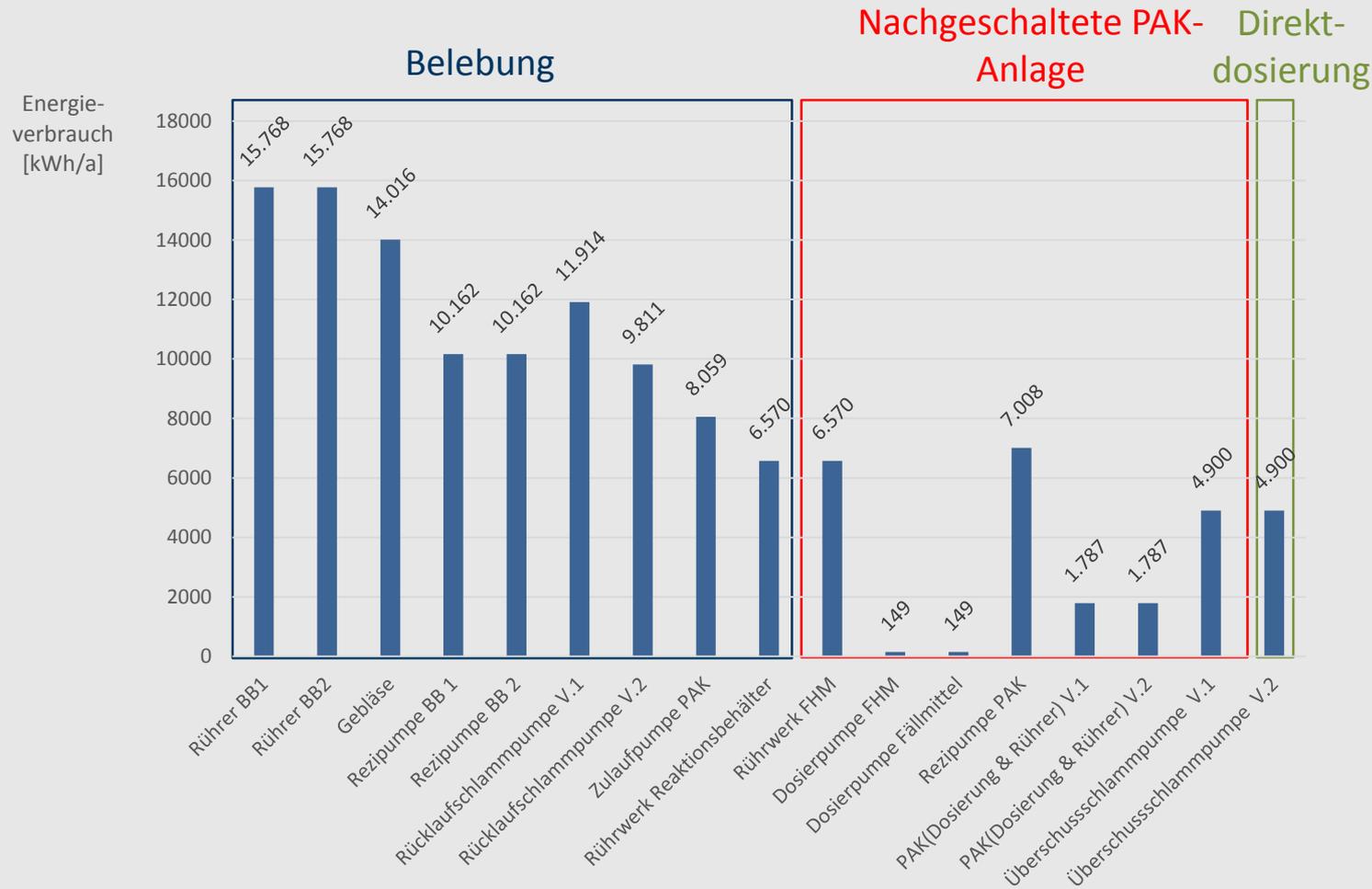


Abb. 20 Energiebedarf der Mikroschadstoffentfernung auf der PA KLEM (EGLV)

Energiebilanz

Energieverbrauch der einzelnen Anlagenaggregate auf der KLEM

- Annahme: $200 L_{\text{Abwasser}} / (\text{EW} \cdot \text{d})$
- spezifischer Energieverbrauch der Belebung: $49 \text{ kWh} / (\text{EW} \cdot \text{a})$
- Direktdosierung benötigt unwesentlich mehr Energie
- PAK-Stufe verbraucht zusätzliche $38 \text{ kWh} / (\text{EW} \cdot \text{a})$. Große Energieverbraucher sind die Zulaufpumpe (26 %) und die die Rezi-Pumpe (23 %).
Das ist höher als erwartet, typische Werte liegen bei **zusätzlichen 10-20%**.

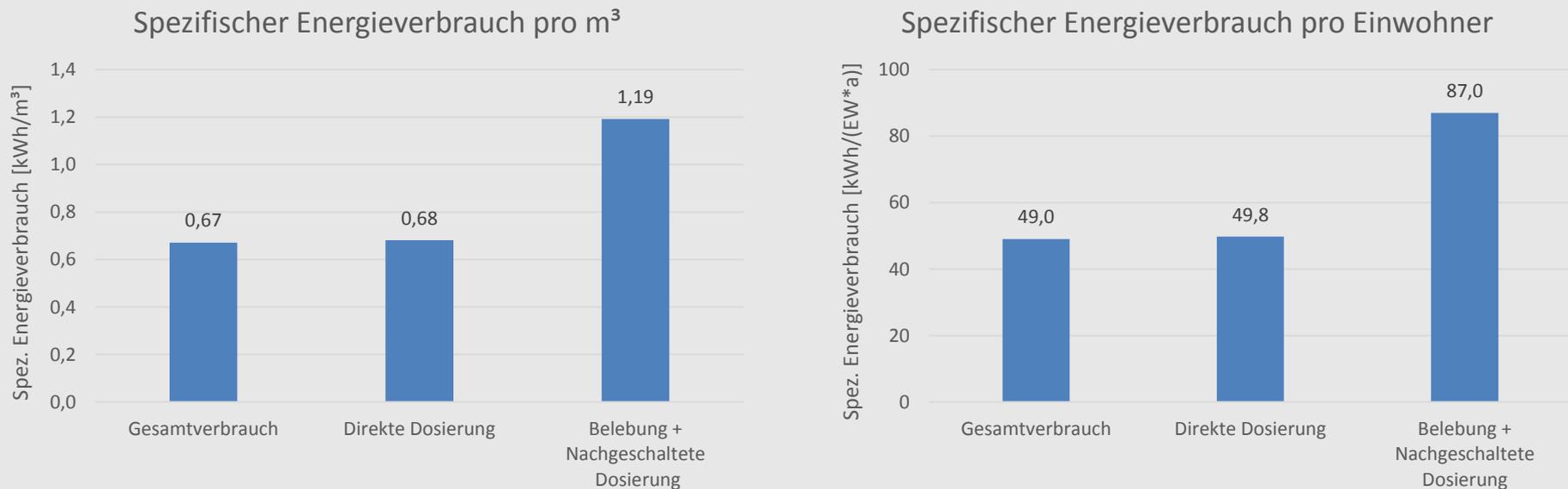


Abb. 21 Energiebedarf der Mikroschadstoffentfernung auf der PA KLEM (EGLV)

Kosten der Mikroschadstoffentfernung auf Kläranlagen ohne Investkosten

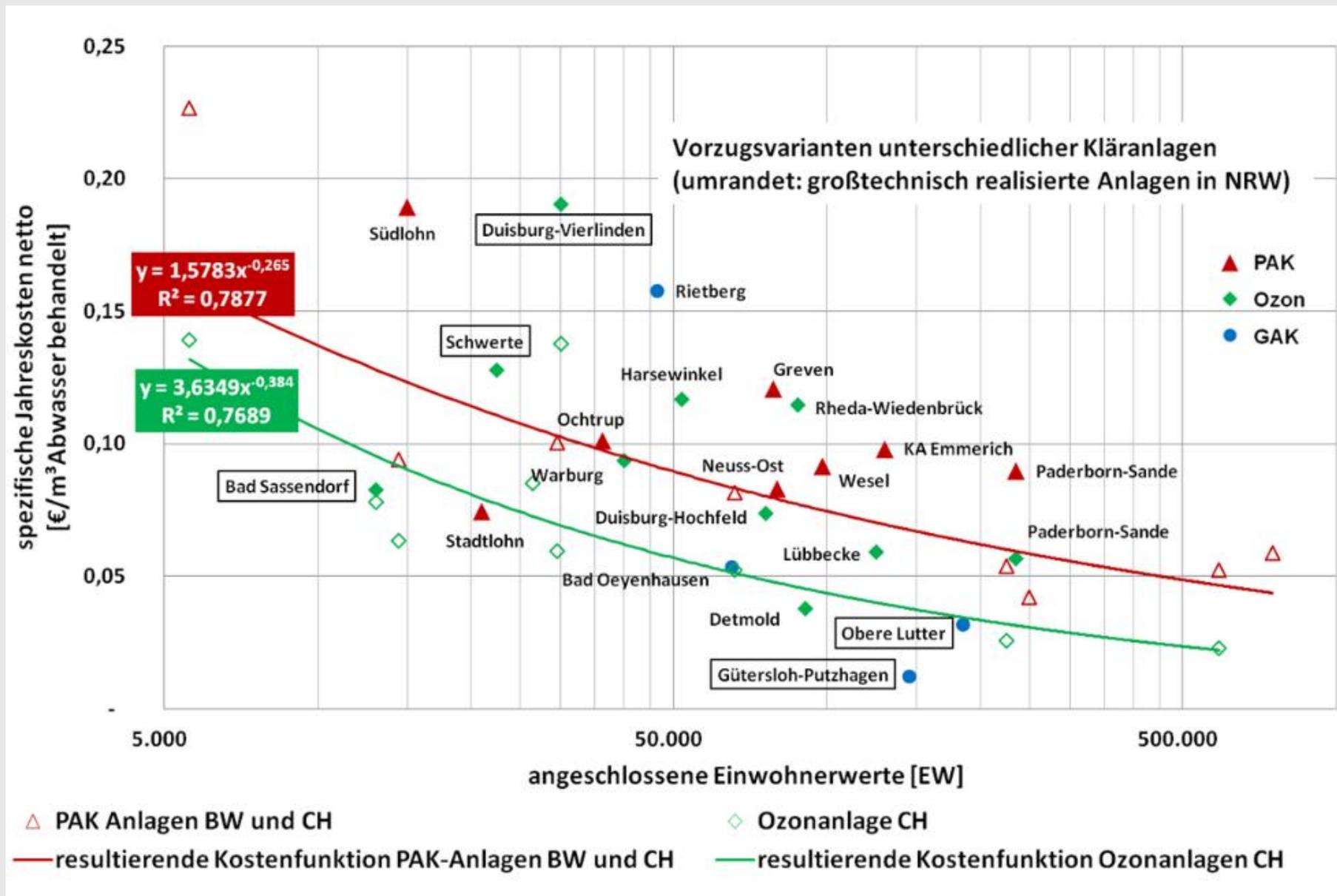


Abb. 22 Kosten der Mikroschadstoffentfernung

Zusammenfassung und Ausblick hinsichtlich Spurenstoffelimination

- Es gibt eine Vielzahl von Spurenstoffen, deren Verhalten und ökotoxisches Potenzial größtenteils noch unbekannt ist.
- Mit der konventionellen Abwasserreinigung können Spurenstoffe nicht ausreichend entfernt werden.
- Mit technischen Lösungen (Ozonung, PAK) lassen sich Spurenstoffe gut aus dem Abwasser entfernen.
- Kosten der Spurenstoffentfernung in großtechnischen Anlagen liegen zwischen $0,05 - 0,15 \text{ €/m}^3$. Das entspricht $2,50-7,50 \text{ €}$ pro Einwohner und Jahr bei $50 \text{ m}^3/(\text{EW}\cdot\text{a})$.
- Der durchschnittliche Energiebedarf der Abwasserreinigung liegt bei $35 \text{ kWh}/(\text{EW}\cdot\text{a})$
- Der Energiebedarf einer Spurenstoffentfernung für großtechnische Anlagen liegt bei $0,03-0,1 \text{ kWh/m}^3$ oder $1,5-5,0 \text{ kWh}$ pro Einwohner und Jahr.

Ist es nun nachhaltig Spurenstoffe zu eliminieren?

Das Beispiel zu Diclofenac...

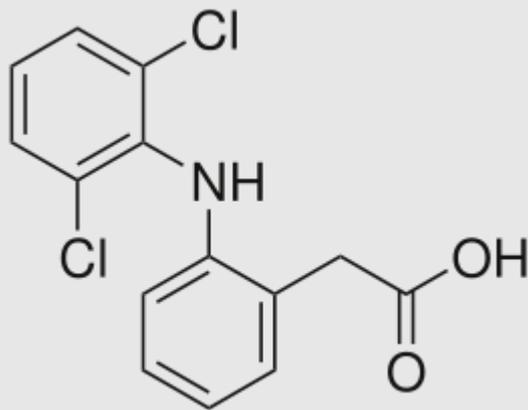


Abb. Diclo-ratiopharm® Schmerzgel. Diclofenac-Natrium 10 mg · g⁻¹ Gel.

Wenn wir davon ausgehen, dass wir im Trinkwasser heute maximal Konzentrationen von

0,1 µg/L haben, nehmen wir, wenn wir 3L/Tag trinken, in 75 Jahren etwa 10-20mg auf.

Das entspricht etwa einer Diclofenac-Tablette, erscheint also erstmal unkritisch.

Ist es nun nachhaltig Spurenstoffe zu eliminieren?

Ein weiteres Beispiel... 😊



Abb.: www.teehaus-martin.de



Abb.: www.divinehealthyfood.com



Abb.: www.hello-berlin.net

Ist es nun nachhaltig Spurenstoffe zu eliminieren?

Der Bilanzraum ist wichtig...

Bilanzraum Mensch in D



Abb.: www.sueddeutsche.de

Ist es nun nachhaltig Spurenstoffe zu eliminieren?

Der Bilanzraum ist wichtig...

Bilanzraum Mensch in D - Spurenstoffelimination ist nötig und sinnvoll



Ist es nun nachhaltig Spurenstoffe zu eliminieren?

Der Bilanzraum ist wichtig...

Bilanzraum Mensch in D - Spurenstoffelimination ist nötig und sinnvoll



Bilanzraum weltweit ...😊

Ist es nun nachhaltig Spurenstoffe zu eliminieren?

Der Bilanzraum ist wichtig...



Vor zwei Jahren vernichtete ein Beben Teile Haitis. Dann starben 7.000 Menschen an der Cholera. Das Land ist kaputt, die Krankheit bleibt.



Eine Haitianerin schaut in Port-au-Prince auf die Überreste eines Gebäudes. Zwei Jahre nach dem verheerenden Erdbeben von 2010 schätzen die Vereinten Nationen, dass die Hälfte des Schutts noch herumliegt.

Bilanzraum Mensch in D - Spurenstoffelimination ist nötig und



1	SWITZERLAND	1.259,4	72	3,842
2	HONG KONG	1.254,8	60	19,603
3	USA	1.147,1	69	4,280
4	SINGAPORE	1.013,2	65	4,857
5	CAYMAN ISLANDS	817,0	55	11,630
6	LUXEMBOURG	760,2	79	0,377
7	LEBANON	701,9	56	6,026
8	GERMANY	471,4	74	0,164
9	BAHRAIN	440,8	77	0,085
10	UNI. ARAB EMIRATES	420,2	70	0,188
11	MACAO	418,4	58	1,062
12	JAPAN	415,7		
13	PANAMA	405,6		

Bilanzraum weltweit ...😊



Abb.: tagesschau.de

Abb.: Zahlen ARD Monitor, Tax Justice Network



Abb.: Google.de

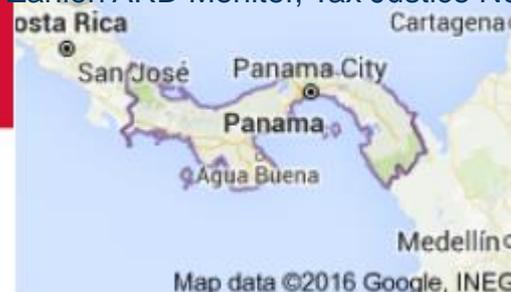


Abb.: Stadtrand Lima

- Alfes, K. (2016): Halbtechnische Untersuchungen zum Vergleich direkter und nachgeschalteter Pulveraktivkohledosierung hinsichtlich ihres Einflusses auf Belebtschlamm und Spurenstoffkonzentration. Masterarbeit.
- Clausen, K.; Lübken, M.; Pehl, B.; Bendt, T.; Wichern, M. (2014) Einsatz reaktiver Aktivkohle von Wasserwerken zur Spurenstoffelimination in kommunalen Kläranlagen am Beispiel Düsseldorf, Korrespondenz Abwasser 11/14.
- Carballa, M. et al. (2007): Fate of pharmaceutical and personal care products (PPCPs) during anaerobic digestion of sewage sludge. Water Research 41, 2139-2150.
- DWA-A 131 (2015): Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen – Entwurf.
- Herbst, H., Ante, S. (2015): Kostenfaktor 4. Reinigungsstufe. Landeskongress des BWK Landesverbandes NRW e.V. am 23. April 2015. Neue Herausforderungen für die Abwassertechnik. Vortrag.
- Hillenbrand, T., et al.: Maßnahmen zur Verminderung des Eintrages von Mikroschadstoffen in die Gewässer. UBA.
- Hinz et al. (2005): Bioavailability of diclofenac potassium at low doses. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1884962/> (abgerufen am 15.04.2016)
- Mousel, D. et al. (2015): Energieverbrauch der Spurenstoffelimination auf kommunalen Kläranlagen. 48. Essener Tagung, Aachen.
- Pinnekamp, J. et al. (2015): Arzneimittel: Verbrauch, Gewässerbelastung, Maßnahmen. Fachsymposium Arzneimittel und Mikroschadstoffe, Düsseldorf. Vortrag.
- Samaras, V. et al. (2014): Fate of selected emerging micropollutants during mesophilic,

- Sunderer, G. et al. (2013): Was die Medien über anthropogene Spurenstoffe im Wasserkreislauf schreiben. Eine Medieninhaltsanalyse der letzten zwölf Jahre. KA Korrespondenz Abwasser, Abfall, Nr. 10, 826-828
- Weber et al. (2014): Pharmaceuticals in the environment – the global perspective. Occurance, effects, and potential cooperative action under SAICM.
- www.drugs.com/pro/diclofenac.html (abgerufen am 15.04.2016)