

„4. Reinigungsstufe“ im Kontext eines nachhaltigen Wasserressourcen-Managements



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

6. Juni 2019, Friedberg



Mikroplastik



Keime & Viren

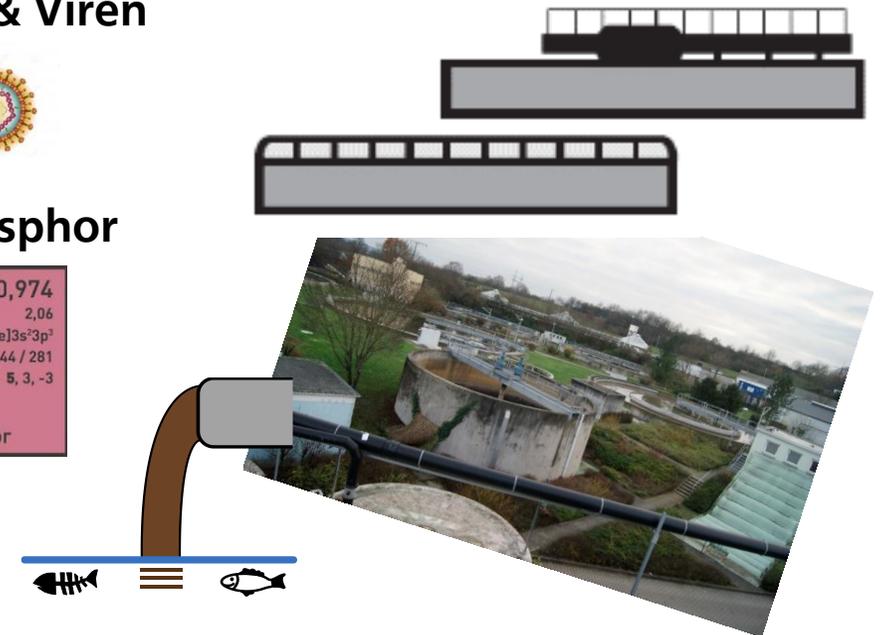


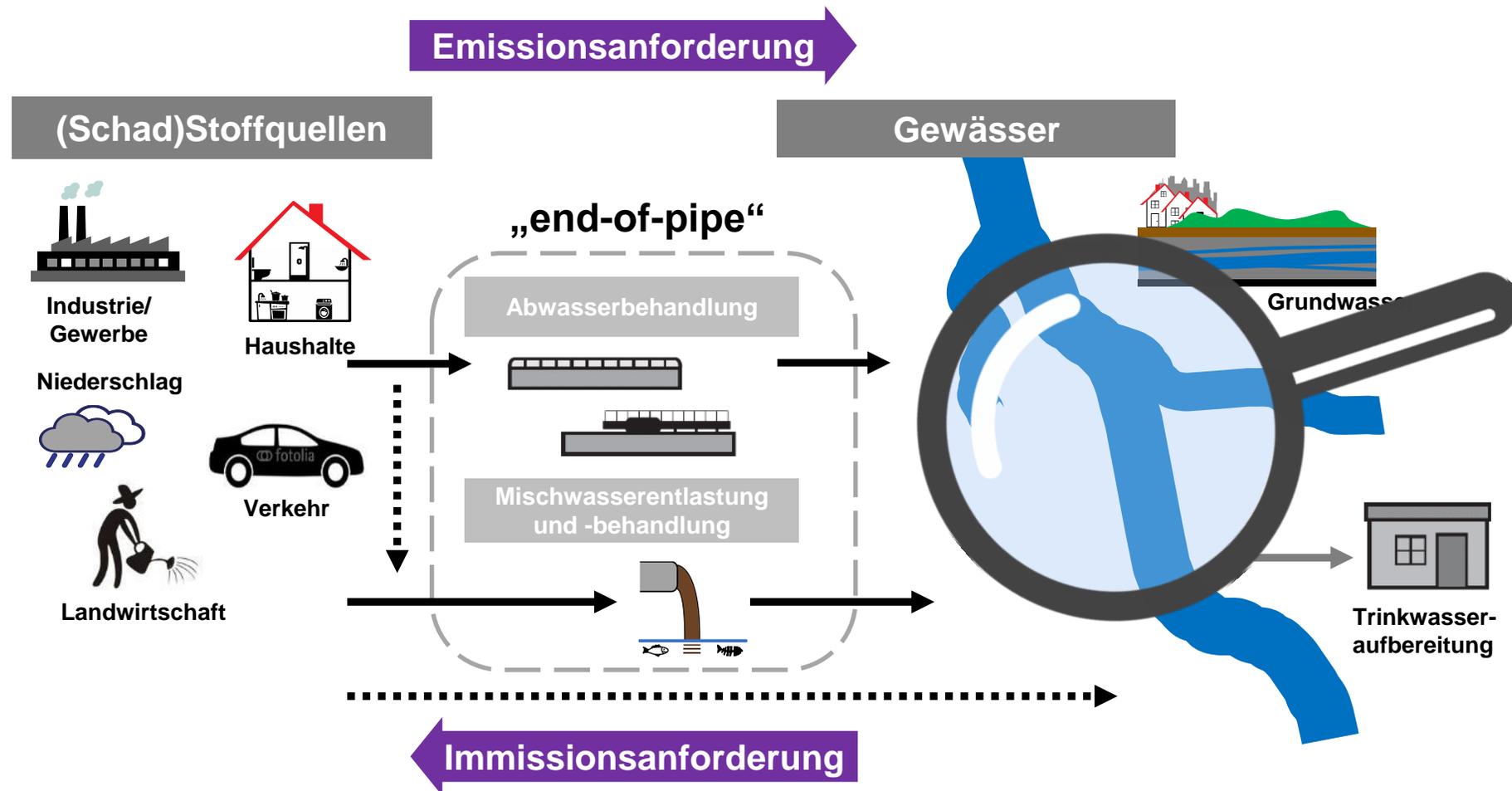
Spurenstoffe



Phosphor

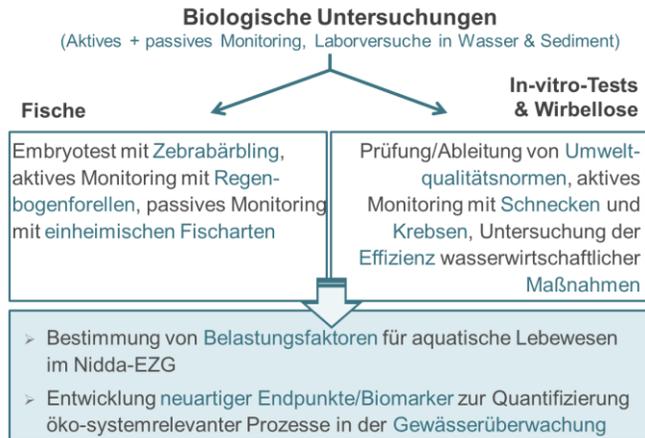
15	30,974
-0,502(3)	2,06
[Ne]3s ² 3p ³	
44 / 281	
P	5, 3, -3
Phosphor	



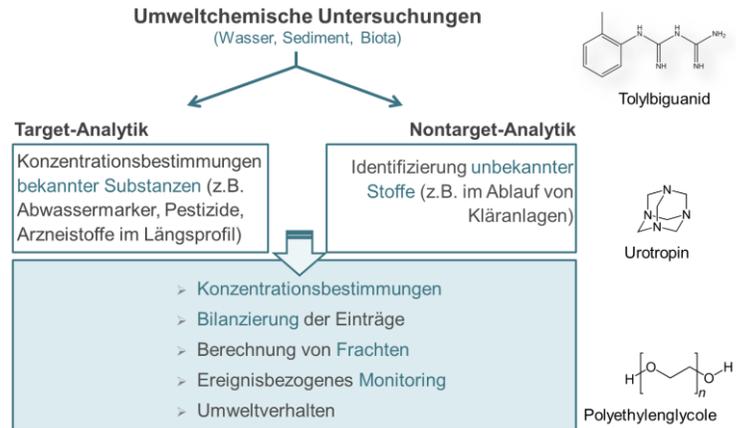


Akteure in NiddaMan

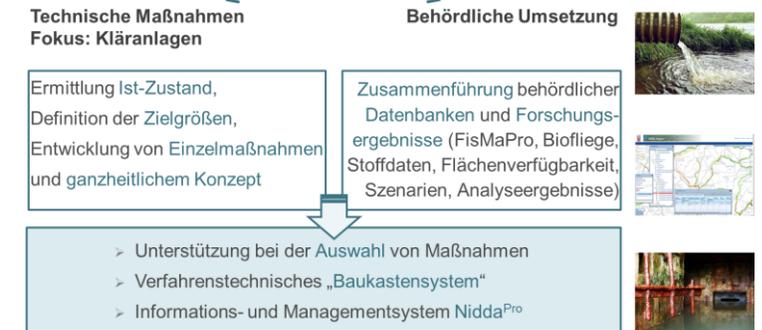
Biologische Wirkungen (Uni Frankfurt & Uni Tübingen)



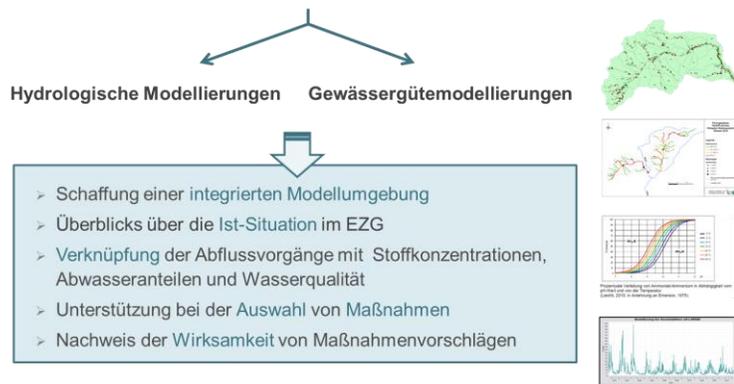
Stoffliche Belastungen (BfG)



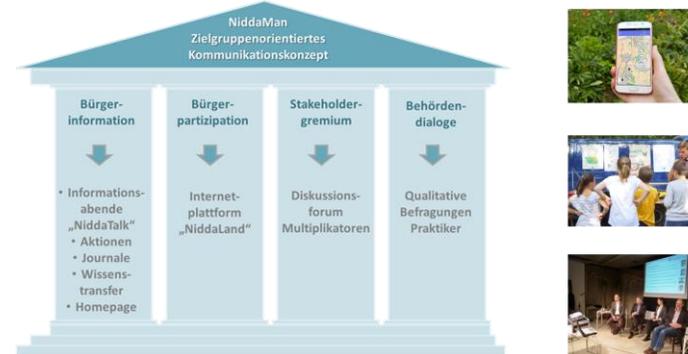
Maßnahmen & Anpassungsstrategien (TU Darmstadt, Unger Ingenieure, ahu-AG)



Modellierungen (BGS Wasserwirtschaft, KIT)

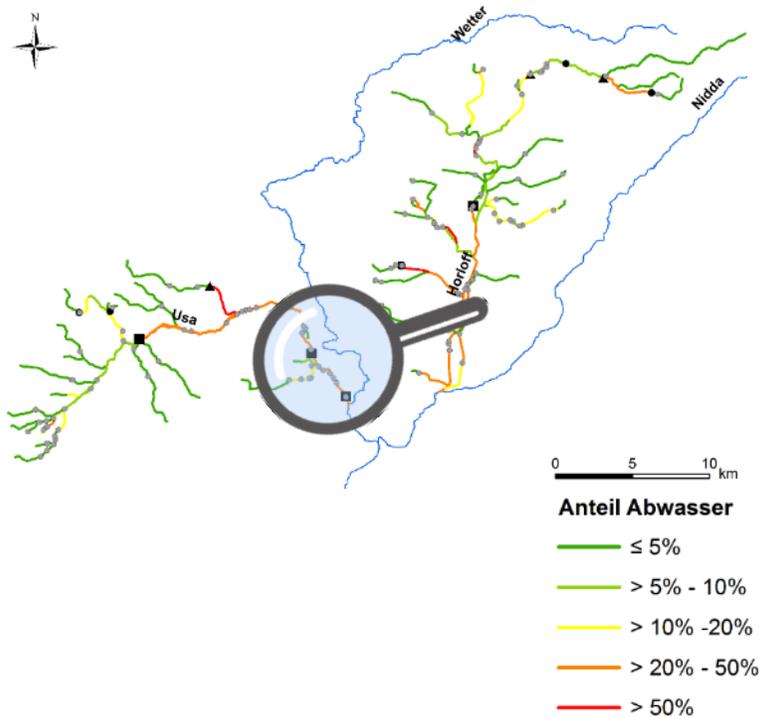


Sozial-ökologische Analysen/Öffentlichkeitsarbeit (ISOE, Uni Frankfurt, Wetteraukreis)

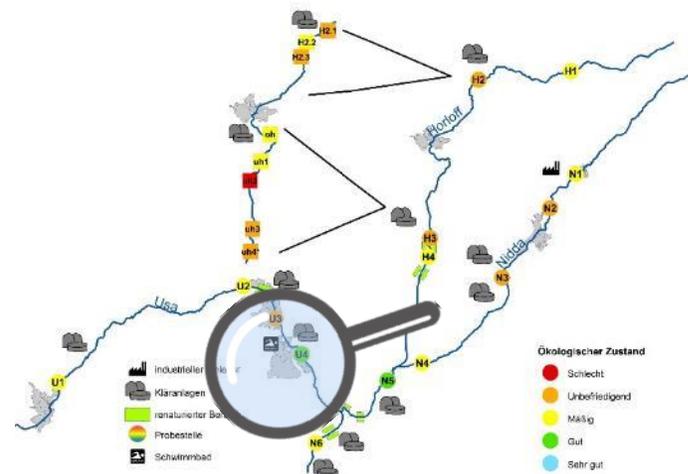


Indikatoren zur Ableitung immissionsbasierter Maßnahmen

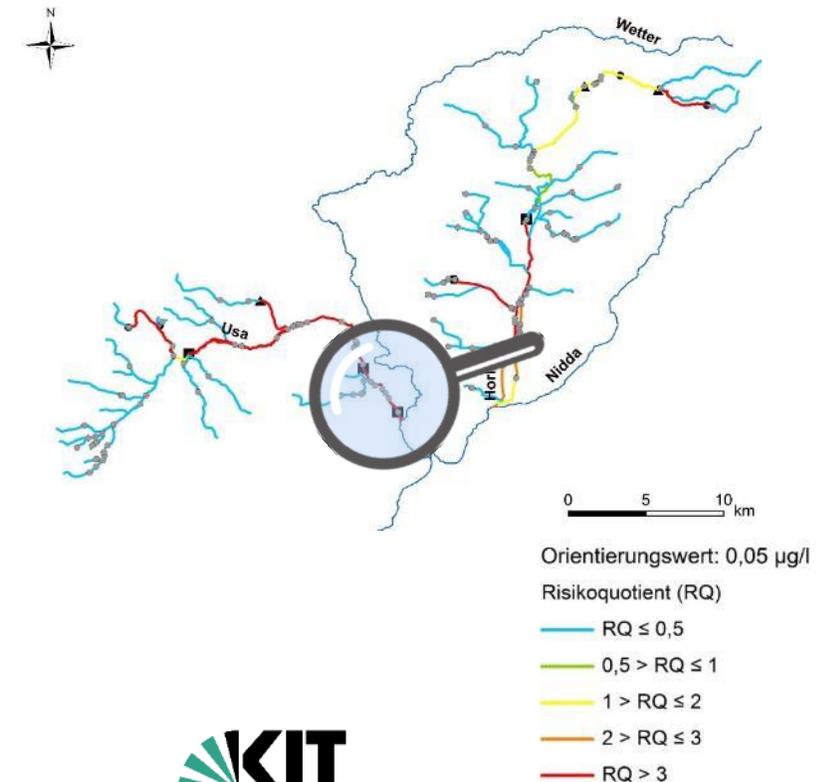
Abwasseranteil im Gewässer



Ökologisch/chemische Bestandsaufnahme



Gewässergütemodellierung



Kläranlage Friedberg



Parameter	Ablaufwerte (2014 – 2015) ⁽¹⁾	Überwachungswerte	OGewV (2016) ⁽³⁾	Einheit
CSB	21 - 26	60	-	mg/l
TOC ⁽²⁾	8 – 11		< 7	mg/l
BSB ₅	2	15	< 3	mg/l
P _{ges}		1,2	≤ 0,1	mg/l
PO ₄ -P			≤ 0,07	mg/l
N _{ges,an}	4,5 – 7,4	18	-	mg/l
NH ₄ -N	0,6 – 1,1	10	≤ 0,1	mg/l

Umsetzung WRRL

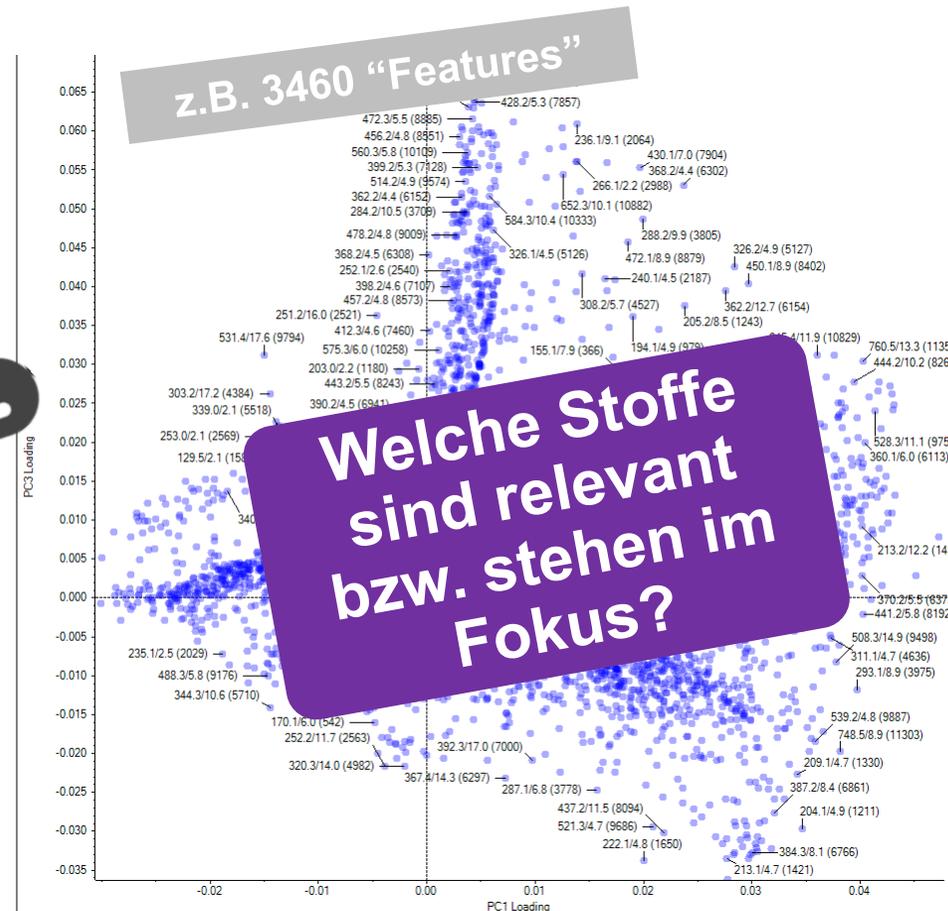
Emissionsanforderung

Immissionsanforderung

Bemerkung:

(1) Mittelwert resp. 50 und 90 Perzentil nach EKVO 2018
 (2) CSB/TOC ≈ 2,2 – 2,5
 (3) nach OGewV (2016). Verordnung zum Schutz der Gewässer vor Verschmutzung durch Sauerstoffmangel im Gewässern vom 20. April 2016, Bundesgesetzblatt Jahrgang 2016 Teil I Nr. 28, ausgegeben zu Bonn am 20. April 2016, Bundesanzeiger Verlag, Bonn, S. 443.

Vielstoffgemisch Abwasser

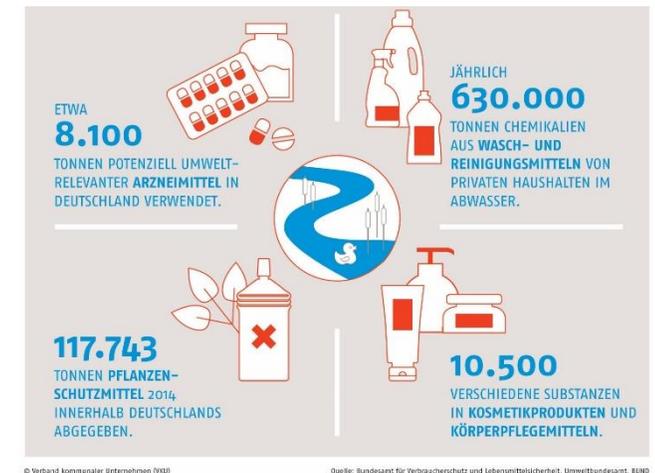


[BfG (2016): TM 1 Stoffliche Belastungen, Projekttreffen Frankfurt, 25.-25.04.2016]

Was sind Spurenstoffe?



- **Prioritäre Stoffe:** Stoffe nach Artikel 16 WRRL, die ein erhebliches Risiko für die aquatische Umwelt darstellen und für die UQN festgelegt sind
- **Spurenstoffe:** Stoffe, die in sehr geringen Konzentrationen im Wasser vorkommen.
 - Pharmazeutika: *Schmerzmittel, Antibiotika, Hormone, Röntgenkontrastmittel, ...*
 - Industrie- und Haushaltschemikalien: *Lösemittel, Tenside, Weichmacher, ...*
 - Pflanzenschutz- und Schädlingsbekämpfungsmittel: *Herbizide, Fungizide, Insektizide, ...*
 - Körperpflegemittel, Duftstoffe, Desinfektionsmittel
 - Additive in der Abwasser- und Klärschlammbehandlung
 - Nahrungsmittel- und Futterzusatzstoffe
- **Charakteristische Eigenschaften:**
 - schlechte oder keine biologische Abbaubarkeit
 - polar, hydrophil, persistent, ...
 - Konzentrationsbereich: von 10^{-6} (Mikro) bis 10^{-12} (Piko) g/l



Spurenstoffe

... im Ablauf der Kläranlage zwischen 0,4 bis 1,5 $\mu\text{g/l}$ z.B.:

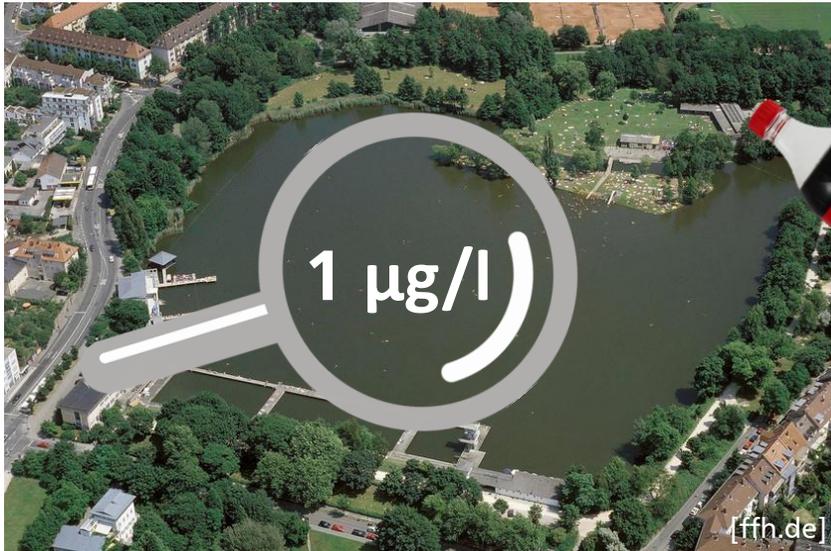


Nachweis von Spurenstoffen



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Großer Woog Darmstadt ($V_{\text{H}_2\text{O}} \approx 100.000 \text{ m}^3$)



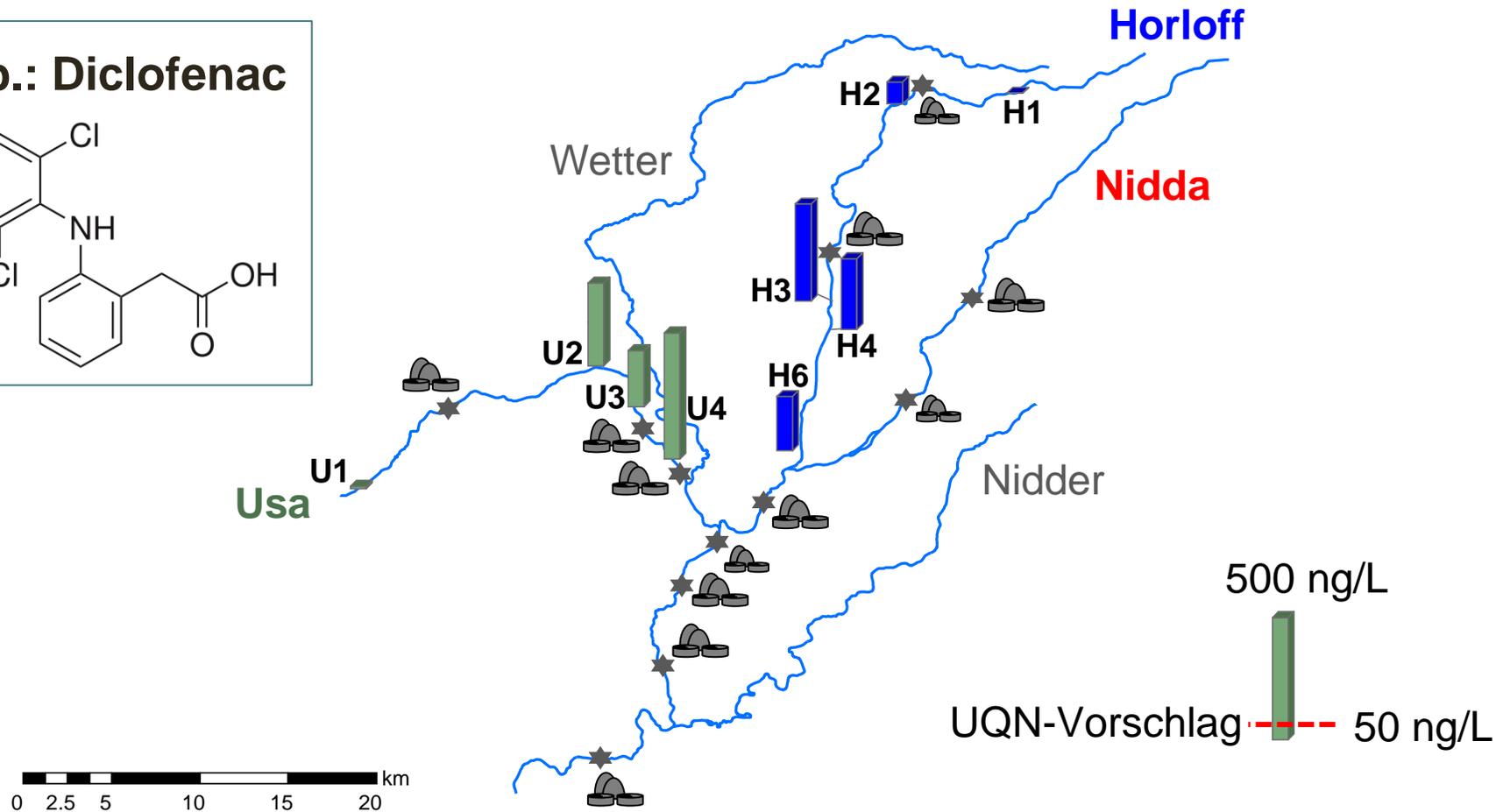
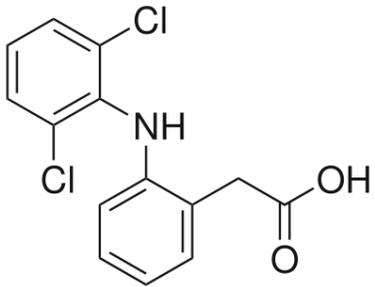
Würfelsucker

n = 33 Stück



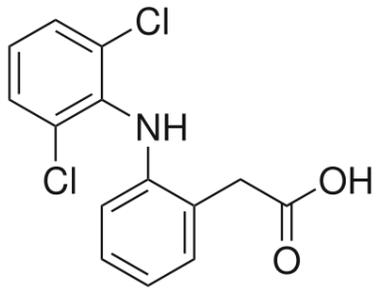
Vorkommen von Arzneistoffe

Bsp.: Diclofenac

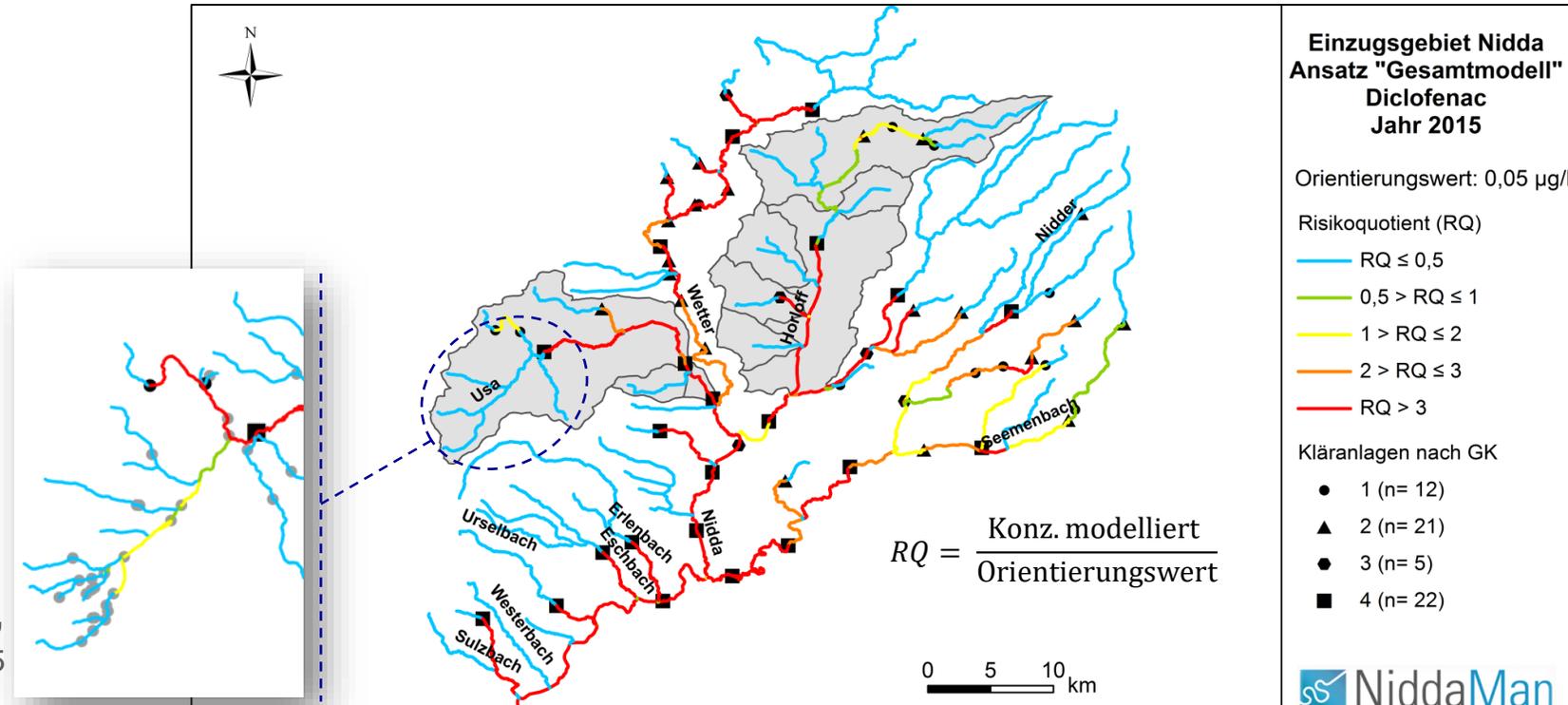


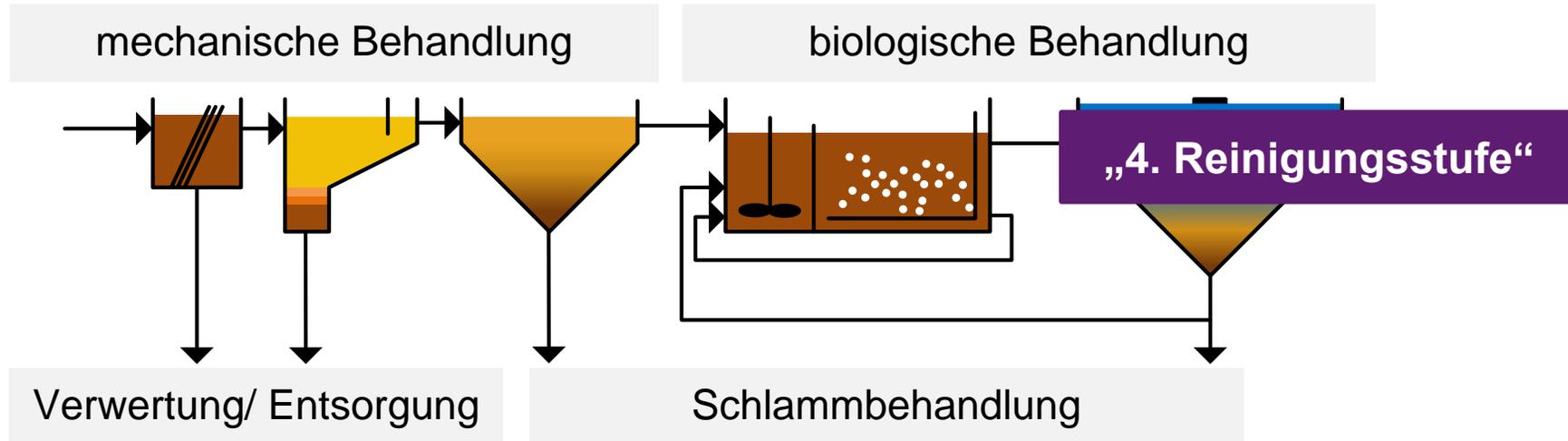
Vorkommen von Arzneistoffe

Bsp.: Diclofenac



Usa,
Oktober 2015





Weitergehende Behandlung des Kläranlagenablaufes

- Chemische P-Elimination: $\text{PO}_4^{3-} \rightarrow \text{MePO}_4$
- Filtration: Feststoffabscheidung
- Desinfektion: Reduktion der Keimbelastung
- **Spurenstoffelimination**

Auszug - Empfehlungen

- **4.1:** „In begründeten Fällen ist eine weitergehende Behandlung auf Kläranlagen ein wichtiger Baustein zur Reduzierung relevanter Stoffe.“
- **4.4:** „Aus diesen Empfehlungen ergibt sich der Bedarf für einen bundeseinheitlichen Orientierungsrahmen zur Auswahl von Kläranlagen, bei denen unter Berücksichtigung unterschiedlicher Kriterien eine weitergehende Behandlung sinnvoll ist.“
- **5:** „Die Umsetzung der Spurenstoffstrategie verursacht Kosten. Deren Höhe hängt vom zu erreichenden Schutzniveau/Ziel ab. Auf Bundesebene muss ein Vorschlag erarbeitet werden, wie diese Kosten finanziert werden sollen.“

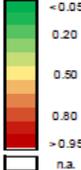


Process		CBZ	DCF	CLA	SMX	Bz	IPM	DOC	TSS	sP	pP	Source
GAC	20,000 m ³ ·m ³											[1]
	10,000 m ³ ·m ³											
F-GAC	20,000 m ³ ·m ³											[2]
	10,000 m ³ ·m ³											
PAC+B	15-20 mg _{PAC} ·L ⁻¹											[3]
	30-40 mg _{PAC} ·L ⁻¹											
PAC	15-20 mg _{PAC} ·L ⁻¹											[4]
	30-40 mg _{PAC} ·L ⁻¹											
PAC-F	15-20 mg _{PAC} ·L ⁻¹											[5]
	30-40 mg _{PAC} ·L ⁻¹											
O ₃	0.4-0.6 g _{O₃} /g _{DOC} ·h											[6]
	0.7-0.9 g _{O₃} /g _{DOC} ·h											
O ₃ +F	0.4-0.6 g _{O₃} /g _{DOC} ·h											[7]
	0.7-0.9 g _{O₃} /g _{DOC} ·h											
O ₃ +GAC	>20,000 m ³ ·m ³											[8]
	0.8-1.0 g _{O₃} /g _{DOC}											

GAC: EBCT > (15) 20-30 min; DOC₀ ≤ 15 mg/L
 GAC-F: EBCT > (15) 20-30 min; 2-3 mol Me/mol P; DOC₀ ≤ 15 mg/L
 PAC+B: t > 5 h; 0.2-0.8 (1.0) g_{Me}/g_{PAC}; DOC₀ ≤ 15 mg/L
 PAC: t > 0.25 h; 0.2-0.8 (1.0) g_{Me}/g_{PAC}; DOC₀ ≤ 15 mg/L
 PAC-F: t > 0.25 h; 0.1-0.5 g_{Me}/g_{PAC}; DOC₀ ≤ 15 mg/L
 (F+)O₃(+F): t > 0.1-0.5 min; DOC₀ ≤ 15 mg/L
 O₃+GAC: EBCT > 20-30 min; t > 0.3 h; DOC₀ ≤ 15 mg/L

Source (see studies Table 3):

[1]	1-10, 48	[5]	28-37
[2]	11-16	[6]	38-42
[3]	19-21	[7]	43-49
[4]	22-27	[8]	50-52

c/c₀: 

Fundneider, T., et al. (2018). "Identifying technical synergy effects for organic micro-pollutant removal." Water Practice and Technology 13(1).

Maßnahmenpakete

Kläranlagenbezogene Maßnahmen

betriebstechnisch

z.B. Anpassung/Optimierung der Fällmitteldosierung und -steuerung, Zentratwasserbewirtschaftung

bautechnisch (integriert und nachgeschaltet)

z.B. zur weitergehenden Phosphor-, Feststoff- und Spurenstoffreduktion

Mischwasserbezogene Maßnahmen

z.B. Anpassung der Drosselabflüsse oder Vergrößerung des Rückhaltevolumens zur Frachtreduzierung

Entwässerungsstrukturelle Maßnahmen

z.B. Schließung inkl. Anschluss an benachbarte Anlagen oder Zusammenlegung von Anlagen unbeachtet der Mischwassereinleitungen



Process	CBZ	DCF	CLA	SMX	Bz	IPM	DOC	TSS	sP	pP	Source
GAC											[1]
F-GAC											[2]
PAC+B											[3]
PAC											[4]
PAC-F											[5]
O ₃											[6]
O ₃ +F											[7]
O ₃ +GAC											[8]

GAC: EBCT > (15) 20-30 min; DOC₀ ≤ 15 mg/L
 GAC-F: EBCT > (15) 20-30 min; 2-3 mol Me/mol P; DOC₀ ≤ 15 mg/L
 PAC+B: t > 5 h; 0.2-0.8 (1.0) g_{bw}/g_{pac}; DOC₀ ≤ 15 mg/L
 PAC: t > 0.25 h; 0.2-0.8 (1.0) g_{bw}/g_{pac}; DOC₀ ≤ 15 mg/L
 PAC-F: t > 0.25 h; 0.1-0.5 g_{bw}/g_{pac}; DOC₀ ≤ 15 mg/L
 (F+O₃)+F: t > 0.1-0.5 min; DOC₀ ≤ 15 mg/L
 O₃+GAC: EBCT > 20-30 min; t > 0.3 h; DOC₀ ≤ 15 mg/L

Source (see studies Table 3):

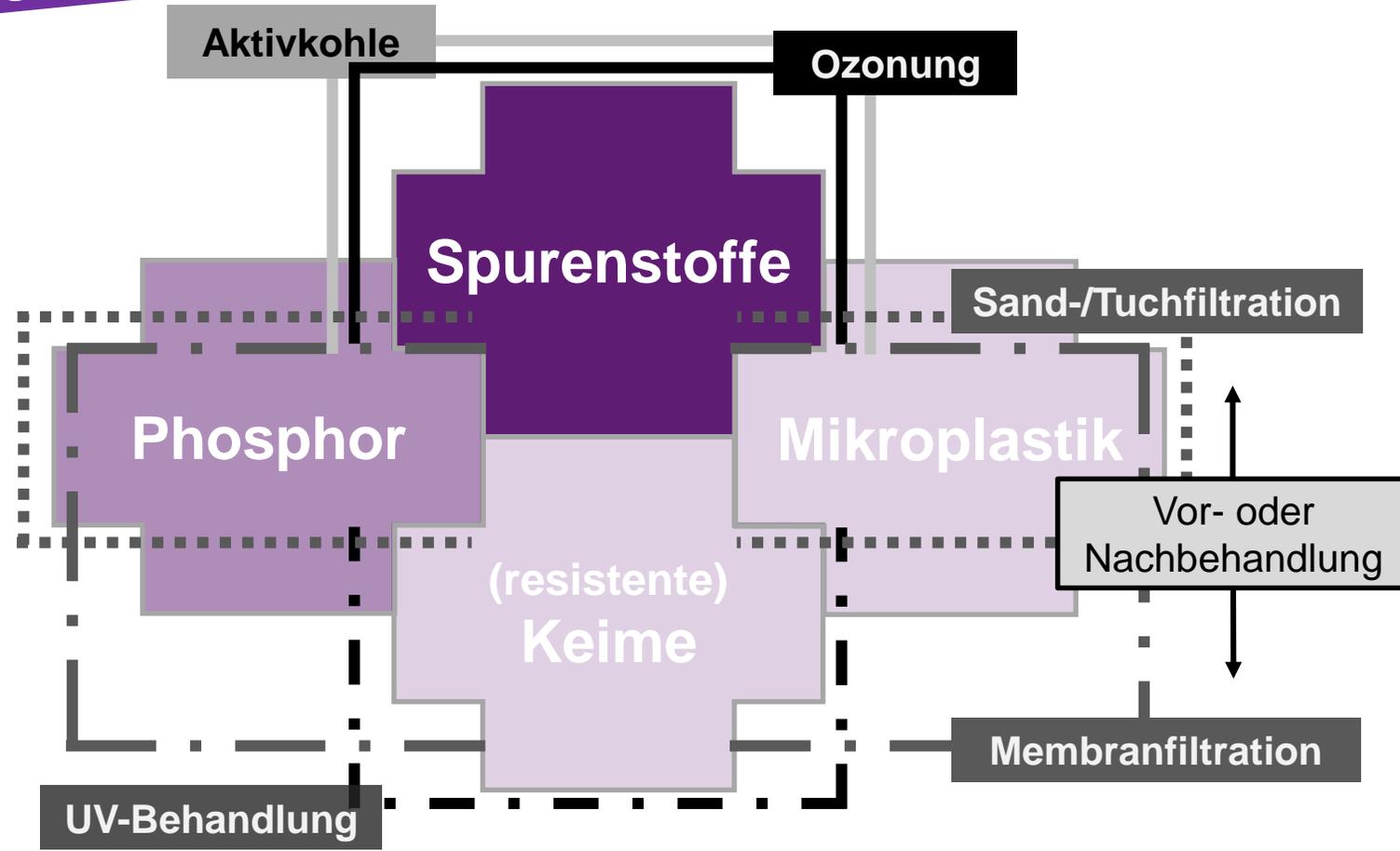
[1]	1-10, 48	[5]	28-37
[2]	11-16	[6]	38-42
[3]	19-21	[7]	43-49
[4]	22-27	[8]	50-52

c/c₀

VERFAHRENSTECHNISCHE LÖSUNGEN

Verfahrenskombination

Reinigungsziel?





„Überprüfung des Reinigungseffekts“



sehr gut oxidierbare/adsorbierbare Substanzen:

a. *Kategorie 1:*

- Amisulprid (CAS-Nr. 71675-85-9),
- Carbamazepin (CAS-Nr. 298-46-4),
- Citalopram (CAS-Nr. 59729-33-8),
- Clarithromycin (CAS-Nr. 81103-11-9),
- Diclofenac (CAS-Nr. 15307-86-5),
- Hydrochlorothiazid (CAS-Nr. 58-93-5),
- Metoprolol (CAS-Nr. 37350-58-6),
- Venlafaxin (CAS-Nr. 93413-69-5);

Verordnung des UVEK
zur Überprüfung des Reinigungseffekts von Massnahmen
zur Elimination von organischen Spurenstoffen bei
Abwasserreinigungsanlagen 814.201.231
vom 3. November 2016 (Stand am 1. Dezember 2016)
Das Eidgenössische Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und
Kommunikation (UVEK)
gestützt auf Anhang 3.1 Ziffer 2 Nummer 8 der Gewässerschutzverordnung
vom 28. Oktober 1998,
verordnet:

gut oxidierbare/adsorbierbare Substanzen:

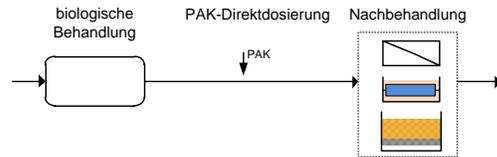
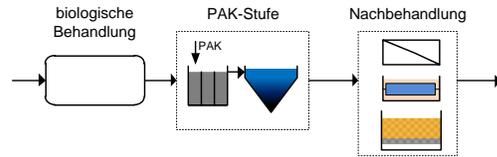
b. *Kategorie 2:*

- Benzotriazol (CAS-Nr. 95-14-7),
- Candesartan (CAS-Nr. 139481-59-7),
- Irbesartan (CAS-Nr. 138402-11-6),
- 4-Methylbenzotriazol (CAS-Nr. 29878-31-7) und 5-Methylbenzotriazol
(CAS-Nr. 136-85-62) als Gemisch.

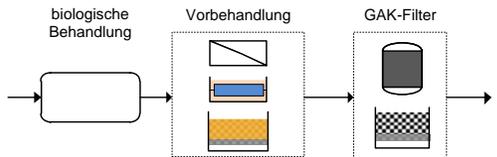
- **Breitbandwirkung**, d.h. Reduktion bzw. Mineralisierung einer Vielzahl von Substanzen
- Verfahren(skombination) soll **keine** problematischen resp. toxischen **Transformationsprodukte** bzw. große Mengen Abfall generieren
- **Integrierbar** in bestehende Verfahrensstrukturen und **Anpassungsfähig** bzgl. neuer Anforderungen, einfache Technologie bzgl. Steuerung- und Regelung
- Effiziente Technologie bzgl. **Kosten & Nutzen** – geringer Betriebsmittelbedarf und Anforderungen an die Infrastruktur für eine effiziente Spurenstoffreduktion

Verfahrensauswahl – Übersicht

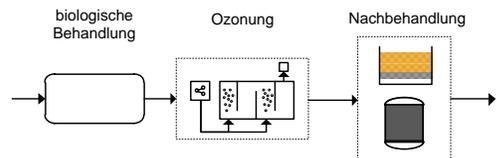
PAK



GAK



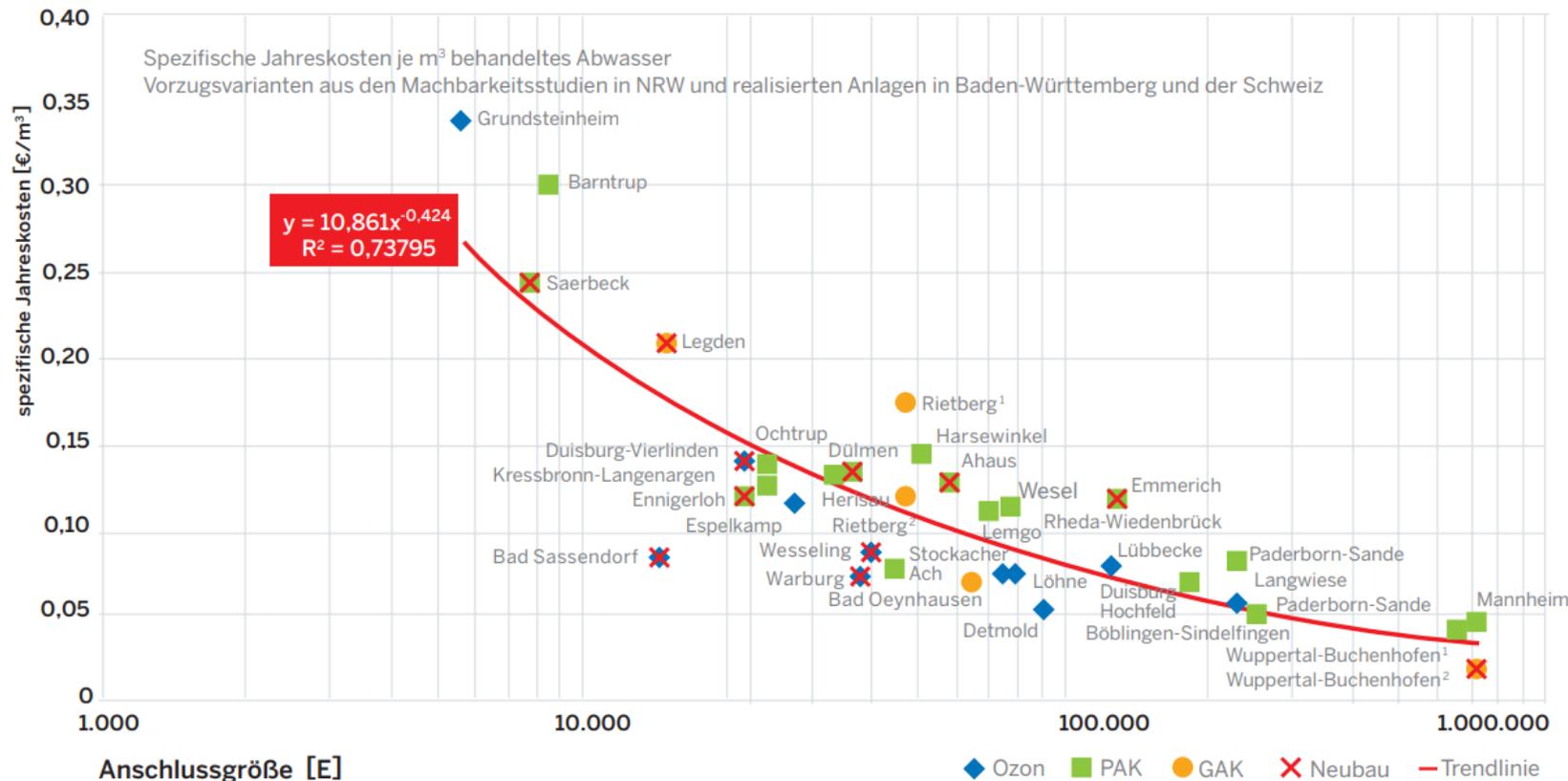
Ozonung



Verfahrenskombination



Spezifische Jahreskosten – Spurenstoffreduktion



Spezifische Jahreskosten abhängig von:

- Infrastruktur
- Abwassercharakteristik
- Verfahren zur Spurenstoffreduktion
- Reinigungsziel

¹ Vorzugsvariante 1 ² Vorzugsvariante 2

Herbst, H., et al. (2016). "Kosten der Elimination von Mikroschadstoffen und mögliche Finanzierungsansätze." *KA – Abwasser, Abfall* 2(63): 124 - 130.

Implementierung von Maßnahmen – Detailgebiet „Usa“



Kläranlagenbezogenen Maßnahmen

& Entwässerungsstrukturelle Maßnahmen

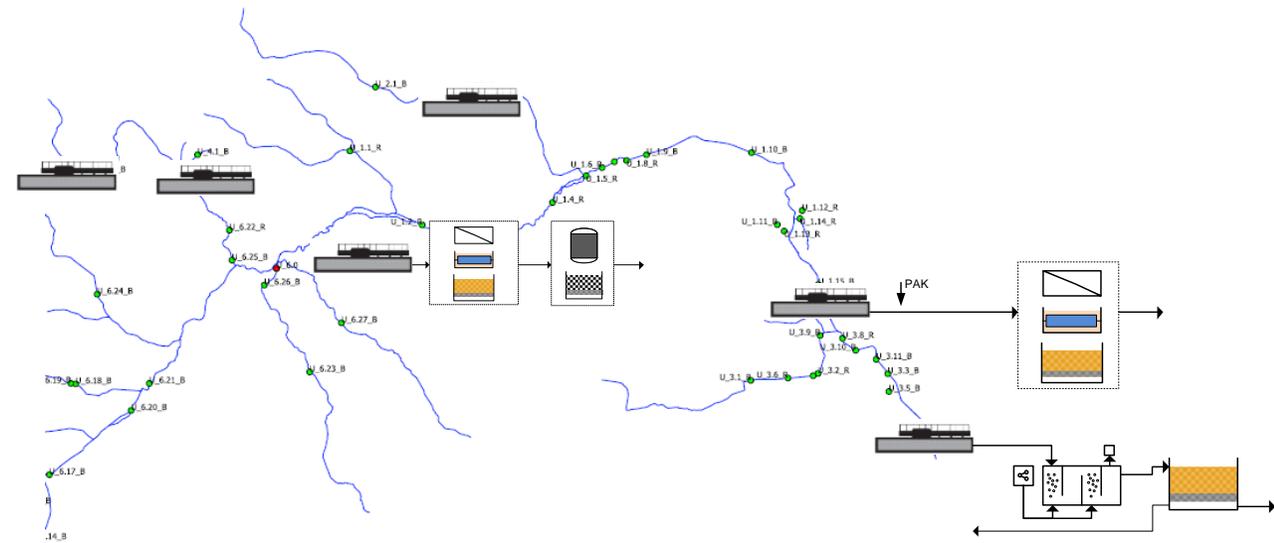
& Mischwasserbezogene Maßnahmen

DG	Kläranlage	NH ₄ -N	NO ₃ -N	PO ₄ -P	P _{org} -P	CBZ	DCF	Maßnahme(n)
								[1a]
								[1a]
								[1b]
Usingen/ Kramsberg (*)		> 90	< 40 - 50			> 90	> 90	[2], [3a]

Maßnahmenkatalog KA
Maßnahmenkatalog MWE

Horloß	Maßnahmenkennung	Systemanpassung	Bauwerkstyp	Maßnahme(n)	
Usa	Maibach	-	-	-	
	Fauerbach	-	-	-	
	Usingen/ Kramsberg	B 06 – DLB H (1,2)	Neubau RBF (4.000 m³)	Durchlaufbecken	[1]
		B 07 – DLB H (1,2)	Neubau RBF (3.500 m³)	Durchlaufbecken	[1]
		B 09 – SKO H (1,2)	V 450 m³ → 2.500 m³	Stauraumkanal	[2]
		B 12 – DLB H (1,2)	Neubau RBF (3.500 m³)	Durchlaufbecken	[1]
		B 03 – DLB H (3)	Vol. 260 m³ → 1.000 m³	Durchlaufbecken	[2]
	Bad Nauheim	B 05 – DLB H (3)	Vol. 1.200 m³ → 2.500 m³	Durchlaufbecken	[2]
		B4A – SKO H (1)	Neubau RBF (3.000 m³)	Stauraumkanal	[1]
		B 5A – SKO H (1)	Vol. 192 m³ → 245 m³	Stauraumkanal	[2]
	Friedberg	B 5B – SKU – H (1)	Neubau RBF (2.500 m³)	Stauraumkanal	[1]
		B_LOCK – B01 – FGB H (2)	Vol. 400 m³ → 2.500 m³	Fangbecken	[2]
R_FB-R04 – RUE (2)		Vol. 0 m³ → 1.500 m³	Regenüberlauf	[2]	
B_FB-B03 – SKU H (2)		Vol. 141 m³ → 1.000 m³	Stauraumkanal	[2]	
B_FB-B05 – SKU H (1,2)		Neubau RBF (2.000 m³)	Stauraumkanal	[1]	
Friedberg	B_FB-B08 – DLB N (1)	Neubau RBF (1.500 m³)	Durchlaufbecken	[1]	
	B 57 – FGB N (1,2)	Neubau RBF (5.800 m³)	Fangbecken	[1]	

Bemerkung: (1) Überschreitung der maximalen Anzahl von 50 und Dauer von 20 h pro % Jahr
 (2) Überschreitung der maximalen spezifischen CSB-Fracht von 250 kg/(twa·Jahr)
 (3) Anpassungen sind aufgrund der systeminternen Beziehungen der Bauwerke untereinander notwendig, um eine lokale Gesamtoptimierung zu erreichen.
 [1] Nachschaltung eines Retentionsbodenfilters (RBF)
 [2] Schaffung von zusätzlichem Speichervolumen bzw. neuem Speichervolumen (bei RUE)



Wirkungsabschätzung von Maßnahmen - Phosphor

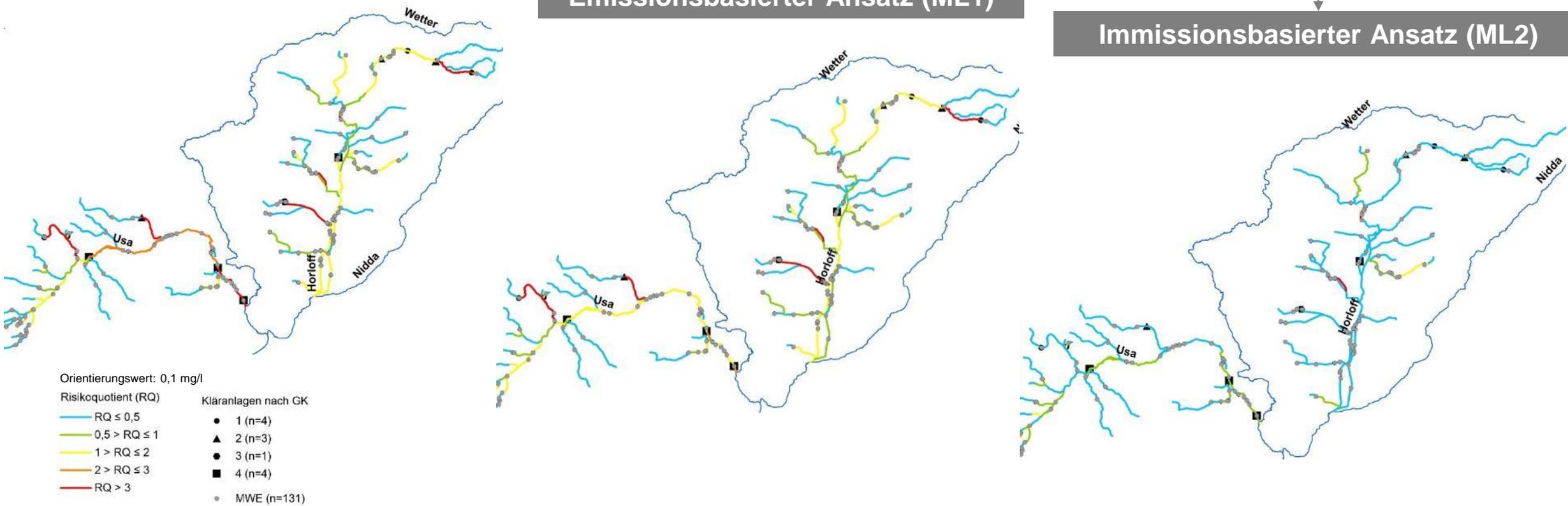


Status quo

unter Berücksichtigung von Kläranlagen und Mischwasserentlastungen

Emissionsbasierter Ansatz (ML1)

Immissionsbasierter Ansatz (ML2)



Modellierungsergebnisse KIT - Beispiel für Phosphor (Datenbasis: 2011 – 2015)

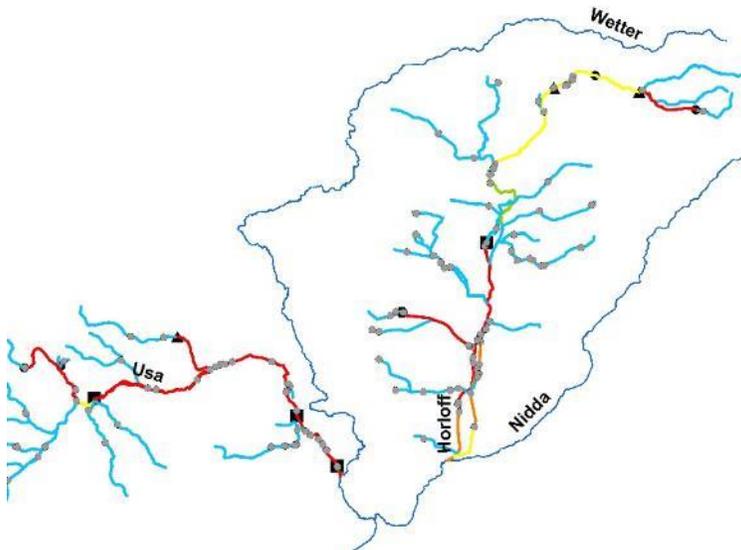
Wirkungsabschätzung von Maßnahmen - Diclofenac

Status quo

unter Berücksichtigung von Kläranlagen und Mischwasserentlastungen

Emissionsbasierter Ansatz (ML1)

Immissionsbasierter Ansatz (ML2)



Orientierungswert: 0,05 µg/l

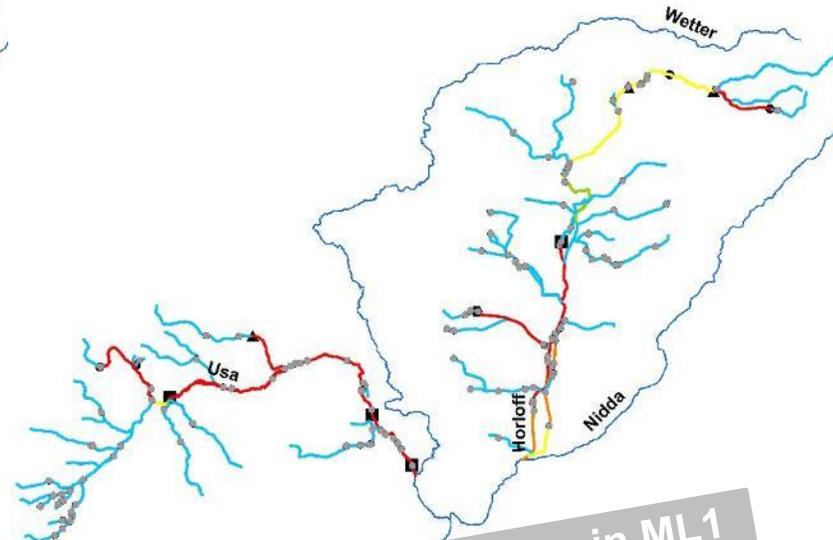
Risikoquotient (RQ)

- RQ ≤ 0,5
- 0,5 > RQ ≤ 1
- 1 > RQ ≤ 2
- 2 > RQ ≤ 3
- RQ > 3

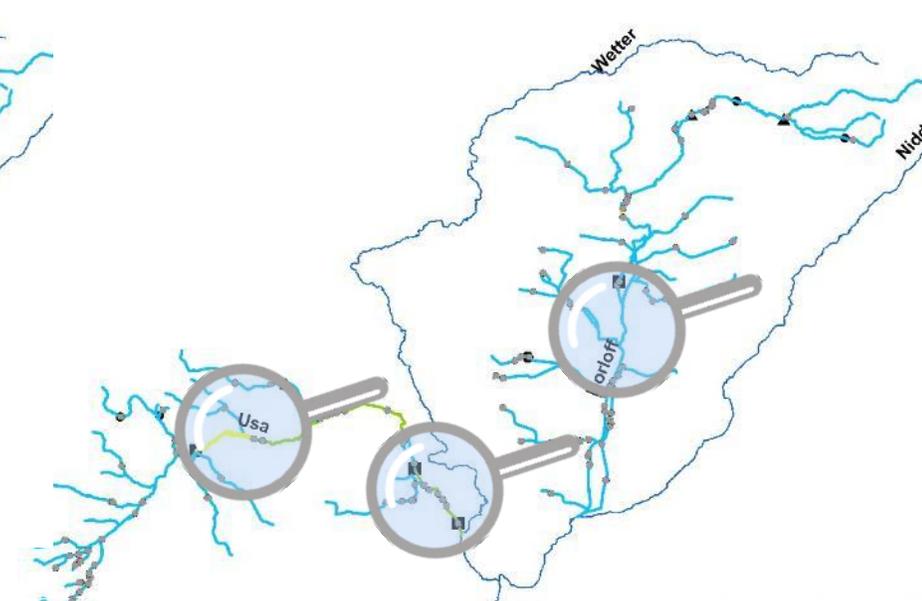
Kläranlagen nach GK

- 1 (n=4)
- ▲ 2 (n=3)
- 3 (n=1)
- 4 (n=4)
- MWE (n=131)

Modellierungsergebnisse KIT - Beispiel für Diclofenac (Datenbasis: 2011 – 2015)



keine spez. Maßnahmen in ML1



Reduktion von Diclofenac bezogen auf den Gewässerzielwert.

- **Spurenstoffe** führen zu ökologischen **Gewässerdefiziten** im Nidda-Einzugsgebiet und tragen zur Verfehlung der **Zielvorgaben der Wasserrahmenrichtlinie** bei
- **Berücksichtigung** von Kläranlagen **aller Größenklassen** sowie **Mischwasserentlastungen** für eine ganzheitliche Betrachtung über ein Flusseinzugsgebiet
- **Reine Frachtreduktion** relevanter Parameter im Sinne der Erreichung einer guten Gewässerqualität für ein gesamtes Flusseinzugsgebiet **nicht zielführend**. Höhere Abwasseranteile im Gewässer **verändern Lebensgemeinschaften**.
- **keine gesetzlichen Reglementierungen** für Spurenstoffreduktion **vorhanden**
- **Anforderungen** beinhalten neben **Spurenstoffen zukünftig** u.a. auch **Mikroplastik** und **Keime**
- **derzeit kein Verfahren für alle „Problemstoffe“ vorhanden**

Weitergehende Abwasserbehandlung mit der „4. Reinigungsstufe“

Phosphor

Spurenstoffe



Mikroplastik

Stickstoff

(resistente) Keime

„4. Reinigungsstufe“ im Kontext eines nachhaltigen Wasserressourcen-Managements



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

6. Juni 2019, Friedberg



Mikroplastik



Keime & Viren



Spurenstoffe



Phosphor

15	30,974
-0,502(3)	2,06
[Ne]3s ² 3p ³	
44 / 281	
P	5, 3, -3
Phosphor	

