

Qualitative Untersuchung von Mischwasserentlastungen in Bayern

Kurzbericht

Karlsruhe, September 2020

Forschungsvorhaben im Auftrag des Bayerischen Landesamtes für Umwelt (LfU)

Nickel, J.P.; Fuchs, S.

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Institut für Wasser und Gewässerentwicklung (IWG)
Fachbereich Siedlungswasserwirtschaft und Wassergütewirtschaft

Kurzzusammenfassung

In einem umfangreichen Monitoringvorhaben wurden über einen Zeitraum von drei Jahren Untersuchungen an Mischwasserentlastungen in Bayern in drei Messkampagnen durchgeführt. An 10 Mischwasserentlastungen (sechs Durchlaufbecken, zwei Fangbecken, zwei Stauraumkanäle) wurden insgesamt 164 Ereignismischproben mit Feststoffsammlern genommen und auf konventionelle Abwasserparameter, sowie 12 Schwermetalle und 34 organische Mikroschadstoffe analysiert. An zwei Durchlaufbecken und einem Fangbecken wurde der Gesamtwirkungsgrad der Mischwasserbehandlung in Bezug auf den Feststoffrückhalt untersucht. Dazu wurden zusätzliche Probenahmestellen im Anlagenzulauf eingerichtet. Weiterhin wurden an insgesamt vier Anlagen (zwei Durchlaufbecken, ein Stauraumkanal, ein Fangbecken) zeitlich aufgelöste Messungen mit automatischen Probenehmern zur Konzentrationsdynamik ausgewählter Parameter während Entlastungsereignissen durchgeführt. Die Messergebnisse erlauben eine verbesserte Einschätzung der aus Mischwasserentlastungen resultierenden stofflichen Belastungen für Einleitgewässer und bilden eine Grundlage für die Maßnahmenplanung im Rahmen der Gewässerbewirtschaftung nach Wasserrahmenrichtlinie. Aus den Daten wurden standortspezifische, sowie für Bayern insgesamt verwendbare, repräsentative Stoffkonzentrationen abgeleitet. Der Erfolg der Mischwasserbehandlung äußert sich in Form hoher Gesamtwirkungsgrade für den Feststoffrückhalt und der Einhaltung zulässiger Frachtausträge (AFS63) an den untersuchten Anlagen. Gleichzeitig wird aus den ermittelten Stoffeinträgen einiger organischer Schadstoffe ersichtlich, dass weitere Maßnahmen sinnvoll sein können. Mischwasserentlastungsabflüsse sind belastet mit schmutzwasserbürtigen sowie von Oberflächen abgespülten Schadstoffen und tragen relevante Frachtanteile zur Gesamtemission von Schwermetallen, PAK und Phosphor bei.

Abstract

Investigations of combined sewer overflows (CSO) in Bavaria were carried out over a period of three years. At 10 CSO, including six sedimentation tanks, two first flush retention tanks and two sewers with extended storage capacity, a total of 164 event composite samples were taken using large volume samplers and analysed for conventional water quality parameters as well as 12 heavy metals and 34 organic micropollutants. The solids retention efficiency of combined sewage treatment was investigated in three CSO tanks. For this purpose, additional sampling points were installed in the tank inlets. Furthermore, time-resolved measurements with automatic samplers were carried out in four tanks to investigate the concentration dynamics of selected parameters during overflow events. The results allow for an improved assessment of the pollutant loads discharged by CSO into receiving waters and serve as a basis for planning surface water management measures according to the Water Framework Directive. From the data, site-specific concentrations as well as concentrations representative of Bavaria were derived. The success of combined sewage treatment is reflected by high overall solids retention efficiencies and compliance with permissible load discharge rates (solids < 63 μm) of the plants investigated. At the same time, the results for some organic pollutants indicate that further measures can be reasonable. CSO are polluted with both pollutants transported by wastewater and pollutants washed off surfaces by stormwater. They contribute relevant shares to the total emission of heavy metals, polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH), and phosphorus.

Inhaltsverzeichnis

Kurzzusammenfassung	1
Abstract.....	1
1 Hintergrund und Zielsetzung	4
2 Vorgehen und Methoden.....	4
3 Zusammenfassung der Ergebnisse	7
3.1 Abflussmessung an Mischwasserentlastungen.....	7
3.2 Entlastungsaktivität.....	8
3.3 Neue Datengrundlage zur Entlastungsqualität	9
3.4 Relevanz der Stoffeinträge aus Mischwasserentlastungen	14
3.5 Wirksamkeit von Mischwasserbehandlungsanlagen	15
3.6 Konzentrationsdynamik während Entlastungsereignissen	16
3.7 Bezug zum Regelwerk.....	18
4 Schlussfolgerungen.....	18
Referenzen	22

1 Hintergrund und Zielsetzung

Über Mischwasserentlastungen gelangen Zehr-, Nähr- und Schadstoffe in Oberflächengewässer. Auf die Abschätzung der Stoffeinträge in Flussgebieten ausgerichtete Vorhaben unterstreichen übereinstimmend die Bedeutung der Mischwasserüberläufe. Gleichzeitig liegt in qualitativer Hinsicht (Stoffkonzentrationen) eine nur wenig belastbare Datenbasis zu den Gewässereinträgen vor.

Im Auftrag des Bayerischen Landesamtes für Umwelt (LfU) und finanziert durch das Bayerische Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz (StMUV) wurden über einen Zeitraum von drei Jahren umfangreiche Untersuchungen an 10 Mischwasserentlastungen in Bayern durchgeführt. Ziel des Vorhabens war es, den Kenntnisstand in Bezug auf Stoffkonzentrationen in Mischwasserentlastungen und auf die Wirksamkeit von Mischwasserbehandlungsanlagen zu verbessern. Die Untersuchungen wurden auf drei Messkampagnen mit folgenden Fragestellungen verteilt:

- Abschätzung der mittleren Belastung aus Mischwasserentlastungen (Messkampagne M1)
- Wirksamkeit von Mischwasserbehandlungsanlagen (Messkampagne M2)
- Dynamik von Stoffkonzentrationen während Entlastungsereignissen (Messkampagne M3)

Zusätzlich wurden vom Bayerischen Landesamt für Umwelt (LfU) an ausgewählten Mischwasserentlastungsanlagen orientierende Untersuchungen zur mikrobiologisch-hygienischen (fäkalen) Belastung und dem Vorkommen von Antibiotikaresistenzen durchgeführt. Es ist geplant, diese Ergebnisse in einem gesonderten Abschlussbericht des LfU zu veröffentlichen (Müller und Schade 2020). Weiterhin wurden durch die Universität der Bundeswehr München (UniBw) an einer Mischwasserentlastungsanlage orientierende Untersuchungen in Bezug auf Mikroplastik durchgeführt. Diese Ergebnisse werden zu gegebener Zeit von der UniBw veröffentlicht.

2 Vorgehen und Methoden

Für die Untersuchungen wurden 10 Mischwasserentlastungsanlagen ausgewählt, die die Situation in Bayern hinsichtlich der regionalen Verteilung (Topographie, Niederschlag), der Art der Einzugsgebiete (Charakter, Vorentlastungen), der Beckentypen und Speichervolumina möglichst repräsentativ abbilden sollten (Tabelle 2.1, Abbildung 2.1).

Tabelle 2.1: Untersuchte Mischwasserentlastungsanlagen

Anlage	Anordnung	V in m ³	V _s in m ³ /ha ¹⁾	q _{Dr} in l/(s·ha) ¹⁾	Bauart	Einzugsgebiet
DB1	N	168	22,7	1,2	Rechteckbecken, geschlossen	Ländlich geprägte Gemeinde, offene Bebauung, geringe Siedlungsdichte
DB2	N	597	29,9	3,2	Rechteckbecken, geschlossen	Ländlich geprägtes Wohngebiet
DB3	N	3.788	89,1	5,6	2 Rundbecken, offen	Mittelstädtisch
DB4	N	825	13,3	2,1	Rechteckbecken, offen	Kleinstädtisch bis ländlich, Klinik
DB5	N	1.325	16,6	6,3	Rechteckbecken, offen	Mittelstädtisch
DB6	N	5.700	20,8	2,4	Rechteckbecken mit 3 Kammern, geschlossen	Großstädtisch
FB1	N	1.100	53,1	2,9	Rechteckbecken, geschlossen	Ländlich geprägter Ortsteil
FB2	N	457	15,5	1,2	Rechteckbecken, geschlossen	Städtisches Wohngebiet
SK1	H	4.074	95,0	43,0	Stauraumkanal, geschlossen	Großstädtisch
SK2	H	1.456	9,9	2,2	Stauraumkanal, geschlossen	Wohngebiet, mittelständische Unternehmen

DB = Durchlaufbecken, SK = Stauraumkanal, FB = Fangbecken, N = Nebenschluss, H = Hauptschluss, V = Beckenvolumen inkl. Kanalnetzvolumen, V_s = Spezifisches Beckenvolumen (bezogen auf die direkt oder über Regenüberläufe angeschlossene, befestigte Einzugsgebietsfläche A_{E,b,a}), q_{Dr} = Drosselabflussspende.

¹⁾ Anlagen mit V_s > 20 – 30 m³/ha bzw. q_{Dr} > 2,5 – 3 l/(s·ha) weisen einen hohen Anteil indirekt über Vorentlastungen angeschlossener Flächen auf.

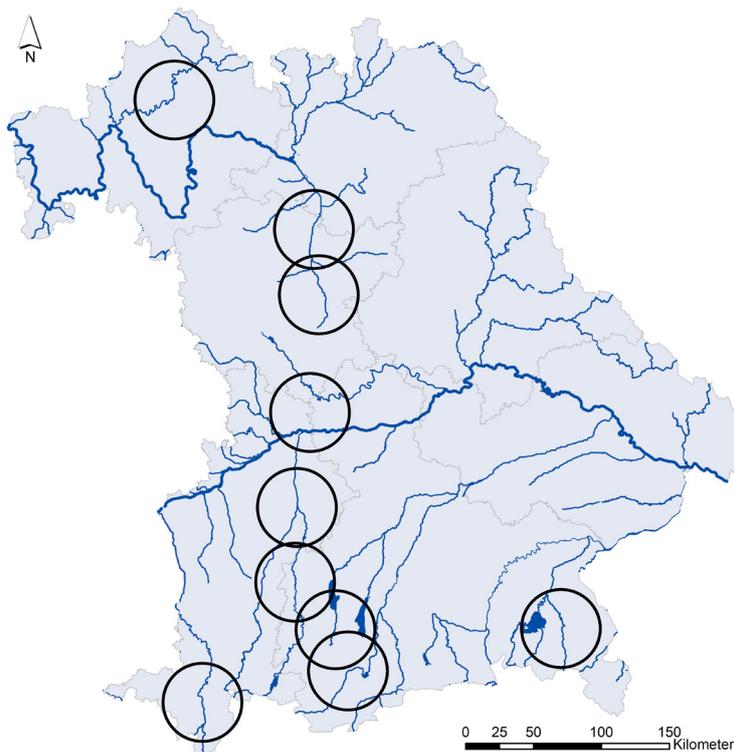


Abbildung 2.1: Lage der untersuchten Mischwasserentlastungsanlagen

In Messkampagne M1 wurden neue Daten zur Entlastungsqualität erhoben. Dazu wurden volumenproportionale Ereignismischproben mit Feststoffsammlern (Abbildung 2.2) an geeigneten Probenahmestellen (z.B. am Überlaufwehr oder im Entlastungsgerinne) genommen. Zur Ansteuerung der Probenahme wurden Abfluss signale vorhandener Wasserstandsmessungen genutzt. Alle Messstellen wurden hinsichtlich der Messgenauigkeit und der Abflussberechnung überprüft. Wo erforderlich, wurden Messgeräte ersetzt oder Korrekturen vorgenommen. Um verschiedene Methoden der Abflussmessung zu vergleichen, wurden an einem Teil der Anlagen zusätzliche Durchflussmessungen mit ultraschallbasierten Fließgeschwindigkeitssensoren im Entlastungskanal eingerichtet.

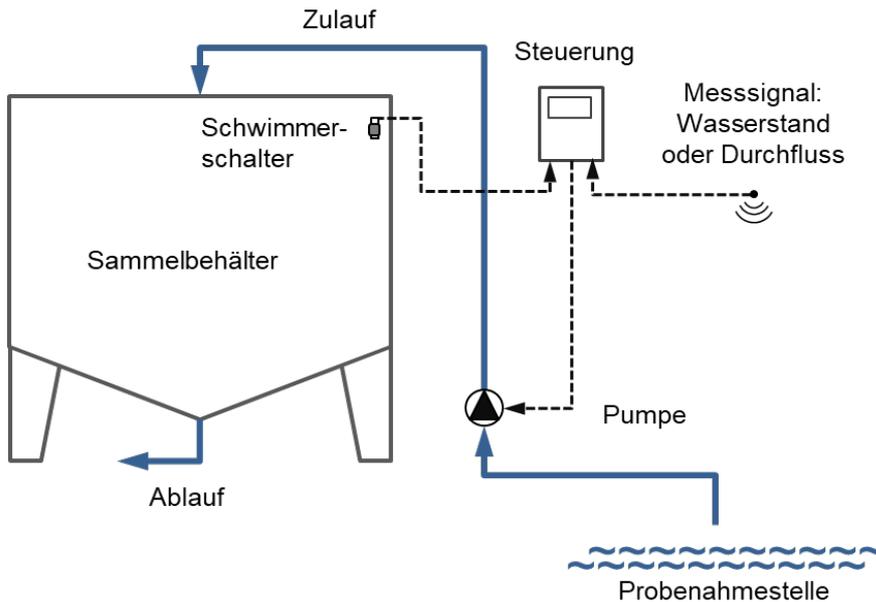


Abbildung 2.2: Schematische Darstellung eines Feststoffsammlers

Nach einem Entlastungsereignis wurde der Inhalt des Sammelbehälters durch Umwälzen mit einer Tauchpumpe homogenisiert und Stichproben entnommen. Die Mischproben wurden schnellstmöglich abgefüllt, gekühlt und zeitnah versandt. Das Analysenspektrum umfasste konventionelle Feststoff-¹, Zehr- und Nährstoffparameter, sowie 12 Schwermetalle und 34 organische Mikroschadstoffe. Die Schadstoffanalytik wurde durch das DVGW Technologiezentrum Wasser (TZW) durchgeführt.

In Messkampagne M2 wurde die Anlagenwirksamkeit von zwei Durchlaufbecken und einem Fangbecken untersucht. Ziel war die realistische Einschätzung des Gesamtwirkungsgrades der ausgewählten Anlagen für den Rückhalt feiner Feststoffe mit Korngrößen $< 63 \mu\text{m}$ (AFS63²). Hierzu wurden ab Einstaubeginn bis Überlaufende die zugeleiteten und die entlasteten Frachten bilanziert. Deren Differenz ergibt den nicht entlasteten Frachtanteil (unmittelbarer Drosselabfluss, Rückhalt, Sedimentation, ggf. Ablagerungen). Die berechneten Gesamtwirkungsgrade der Anlagen beschreiben das Verhältnis von nicht entlastetem Frachtanteil zur zugeleiteten Gesamtfracht. An den

¹ In M1 wurden die abfiltrierbaren Stoffe $< 63 \mu\text{m}$ (AFS63) nach Abtrennung der Feststoffe $> 2 \text{ mm}$ und Homogenisierung durch Schütteln mittels Nasssiebung über $63 \mu\text{m}$ Maschenweite und Vakuumfiltration über Glasfaserfilter mit einem mittleren Rückhaltevermögen von $0,6 \mu\text{m}$ bestimmt.

² Abweichend von M1 und der in DWA-A 102/BWK-A 3 (Entwurf) festgelegten Begrifflichkeit des Parameters (abfiltrierbare Stoffe mit Korngrößen von $0,45$ bis $63 \mu\text{m}$) erfolgte die Bestimmung in M2 anhand von abgesetzten Feststoffproben durch Nasssiebung, Flockung und anschließender Trocknung. Die Ergebnisse beinhalten daher auch Feststoffe mit Korngrößen $< 0,45 \mu\text{m}$ sowie Salze. Der Massenanteil dieser Inhaltsstoffe $< 0,45 \mu\text{m}$ ist vor dem Hintergrund der bei der labortechnischen Bestimmung von AFS63 aktuell erreichbaren Genauigkeit als marginal einzuordnen.

Durchlaufbecken wurden dazu weitere Feststoffsammler im Anlagenzulauf eingerichtet. Die für M1 durchgeführte Beprobung wurde um die Entnahme abgesetzter Feststoffproben nach einer Sedimentation der Feststoffe im Feststoffsammler erweitert, um möglichst belastbare Daten zu den transportierten Feststofffrachten zu generieren. Die Proben erlaubten zudem eine detailliertere Untersuchung der Beschaffenheit der an den Mischwasserbehandlungsanlagen vorkommenden Feststoffe. Die Frachtbilanz für das Fangbecken erfolgte auf Basis der mit einem automatischen Probenehmer im Zulaufgerinne gemessenen Konzentrationsganglinien.

In Messkampagne M3 wurden an vier ausgewählten Anlagen (zwei Durchlaufbecken, ein Stauraumkanal, ein Fangbecken) zeitlich aufgelöste Messungen zur Konzentrationsdynamik von Fest-, Zehr- und Nährstoffen sowie den Schwermetallen Blei, Kupfer und Zink während Entlastungsereignissen durchgeführt. Die Proben wurden zeitproportional mit automatischen Probenehmern im Überlauf und an zwei Anlagen auch im Zulauf genommen.

3 Zusammenfassung der Ergebnisse

3.1 Abflussmessung an Mischwasserentlastungen

Die Ergebnisse der Messstellenprüfungen zeigen insgesamt eine Vielzahl möglicher Fehlerquellen auf und verdeutlichen den technischen Anspruch der Abflussmessung an Entlastungsbauwerken auf der Basis von Wasserstandsmessungen. Überträgt man die Überprüfungsergebnisse dieses Projektes auf ganz Bayern, ist davon auszugehen, dass an einem nennenswerten Teil der Messstellen Mängel in der Datenqualität bestehen. Wichtige Schritte zu einer Verbesserung der Datenqualität von Abflussmessungen an Entlastungsbauwerken sind die Sensibilisierung von Anlagenbetreibern für die Relevanz der erhobenen Daten und erhöhte Sorgfalt bei der Einrichtung, Prüfung und Wartung von Messstellen, sowie der für die Abflussberechnung hinterlegten mathematischen Funktionen. Die Validität der Abflussdaten kann auch für geprüfte Messstellen nur durch eine kritische Datenauswertung und Plausibilisierung durch den Betreiber sichergestellt werden. Hierfür bedarf es verbindlicher Vorgaben und einer begleitenden, fachlichen Unterstützung der Anlagenbetreiber. Zur Ermöglichung der Datenprüfung und zur Verringerung des Aufwandes sind zukünftig eine zeitliche Mindestauflösung von 1 – 2 Minuten (Baumann et al. 2017), ggf. einheitliche Datenformate sowie uneingeschränkte Zugänglichkeit in der Leitsystem-Software förderlich.

Die Messgenauigkeit der Wasserstandsmessungen ist limitiert. Aus der aktuell als erreichbar und zulässig geltenden Abweichung von ± 2 cm ergaben sich bezogen auf das Entlastungsvolumen an den Anlagen Abweichungen in Größenordnungen von ± 20 % und in einem Fall -36 % bis 73 %. Dies verdeutlicht die Empfindlichkeit dieser Messungen und den zu berücksichtigenden Unsicherheitsbereich. Mit zunehmender Wehrbreite wirken sich konstante Abweichungen der Wasserstandsmessung deutlicher auf den Fehler der berechneten Abflüsse aus. Im Vergleich der aus den Wasserstandsmessungen ermittelten Abflüsse mit durch Fließgeschwindigkeitssensoren („Kanalmaus“) gemessenen Abflüssen zeigten sich Abweichungen. Diese betragen bezogen auf das über

einen Zeitraum von mehr als zwei Jahren summierte Entlastungsvolumen in den untersuchten Fallbeispielen bis zu $\pm 33\%$. Bei geeigneten Strömungsbedingungen war für Bereiche des Abflussspektrums eine gute Übereinstimmung der Abflussdaten erreichbar. Eine generelle Empfehlung für ein zu bevorzugendes Verfahren lässt sich aus den Untersuchungen nicht ableiten. Dennoch ist hervorzuheben, dass die an Entlastungsanlagen vorzufindenden baulichen und hydraulischen Bedingungen häufig für den Einsatz einfacher Wasserstandsmessungen (z.B. an Überfallwehr oder Parabelmesswehr im Entlastungskanal) sprechen. Mit diesen sind, bei geringerem Sachaufwand, vergleichbar aussagekräftige Messergebnisse erreichbar wie mit Fließgeschwindigkeitssensoren im Entlastungskanal.

3.2 Entlastungsaktivität

Im Untersuchungszeitraum wurden insgesamt 1.050 Überlaufereignisse ausgewertet (Tabelle 3.1). Auf ein Jahr gerechnet ergeben sich die in Tabelle 3.2 angegebenen Entlastungskenngrößen. Im Vergleich mit den Summenhäufigkeitsverteilungen von Überlaufdauern und Häufigkeiten nach Baumann et al. (2017) zeigt sich, dass die Entlastungsaktivität der im Projekt untersuchten Anlagen das gesamte Spektrum von „sehr selten“ und „kurz“ bis „sehr häufig“ und „sehr lang“ abdeckt. Die Anlagenauswahl kann zusammengenommen als repräsentativ für die Bandbreite bekannter Entlastungsverhalten eingeordnet werden.

Tabelle 3.1: Zusammenfassung der Entlastungsaktivität der Mischwasserentlastungen im Untersuchungszeitraum

Anlage	Zeitraum	Anzahl	Tage	Dauer in h	Volumen in m ³
DB1	15.02.2017 – 05.12.2019	274	139	708	59.460
DB2	01.01.2017 – 05.12.2019	106	85	274	74.531
DB3	15.11.2016 – 05.12.2019	52	49	223	176.318
DB4	26.04.2017 – 05.12.2019	90	89	420	195.334
DB5	18.05.2018 – 05.12.2019	57	54	> 103 ¹⁾	> 69.222 ¹⁾
DB6	15.11.2016 – 05.12.2019	57	52	164	506.527
FB1	04.04.2017 – 05.12.2019	77	48	105	58.474
FB2	23.02.2017 – 05.12.2019	100	93 ²⁾	312 ²⁾	395.062 ²⁾
SK1	09.11.2016 – 05.12.2019	44	38	144	101.492
SK2	22.03.2017 – 05.12.2019	193	189	841	860.449

¹⁾ Eine vollständige Auswertung der Entlastungsaktivität ist nicht möglich, da für einen Teil der Ereignisse keine validen Messdaten zur Verfügung stehen.

²⁾ Ein Ereignis mit Drosselverstopfung wurde für Summe nicht berücksichtigt.

Tabelle 3.2: Entlastungskenngrößen der Mischwasserentlastungen umgerechnet auf ein Jahr

Anlage	Tage mit Entlastung ¹⁾	Ranking Häufigkeit ²⁾	Überlaufdauer in h/a	Ranking Überlaufdauer ²⁾	Volumen in m ³ /a
SK1	12	sehr selten	47	kurz	33.046
DB6	17	selten	54	kurz	165.814
DB3	16	selten	73	durchschnittlich	57.718
FB1	18	durchschnittlich	39	kurz	21.890
DB5	35	häufig	> 66 ³⁾	durchschnittlich ³⁾	> 44.640 ³⁾
DB2	29	häufig	94	durchschnittlich	25.472
FB2	33	häufig	112	lang	142.067
DB4	34	häufig	161	lang	74.813
DB1	50	sehr häufig	253	lang	21.215
SK2	70	sehr häufig	311	sehr lang	317.878

¹⁾ Für Bayern wird davon ausgegangen, dass die mittlere Entlastungshäufigkeit in einer Größenordnung von etwa 15 bis 25 Tagen pro Jahr liegt. Um sicherzustellen, dass sich die Anzahl der verwertbaren Entlastungsereignisse um diesen Bereich bewegt, wurden bewusst auch Becken mit höheren durchschnittlichen Entlastungsaktivitäten ausgewählt.

²⁾ Vergleich mit Summenhäufigkeitsverteilungen von Häufigkeit und Überlaufdauer aus Baumann et al. (2017).

³⁾ Eine vollständige Auswertung der Entlastungsaktivität ist nicht möglich, da für einen Teil der Ereignisse keine validen Messdaten zur Verfügung stehen.

3.3 Neue Datengrundlage zur Entlastungsqualität

In der Messkampagne zur Entlastungsqualität (M1) wurden über einen Zeitraum von drei Jahren an 10 Mischwasserentlastungen insgesamt 164 Ereignismischproben mit Feststoffsammlern genommen und auf konventionelle Abwasserparameter, sowie 12 Schwermetalle und 34 organische Mikroschadstoffe analysiert. Der entstandene Datensatz zeichnet sich aus durch

- den großen Umfang der mit einheitlicher Probenahmetechnik und Analytik untersuchten Anlagen und Ereignisse,
- die Abdeckung saisonaler Variabilität,
- die Repräsentativität der beprobten Ereignisse für das Entlastungsgeschehen im Untersuchungszeitraum (mit leichter Tendenz zur Erfassung eher großvolumiger, längerer und intensiverer Ereignisse),
- die nahezu vollständige Erfassung von Ereignissen (≥ 80 Volumenprozent) in 84 % der Proben,
- hohe Anteile verwertbarer Proben nach Qualitätsprüfung,
- hohe Anteile von Werten über der Bestimmungsgrenze durch eine ausreichende Sensitivität der Analytik bis in Konzentrationsbereiche unterhalb der Umweltqualitätsnormen,
- die Konsistenz mit unter vergleichbaren Rahmenbedingungen erhobenen Literaturdaten.

Die Messergebnisse erlauben eine deutlich verbesserte Einschätzung der aus Mischwasserentlastungen resultierenden stofflichen Belastungen für Einleitgewässer und bilden eine Grundlage für die Maßnahmenplanung im Rahmen der Gewässerbewirtschaftung nach Wasserrahmenrichtlinie (WRRL).

Tabelle 3.3 zeigt die statistischen Kennwerte aller an den 10 Anlagen erhobenen Daten. Diese geben einen Überblick über die Streuung und Verteilung der Konzentrationen.

Tabelle 3.3: Statistische Kennwerte der an 10 Mischwasserentlastungen in Bayern gemessenen Stoffkonzentrationen. Werte unter Bestimmungsgrenze (BG) wurden für die Median- und Mittelwertbildung mit BG/2 berücksichtigt.

Parameter	Einheit	n	Anteil > BG	Min	25 %	Median (50%)	Mittel	75 %	Max	RSD
Feststoffe und Glühverlust										
AFS63	mg/l	156	0,92	5,2 ¹⁾	19	34	51	68	440	1,1
AFSgrob	mg/l	156	0,96	1,1 ¹⁾	11	20	25	30	120	0,84
AFSges	mg/l	156	0,99	6 ¹⁾	35	50	74	96	490	0,94
GV _{AFS63}	%	152		13	44	58	56	67	97	0,29
GV _{AFSgrob}	%	89		32	55	67	67	78	94	0,21
Konventionelle Abwasserparameter										
pH	-	155		6	6,5	6,7	6,7	6,9	7,5	0,039
LF	µS/cm	155		77	130	180	210	250	1.300	0,63
Cl ⁻	mg/l	68	0,94	< 5	7,8	11	31	19	640	2,8
CSB	mg/l	156	1	12	37	62	71	86	310	0,65
TNb	mg/l	156	1	1,9	4,5	6,1	6,7	8,2	23	0,45
TP	mg/l	155	1	0,28	0,66	0,98	1,1	1,3	3	0,5
PO ₄ -P	mg/l	156	0,99	< 0,05	0,3	0,43	0,53	0,68	1,7	0,6
Schwermetalle										
Fe	µg/l	145	1	170	600	920	1.400	1.600	19.000	1,3
Zn	µg/l	145	1	28	91	130	160	170	1.600	1,1
Cu	µg/l	145	1	9,3	28	37	45	50	310	0,75
Ni	µg/l	145	1	0,24	1,6	2,5	3,7	4,5	30	1,1
Pb	µg/l	145	1	0,55	2,1	3,4	4,9	5,3	44	1
Cr	µg/l	145	1	0,91	2,6	4,1	5,5	6	44	1
Hg	µg/l	145	1	0,002	0,008	0,012	0,017	0,019	0,08	0,78
Cd	µg/l	145	1	0,018	0,049	0,063	0,1	0,1	2,5	2,1
Bi	µg/l	137	1	0,04	0,19	0,32	0,38	0,52	1,5	0,67
Mo	µg/l	137	1	0,1	0,45	0,67	1	1	8,9	1,2
Sb	µg/l	137	1	0,11	0,42	0,73	0,89	1,1	5,3	0,8
Sn	µg/l	137	1	0,27	1,2	1,9	2,6	3,4	17	0,93
Pestizide / Biozide										
CZIM	µg/l	145	0,63	< 0,01	< 0,01	0,013	0,018	0,023	0,078	0,92
ATR	µg/l	145	0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,045	0,63
DIU	µg/l	145	0,44	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,024	0,2	1,4
ISO	µg/l	145	0,39	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,019	0,17	1,5
MET	µg/l	145	0,23	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	1,5	4,5
MCPP	µg/l	145	0,82	< 0,01	0,012	0,021	0,039	0,044	0,45	1,4
TBA	µg/l	145	0,33	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,026	6,7	5,5
TBY	µg/l	145	0,79	< 0,01	0,011	0,022	0,027	0,036	0,099	0,79
TCS	µg/l	145	0,66	< 0,01	< 0,01	0,015	0,026	0,032	0,23	1,2

Parameter	Einheit	n	Anteil > BG	Min	25 %	Median (50%)	Mittel	75 %	Max	RSD
Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)										
NAP	µg/l	145	0,81	< 0,01	0,013	0,021	0,028	0,029	0,46	1,5
ACY	µg/l	145	0,99	< 0,001	0,012	0,016	0,018	0,021	0,099	0,61
ACN	µg/l	145	0,99	< 0,001	0,004	0,007	0,011	0,012	0,17	1,5
FL	µg/l	145	1	0,0013	0,0043	0,0069	0,0093	0,011	0,095	1,1
PHE	µg/l	145	1	0,0038	0,028	0,045	0,062	0,073	0,66	1,1
ANT	µg/l	145	0,97	< 0,001	0,0029	0,0054	0,0087	0,0089	0,13	1,5
Fluo	µg/l	145	1	0,012	0,041	0,064	0,096	0,11	1,1	1,2
Pyr	µg/l	145	1	0,012	0,038	0,057	0,081	0,1	0,82	1
BaA	µg/l	145	1	0,0016	0,012	0,019	0,033	0,037	0,47	1,4
Chr	µg/l	145	1	0,0035	0,02	0,038	0,056	0,064	0,71	1,3
BbF	µg/l	145	1	0,0018	0,014	0,028	0,043	0,052	0,52	1,3
BkF	µg/l	145	0,99	< 0,001	0,0064	0,013	0,02	0,023	0,26	1,4
BaP	µg/l	145	1	0,001	0,011	0,02	0,033	0,039	0,44	1,4
IP	µg/l	145	1	0,0009	0,0099	0,02	0,034	0,043	0,52	1,5
DahA	µg/l	145	0,88	< 0,001	0,0018	0,004	0,0071	0,0088	0,12	1,6
BghiP	µg/l	145	1	0,0013	0,012	0,022	0,036	0,045	0,46	1,3
PAK16	µg/l	145	1	0,064	0,25	0,4	0,58	0,63	6,5	1,1
Pharmazeutika										
MPL	µg/l	145	0,99	< 0,01	0,068	0,11	0,14	0,18	0,6	0,74
CBZ	µg/l	145	0,84	< 0,01	0,02	0,049	0,073	0,098	0,42	1
DCF	µg/l	145	1	0,036	0,11	0,22	0,25	0,33	1,2	0,69
Benzotriazole										
BTR	µg/l	145	1	0,11	0,61	1,1	1,5	2,2	10	0,83
4MBT	µg/l	145	1	0,013	0,098	0,17	0,25	0,35	1,7	0,99
5MBT	µg/l	145	1	0,021	0,11	0,19	0,23	0,36	1,4	0,78
Weitere Stoffe										
MKW ²⁾	mg/l	145	0,81	< 0,1	0,12	0,22	0,3	0,41	1,3	0,76
DEHP	µg/l	145	1	0,22	1	1,8	2,5	3,2	11	0,83
ACE	µg/l	145	1	0,77	1,5	2,3	2,7	3,7	11	0,57

BG = Bestimmungsgrenze, RSD = Relative Standardabweichung

AFSges = Abfiltrierbare Stoffe gesamt (< 2 mm), AFS63 = Abfiltrierbare Stoffe < 63 µm, AFSgrob = Abfiltrierbare Stoffe 63 – 2000 µm, GV_{AFS63} = Glühverlust der abfiltrierbaren Stoffe < 63 µm, GV_{AFSgrob} = Glühverlust der abfiltrierbaren Stoffe 63 – 2000 µm, pH = pH-Wert, LF = Leitfähigkeit, Cl⁻ = Chlorid, CSB = Chemischer Sauerstoffbedarf, TNb = Stickstoff gebunden gesamt, TP = Phosphor gesamt, PO₄-P = ortho-Phosphat-Phosphor, Fe = Eisen, Zn = Zink, Cu = Kupfer, Ni = Nickel, Pb = Blei, Cr = Chrom, Hg = Quecksilber, Cd = Cadmium, Bi = Bismut, Mo = Molybdän, Sb = Antimon, Sn = Zinn, NAP = Naphthalin, ACN = Acenaphthen, ACY = Acenaphthylen, FL = Fluoren, ANT = Anthracen, PHE = Phenanthren, Pyr = Pyren, Fluo = Fluoranthen, BaA = Benzo(a)anthracen, BbF = Benzo(b)fluoranthen, Chr = Chrysen, BaP = Benzo(a)pyren, BkF = Benzo(k)fluoranthen, BghiP = Benzo(ghi)perylen, IP = Indeno(1,2,3-cd)pyren, DahA = Dibenz(ah)anthracen, PAK16 = Summe der 16 EPA-PAK, MPL = Metoprolol, CBZ = Carbamazepin, DCF = Diclofenac, CZIM = Carbendazim, ATR = Atrazin, DIU = Diuron, ISO = Isoproturon, MET = Metolachlor, MCPP = Mecoprop, TBA = Terbutylazin, TBY = Terbutryn, TCS = Triclosan, BTR = Benzotriazol, 4MBT = 4-Methylbenzotriazol, 5MBT = 5-Methylbenzotriazol, MKW = Mineralölkohlenwasserstoffe, DEHP = Di(2-ethylhexyl)phthalat, ACE = Acesulfam.

¹⁾ Maßgebend für die Bestimmungsgrenze der abfiltrierbaren Stoffe ist die Trockenmasse auf dem Filter. Daher ergibt sich je nach filtriertem Volumen eine andere Bestimmungsgrenze. AFS-Konzentrationen unter Bestimmungsgrenze wurden nicht ersetzt, sondern weiterverwendet. Weil AFSges, AFSgrob und AFS63 in einer Probe bestimmt wurden, konnte ein Ergebnis unter Bestimmungsgrenze anhand der beiden anderen Ergebnisse verifiziert werden.

²⁾ Für Analysen ab August 2017 konnte die Bestimmungsgrenze für MKW von 0,2 auf 0,1 mg/l gesenkt werden.

Aus den Daten wurden repräsentative Stoffkonzentrationen abgeleitet, die in Bayern für zukünftige Auswertungen verwendbar sind. Um alle Anlagen trotz unterschiedlicher Anzahl von Proben gleich zu gewichten, wurden zunächst standortbezogene Mediane und volumengewichtete Mittelwerte gebildet. Diese wurden zu den Konzentrationen in Tabelle 3.4 zusammengefasst. Zur Beschreibung typischerweise auftretender Konzentrationen dient der Median aus Standortmediane. Zur Verwendung für Frachtabeschätzungen wird der Median aus volumengewichteten Mittelwerten empfohlen, da diese großvolumige Ereignisse stärker gewichten und damit tendenziell bessere Abschätzungen ermöglichen.

Tabelle 3.4: Zusammengefasste mediane und volumengewichtete, für zukünftige Auswertungen in Bayern verwendbare Entlastungskonzentrationen

Parameter	Einheit	Median aus		Parameter	Einheit	Median aus	
		Standort- mediane (n=10)	Volumen- gewichtete Mittelwerte (n=10)			Standort- mediane (n=10)	Volumen- gewichtete Mittelwerte (n=10)
Feststoffe				PAK			
AFS63	mg/l	32	46	NAP	µg/l	0,022	0,023
AFSges	mg/l	50	64	ACY	µg/l	0,016	0,017
Konventionelle Abwasserparameter				ACN	µg/l	0,007	0,010
CSB	mg/l	60	62	FL	µg/l	0,007	0,008
TNb	mg/l	6,4	7,0	PHE	µg/l	0,045	0,054
TP	mg/l	0,97	0,92	ANT	µg/l	0,006	0,007
PO ₄ -P	mg/l	0,42	0,48	Fluo	µg/l	0,066	0,077
Schwermetalle				Pyr	µg/l	0,055	0,066
Fe	µg/l	960	1.400	BaA	µg/l	0,021	0,026
Zn	µg/l	120	140	Chr	µg/l	0,036	0,04
Cu	µg/l	35	38	BbF	µg/l	0,027	0,028
Ni	µg/l	2,6	3,0	BkF	µg/l	0,012	0,013
Pb	µg/l	3,4	4,0	BaP	µg/l	0,022	0,023
Cr	µg/l	4,1	5,1	IP	µg/l	0,02	0,02
Hg	µg/l	0,011	0,014	DahA	µg/l	0,004	0,005
Cd	µg/l	0,059	0,07	BghiP	µg/l	0,023	0,022
Bi	µg/l	0,32	0,38	PAK16	µg/l	0,42	0,45
Mo	µg/l	0,6	0,69	Pharmazeutika			
Sb	µg/l	0,75	0,78	MPL	µg/l	0,12	0,12
Sn	µg/l	1,8	2,4	CBZ	µg/l	0,049	0,068
Pestizide / Biozide				DCF	µg/l	0,22	0,25
CZIM	µg/l	0,014	0,016	Benzotriazole			
ATR	µg/l	< 0,01	-	BTR	µg/l	1,2	1,4
DIU	µg/l	< 0,01	-	4MBT	µg/l	0,16	0,22
ISO	µg/l	< 0,01	-	5MBT	µg/l	0,18	0,22
MET	µg/l	< 0,01	-	Weitere Stoffe			
MCPP	µg/l	0,022	0,034	MKW	mg/l	0,22	0,26
TBA	µg/l	< 0,01	-	DEHP	µg/l	2,1	2,5
TBY	µg/l	0,022	0,024	ACE	µg/l	2,6	2,8
TCS	µg/l	0,016	0,023				

Abkürzungen: siehe Tabelle 3.3.

Auf Basis der im Untersuchungszeitraum gemessenen Entlastungsvolumina wurden außerdem mittlere flächenspezifische Jahresfrachten berechnet. Diese können genutzt werden, um Oberflächenpotentiale für weitergehende Stoffeintragsmodellierungen abzuleiten. Über mehrere Jahre gemittelte Entlastungsvolumina aus vorliegenden Schmutzfrachtberechnungen sowie vereinfachten hydrologischen Modellen wichen signifikant von den Messdaten ab. Hierbei wurde deutlich, dass die üblicherweise zur Bemessung verwendeten, nicht kalibrierten Schmutzfrachtmodelle in ihrer Anwendung auf Relativvergleiche von Varianten unter Berücksichtigung langjähriger Niederschlagsdaten begrenzt sind. Eine verlässliche Ermittlung der tatsächlichen Entlastungsmengen war trotz bestehender Messunsicherheiten nur auf Grundlage von Messungen möglich.

In der räumlichen (zwischen den Standorten) und zeitlichen Variabilität (zwischen den Ereignissen) der Entlastungskonzentrationen sind für bestimmte Stoffgruppen Muster erkennbar. Die Variabilität (Streuung) ubiquitärer, mit dem Oberflächenabfluss partikulär transportierter Stoffe, wie Schwermetalle und PAK, ist stärker durch Unterschiede zwischen den Ereignissen als durch Unterschiede zwischen den Standorten geprägt. Im Gegensatz dazu ist für einzelne Stoffe wie die Biozide Carbendazim und Terbutryn sowie die Pharmazeutika Carbamazepin und Metopropolol ein standortspezifischeres Aufkommen festzustellen. Dies verdeutlicht, dass die Eintragspfade und das Umweltverhalten von Schadstoffen insbesondere bei der Diskussion von Maßnahmen zu berücksichtigen sind.

Als Ansätze zur Erklärung der Variabilität der Entlastungskonzentrationen wurden Arbeitshypothesen aufgestellt. Zusammenfassend waren für den Großteil der Einzugsgebietsmerkmale keine einfachen Zusammenhänge mit den Entlastungskonzentrationen erkennbar. Ursächlich hierfür ist die hohe Komplexität der die Abflussqualität bestimmenden Prozesse in den Einzugsgebieten und die Überlagerung unterschiedlicher, teils gegenläufiger Effekte. In Bezug auf den Transport und die Retention von Schadstoffen in Gebieten und Kanalnetzen besteht weiterhin Forschungsbedarf. Dennoch ergaben die Auswertungen zur Einwohnerdichte und zur Urbanisierung deutliche Indizien für stoffgruppenübergreifend höhere Entlastungskonzentrationen in städtischen Gebieten. Für Stoffe, bei denen signifikante Unterschiede zwischen Gebieten innerhalb und außerhalb von Verdichtungsräumen festgestellt wurden, wurden nach diesem Merkmal differenzierte Konzentrationen ausgewiesen. Für die landesweite Quantifizierung von Stoffeinträgen ist die Verwendung einheitlicher, repräsentativer Entlastungskonzentrationen zu empfehlen (Tabelle 3.4). Die differenzierten Konzentrationsangaben können für Detailanalysen hilfreich sein und genutzt werden, um Frachtabuschätzungen zu verbessern, wenn eine entsprechende Zuordnung von Flächen oder Mischwasserentlastungen zu Verdichtungsräumen erfolgt.

Saisonale Einflüsse wurden für ein im Rasen- und Zierpflanzenbau sowie zwei im Ackerbau eingesetzte Herbizide festgestellt, deren Applikationszeiträume sich in den Entlastungskonzentrationen abbildeten. Weiterhin waren für Chlorid in den Wintermonaten (Streusalzsaison) erwartungsgemäß erhöhte Konzentrationen festzustellen.

3.4 Relevanz der Stoffeinträge aus Mischwasserentlastungen

Zur Abschätzung der Stoffeinträge aus urbanen Eintragspfaden für Bayern wurde die urbane Wasserbilanz aus dem Stoffeintragsmodell MoRE (Modeling of Regionalized Emissions) herangezogen (Fuchs et al. 2017; Fuchs et al. 2018). Um mittlere Bedingungen darzustellen, wurden die Ergebnisse von 11 Einzeljahren (2006 – 2016) gemittelt. Das Gesamtabflussvolumen aus den urbanen Eintragspfaden betrug $2,26 \cdot 10^9 \text{ m}^3/\text{a}$ und setzte sich zu 74,3 % aus kommunalen Kläranlagen, 14,2 % aus Regenwassereinleitungen und 11,5 % aus Mischwasserüberläufen zusammen. Unter Verwendung des Medians der volumengewichteten Mittelwerte (Tabelle 3.4) wurden die Stoffeinträge aus Mischwasserentlastungen berechnet. Zur Berechnung der Einträge über Kläranlagenabläufe und Regenwassereinleitungen wurden Daten aus dem deutschlandweiten Kläranlagenmonitoring herangezogen (Fuchs et al. 2020a; Fuchs et al. 2020b). Für die Kläranlagenablaufkonzentration wurde ein Median aus bis zu 1.000 Einzelwerten (7-Tages-Mischproben) von 49 Kläranlagen verwendet. Da die Datenbasis für CSB und die Nährstoffe geringer war, wurden für die Abschätzung dieser Einträge mittlere Ablaufkonzentrationen in Bayern aus dem DWA-Leistungsvergleich herangezogen (DWA 2019). Für AFS wurde eine Konzentration von 10 mg/l angenommen. Für die Regenwassereinleitungen wurde ein Median aus volumengewichteten Standortmittelwerten verwendet. Dieser basierte auf 18 volumenproportionalen Ereignismischproben von 2 Regenklärbecken. Die Ergebnisse bestätigen, dass über Mischwasserentlastungen in Relation zu Kläranlagen und Regenwassereinleitungen relevante Frachtanteile von Schwermetallen und PAK eingetragen werden (Abbildung 3.1). Dazu zählen uPBT³-Stoffe wie Quecksilber, Benzo(a)pyren, Benzo(ghi)perylen, Indeno(1,2,3-cd)pyren, Benzo(b)fluoranthen und Benzo(k)fluoranthen, welche häufig für die Zielverfehlung eines guten chemischen Zustands nach Wasserrahmenrichtlinie ursächlich sind. Mischwasserentlastungen tragen weiterhin mit 15 % zu Phosphoremissionen aus dem urbanen Raum bei.

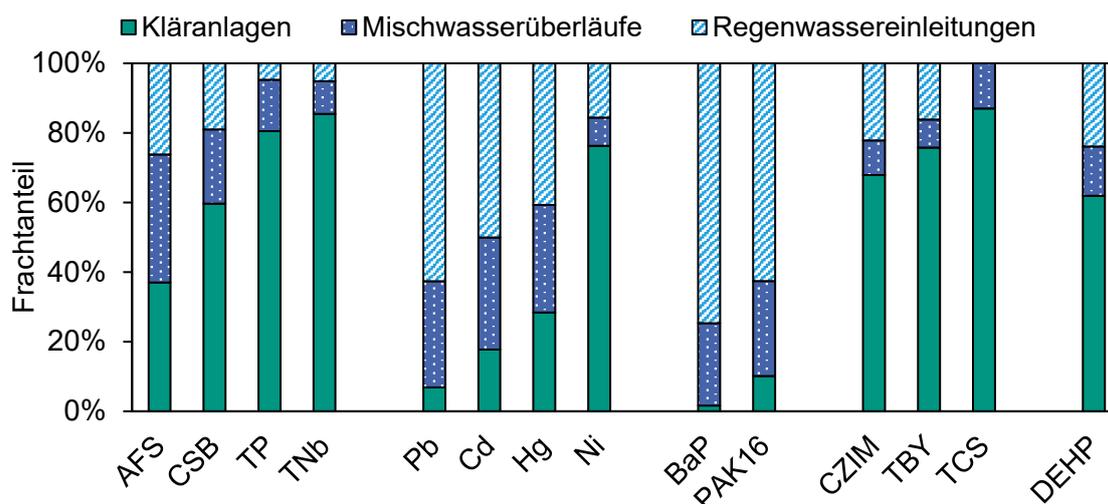


Abbildung 3.1: Mittlere jährliche Einträge von AFS, CSB, Phosphor (TP), Stickstoff (TNb), der Schwermetalle Pb, Cd, Hg und Ni, von Benzo(a)pyren (BaP) sowie der Summe von 16 Einzel-PAK (PAK16), der Biozide Carbendazim (CZIM), Terbutryn (TBY) und Triclosan (TCS), sowie von DEHP aus urbanen Systemen in die Fließgewässer Bayerns.

³ Ubiquitär, persistent, bioakkumulativ und toxisch.

Die Gegenüberstellung der gemessenen Entlastungskonzentrationen mit Umweltqualitätsnormen zeigt, dass Mischwasserentlastungen bei geringer Verdünnungsleistung des Einleitgewässers für einzelne PAK zu Qualitätszielüberschreitungen der mit akuten Wirkungen auf aquatische Organismen verknüpften zulässigen Höchstkonzentration (ZHK-UQN) führen können (Abbildung 3.2). Qualitätszielüberschreitungen der Jahresdurchschnittswerte (JD-UQN) aufgrund von Mischwasserentlastungen sind unter Berücksichtigung durchschnittlicher jährlicher Entlastungsdauern nicht zu erwarten.

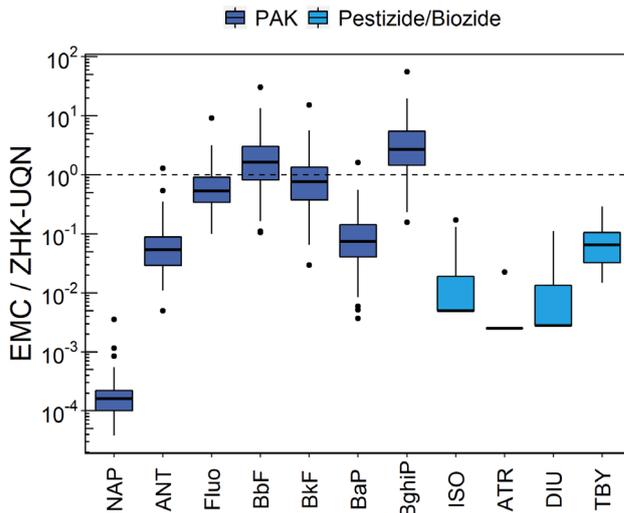


Abbildung 3.2: Risikoquotienten aus mittleren Ereigniskonzentrationen (EMC) in Mischwasserentlastungen ($n=145$) und Umweltqualitätsnormen (UQN) aus Richtlinie 2013/39/EU oder OGeV (2016). ZHK = Zulässige Höchstkonzentration.

3.5 Wirksamkeit von Mischwasserbehandlungsanlagen

In Messkampagne M2 wurden an zwei Durchlaufbecken und einem Fangbecken für je 3 bis 5 Ereignisse die ab Einstaubeginn bis Überlaufende zugeleiteten und entlasteten Frachten bilanziert. Die berechneten Gesamtwirkungsgrade beschreiben das Verhältnis von nicht entlastetem Frachtanteil (unmittelbarer Drosselabfluss, Rückhalt, Sedimentation, ggf. Ablagerungen) zur zugeleiteten Gesamtfracht. Die Gesamtwirkungsgrade für den Feststoffrückhalt $< 63 \mu\text{m}$ (AFS63⁴) der Durchlaufbecken bewegten sich im Mittel um 70 %. Der Gesamtwirkungsgrad des Fangbeckens lag bei für diesen Beckentyp idealtypischen Ereignissen mit ausgeprägtem Spülstoß und geringem Gesamtvolumen um 60 %. Bei höheren Entlastungsvolumina betrug der Wirkungsgrad um 30 %. Prägend für den Stoffrückhalt war der Volumenrückhalt durch Speicherung sowie Weiterleitung des Drosselabflusses und damit der rein hydraulische Wirkungsgrad. Die Unterschiede zwischen den Anlagentypen waren weniger auf die fehlende Sedimentationswirkung des Fangbeckens zurückzuführen, als auf einen niedrigeren Volumenrückhalt, bedingt durch ein geringeres spezifisches Speichervolumen und eine niedrigere Drosselabfluss-

⁴ Abweichend von M1 und der in DWA-A 102/BWK-A 3 (Entwurf) festgelegten Begrifflichkeit des Parameters (abfiltrierbare Stoffe mit Korngrößen von $0,45$ bis $63 \mu\text{m}$) erfolgte die Bestimmung in M2 anhand von abgesetzten Feststoffproben durch Nasssiebung, Flockung und anschließender Trocknung. Die Ergebnisse beinhalten daher auch Feststoffe mit Korngrößen $< 0,45 \mu\text{m}$ sowie Salze. Der Massenanteil dieser Inhaltsstoffe $< 0,45 \mu\text{m}$ ist vor dem Hintergrund der bei der labortechnischen Bestimmung von AFS63 aktuell erreichbaren Genauigkeit als marginal einzuordnen.

spende. Die Ergebnisse unterstreichen, dass die Regenwasserbehandlung im Mischsystem im Wesentlichen auf der Kläranlage stattfindet. Dies ist als Vorteil der Entlastungsbauwerke im Mischsystem gegenüber den Einleitungsbauwerken im Trennsystem anzusehen, aus denen kein Drosselabfluss in die Kläranlage weitergeleitet wird. Vor dem Hintergrund der Anforderungen des Regelwerks sind die an beiden Beckentypen ermittelten Wirkungsgrade als gut einzuordnen. Unter Annahme des Rechenwertes für den Stoffabtrag stark belasteter Flächen von $760 \text{ kg}/(\text{ha}\cdot\text{a})$ im gesamten Einzugsgebiet (ungünstigster Fall) wäre ein Wirkungsgrad von ca. 60 % ausreichend, um den zulässigen Frachtaustrag von $280 \text{ kg}/(\text{ha}\cdot\text{a})$ zu erreichen (DWA-A 102/BWK-A 3 Entwurf).

3.6 Konzentrationsdynamik während Entlastungsereignissen

An vier Anlagen wurden zeitlich aufgelöste Messungen zur Konzentrationsdynamik von Fest-, Zehr- und Nährstoffen sowie den Schwermetallen Blei, Kupfer und Zink während Entlastungsereignissen durchgeführt (M3). Die Proben wurden mit automatischen Probenehmern im Überlauf und an zwei Anlagen auch im Zulauf genommen. Es wurden insgesamt 22 Überlaufereignisse und 9 Einstauereignisse ohne Überlauf zeitproportional mit je 4 bis maximal 24 Proben beprobt. Die mit dieser konventionellen Probenahmetechnik gemessenen Entlastungskonzentrationen ergaben eine vergleichbare Werteverteilung wie der Datensatz zur Entlastungsqualität (M1) und sind ein weiterer Beleg für dessen Belastbarkeit. Für die meisten Stoffe war die Variabilität im Verlauf einzelner Ereignisse geringer als die Variabilität der mittleren Ereigniskonzentrationen aus M1.

Die Konzentrationsverläufe im Zulauf eines Fangbeckens (Abbildung 3.3) zeigten im Vergleich mit einem Durchlaufbecken (Abbildung 3.4) ausgeprägtere Spülstöße, die für die beprobten Ereignisse erfolgreich in der Beckenkammer zurückgehalten wurden. Dies bestätigt den wasserwirtschaftlichen Ansatz, Fangbecken in Einzugsgebieten anzuordnen, in denen aufgrund von kurzen Fließzeiten ein deutlicher Spülstoß erwartet wird. Aufgrund des begrenzten Umfangs untersuchter Anlagen ist jedoch keine Verallgemeinerung dieses Befundes möglich. Im Überlauf des Fangbeckens und eines Stauraumkanals (Abbildung 3.5) wurde eine höhere Konzentrationsvariabilität festgestellt, als an den zwei Durchlaufbecken. Dies kann auf den geringeren Probenumfang für die Durchlaufbecken zurückzuführen sein, ist aber aufgrund der Sedimentationswirkung der Durchlaufbecken grundsätzlich als plausibel einzuordnen. Bei Fangbecken ist nach deren Füllung kaum eine Abschwächung möglicher weiterer Verschmutzungs-Peaks zu erwarten. Bei Stauraumkanälen ist eine Remobilisierung von Ablagerungen möglich.

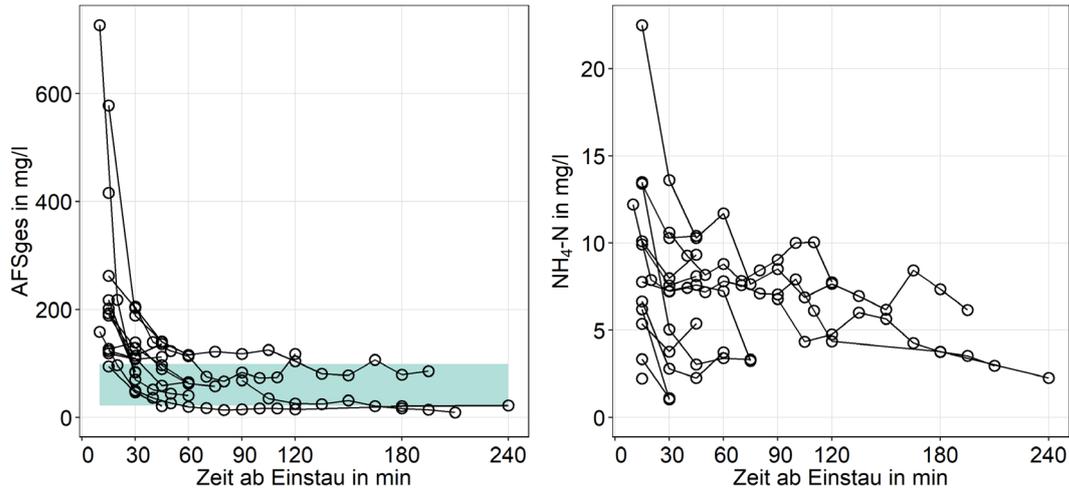


Abbildung 3.3: Konzentrationsverläufe der abfiltrierbaren Stoffe (AFSges) und Ammonium-Stickstoff ($\text{NH}_4\text{-N}$) ab Einstaubeginn im Zulaufgerinne des Fangbeckens FB2.

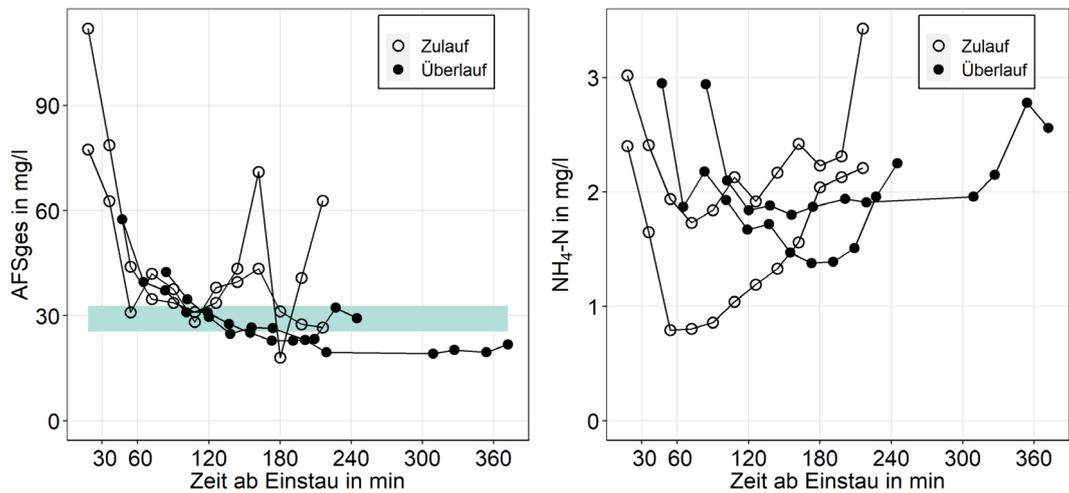


Abbildung 3.4: Konzentrationsverläufe der abfiltrierbaren Stoffe (AFSges) und von Ammonium-Stickstoff ($\text{NH}_4\text{-N}$) ab Einstaubeginn im Zu- und Überlauf des Durchlaufbeckens DB2.

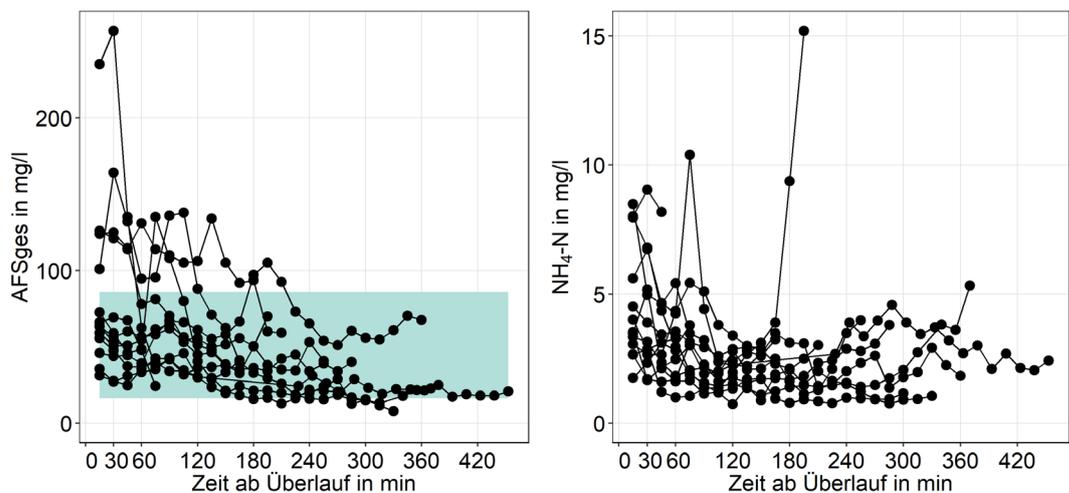


Abbildung 3.5: Konzentrationsverläufe der abfiltrierbaren Stoffe (AFSges) und von Ammonium-Stickstoff ($\text{NH}_4\text{-N}$) ab Überlaufbeginn im Überlauf des Stauraumkanals SK2.

Das schattierte Band zeigt jeweils den Konzentrationsbereich der Ereignismischproben aus M1.

3.7 Bezug zum Regelwerk

Die Ergebnisse der zur Berechnung der Anlagenwirksamkeit generierten Feststoffproben (M2) bestätigen den Zielparameter AFS63 aus DWA-A 102/BWK-A 3 (Entwurf). Die Feststofffraktion < 63 µm (AFS63) ist an allen Anlagen in hohen Anteilen vorzufinden und stellt gleichzeitig die kritischste Fraktion für die Abtrennung mittels Sedimentation dar. Damit bildet der Parameter eine geeignete Vergleichsbasis für die Anlagenwirksamkeit. Weiterhin unterstreicht die in Relation zu den größeren Fraktionen hohe Schadstoffbelastung die Relevanz für den Gewässerschutz. Im Vergleich der in diesem Vorhaben ermittelten Entlastungskonzentrationen (M1) und der daraus berechneten Frachten mit den Bemessungswerten aus DWA-A 102/BWK-A 3 (Entwurf) zeigt sich, dass die Ergebnisse sich einerseits in das Zahlengerüst fügen und andererseits für die untersuchten Anlagen eine erfolgreiche Einhaltung des zulässigen flächenspezifischen AFS63-Frachtaustrags bestätigen (Abbildung 3.6).

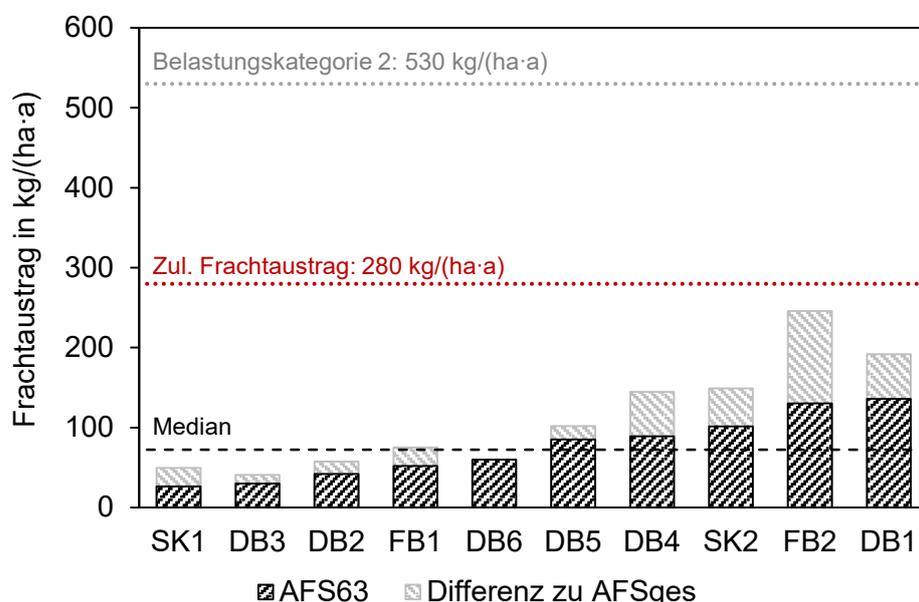


Abbildung 3.6: Jährlicher AFS63-Frachtaustrag der untersuchten Anlagen im Vergleich mit den Belastungskategorien aus DWA-A 102/BWK-A 3 (Entwurf) auf Basis der Abflussmessung im Untersuchungszeitraum. Für DB5 wurde ein mit KOSIM berechnetes Entlastungsvolumen verwendet, da nicht durchgehend valide Messdaten vorlagen.

4 Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse des Vorhabens bestätigen den Erfolg der bisher zur Mischwasserbehandlung umgesetzten Maßnahmen in Form hoher Gesamtwirkungsgrade für den Feststoffrückhalt und der Einhaltung zulässiger Frachtausträge (AFS63) an den untersuchten Anlagen (Durchlaufbecken, Fangbecken, Stauraumkanäle). Gleichzeitig sind Mischwasserentlastungsabflüsse belastet mit schmutzwasserbürtigen sowie von Oberflächen abgespülten Schadstoffen und tragen mit relevanten Frachtanteilen zur Gesamtemission von Schwermetallen, PAK und Phosphor bei. Neben den untersuchten stofflichen Belastungen hat an kleineren Gewässern ebenso die hydraulische Belastung ein Schädigungspotential.

Im Folgenden werden Schlussfolgerungen aus dem Vorhaben sowie Handlungsoptionen für die Praxis zur Verbesserung der Mischwasserbehandlung an einzelnen Anlagen sowie in der Gesamtbetrachtung zusammengefasst. Als wesentliche Voraussetzung für alle weiteren Maßnahmen ist der Kenntnisstand zum Entlastungsverhalten von Mischwasserentlastungen durch qualitätsgesicherte Messungen und plausibilisierte Messdaten weiterhin zu verbessern. Folgende Empfehlungen können gegeben werden:

Weitere Verbesserung des Kenntnisstands über Mischwasserentlastungen in quantitativer Hinsicht

- Ausstattung von Mischwasserentlastungen mit Messeinrichtungen zur Erfassung von Entlastungsabflüssen (Häufigkeit, Dauer und Menge).
- Sensibilisierung der Anlagenbetreiber für die Bedeutung der Messdaten.
- Sicherung der Datenqualität durch
 - die regelmäßige Wartung und Überprüfung der Messgenauigkeit von Messeinrichtungen,
 - die sorgfältige Festlegung, Dokumentation und regelmäßige Überprüfung von Eingangsparametern und mathematischen Funktionen bei der Berechnung von Abflussdaten aus Wasserstandsmessungen,
 - die Zugänglichkeit zeitlich aufgelöster Rohdaten in Leitsystemen,
 - die Implementierung von Routinen zur Auswertung und Plausibilisierung der anfallenden Daten.
- Informationsweitergabe belastbarer Stammdaten der Anlagen an den Datenverbund Abwasser Bayern (DABay) für übergeordnete Auswertungen.

Weitere Verbesserung des Kenntnisstands über Regenwetterabflüsse (Regenwasser, Mischwasser) in qualitativer Hinsicht

- Initiierung gezielter Messkampagnen zur stofflichen Belastung von Regenwetterabflüssen zum Schließen von Wissenslücken in Bezug auf
 - Regenwasserkonzentrationen im Trennsystem,
 - die Bedeutung von dezentralen Maßnahmen zur naturnahen Regenwasserbewirtschaftung (blau-grüne Infrastruktur),
 - die Bedeutung von Regenüberläufen ohne Speichervolumen,
 - ggf. neue relevante Schadstoffe (Durchführungsbeschluss (EU) 2015/495 2015).

- Für die Messkampagnen ergeben sich folgende Empfehlungen:
 - Klare Zieldefinition und Verfolgung angepasster Strategien: Eine Untersuchung des mittleren Systemverhaltens (möglichst vollständige Erfassung) erfordert bspw. andere Ansätze als die Erfassung von Extremwerten (z.B. hohe zeitliche Auflösung von Spülstößen).
 - Verwendung robuster, verlässlicher Probenahmetechnik, Sicherstellung einer engmaschigen Betreuung und ggf. Einsatz von Datenfernübertragung.
 - Die Erzeugung von Ereignis- oder Langzeitmischproben bspw. mittels großvolumigen Feststoffsammlern hat sich hinsichtlich des Konflikts aus zeitlicher Auflösung und möglicher Beprobungsdauer als geeignete, flexible Methode bewährt.
 - Mit den im Rahmen dieses Vorhabens eingesetzten Probenahmetechniken konnten Messdaten erhoben werden, die sich plausibel ergänzen. Aufgrund von Abweichungen bei der Fraktionierung von Feststoffen zwischen homogenisierten Mischproben und Feststoffproben empfiehlt sich für belastbare Untersuchungen zur Beschaffenheit von Feststoffen letztere Vorgehensweise. Diese basiert auf größeren Stichprobenvolumen und Feststoffmassen und ermöglicht damit eine höhere Bestimmungssicherheit.

Maßnahmen zur Minderung der aus Mischwasserentlastungen resultierenden Gewässerbelastungen

Zur Minderung der aus Mischwasserentlastungen resultierenden Gewässerbelastungen sind Maßnahmen auf verschiedenen Ebenen, vom Ort des Aufkommens in Siedlungsgebieten bis hin zur einzelnen Entlastungsanlage (end-of-pipe) denkbar. Sie werden im Folgenden knapp beschrieben.

- Maßnahmen im Einzugsgebiet
 - Alle Maßnahmen der Flächenabkopplung und Vermeidung von Niederschlagsabflüssen durch dezentrale Maßnahmen zur naturnahen Regenwasserbewirtschaftung (blau-grüne Infrastruktur, wassersensible Siedlungsentwicklung) reduzieren den Einfluss auf den natürlichen lokalen Wasserhaushalt und haben ein hohes Potential zur Reduktion hydraulischer sowie stofflicher Belastungen für Gewässer, da die Abflussmenge und damit die Entlastungshäufigkeit sowie schmutzwasserbürtige Stoffeinträge reduziert werden können:
 - Anlagen zur Förderung der Verdunstung (z.B. Gründächer, Fassadenbegrünung). Für die Schadstoffe aus den verdunsteten Volumenanteilen sind geeignete Bewirtschaftungsstrategien zu entwickeln. Es ergeben sich positive Synergieeffekte für das Stadtklima.

- Anlagen zur Förderung der Versickerung (z.B. Flächen-, Mulden-, Rigolen- oder Schachtversickerung) sind in ähnlicher Weise zur Reduktion hydraulischer Belastungen geeignet. Es sind jedoch geeignete Behandlungsmaßnahmen zu prüfen, um eine Verlagerung gelöster Schadstoffe in die Grundwasserkörper zu vermeiden.
- Anlagen zur Regenwasserspeicherung und -nutzung.
- Fremdwassersanierung ist aufwändig, jedoch essentiell zur Sicherung der für die Weiterleitung und Speicherung von Regenwasser eingeplanten Kapazitäten.
- Maßnahmen im System
 - Kanalnetzoptimierung
 - Sicherstellung des beabsichtigten Betriebs durch detaillierte Kenntnisse über das Betriebsverhalten (Messdaten),
 - Berücksichtigung gewässerseitiger Anforderungen und Verlegung von Belastungsschwerpunkten an leistungstärkere Einleitgewässer (Merkblatt 4.4/22, BayLfU 2018),
 - Reduzierung von Abfluss- und Konzentrationsspitzen sowie der Gesamtemissionen durch gezielte Netzsteuerung.
 - Bestmögliche Ausnutzung der Kapazität von Kläranlagen bzw. Erhöhung des Mischwasserabflusses zur Kläranlage, ggf. Bypass in die Nachklärung zur Umfahrung und zum Schutz empfindlicher Verfahrensstufen (z.B. Günther 2019).
- Maßnahmen an einzelnen Anlagen
 - Ertüchtigung von Bestandsanlagen nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik (DWA-A 166 2013; DWA-M 176 2013),
 - Klärtechnische Optimierung, z.B. durch Nachrüstung von Schrägklärerelementen (Kemper 2016; Kemper und Fuchs 2018),
 - Reduzierung der Bemessungsoberflächenbeschickung zur Vermeidung der Remobilisierung von Sedimenten (Fuchs et al. 2019),
 - Nachschaltung von Retentionsbodenfiltern als hocheffiziente Anlagen für den Stoffrückhalt.

Referenzen

- Baumann, Peter; Lieb, Wolfgang; Weiß, Gebhard (2017): Regenbecken im Mischsystem. Messen, Bewerten und Optimieren. Praxisleitfaden für den Betrieb von Regenbecken. 1., Heft 13. Hennef: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (DWA).
- BayLfU (Hg.) (2018): Merkblatt Nr. 4.4/22: Anforderungen an die Einleitungen von Schmutz- und Niederschlagswasser. Stand: März 2018. Bayerisches Landesamt für Umwelt.
- Durchführungsbeschluss (EU) 2015/495 (2015): Durchführungsbeschluss (EU) 2015/495 der Kommission vom 20. März 2015 zur Erstellung einer Beobachtungsliste von Stoffen für eine unionsweite Überwachung im Bereich der Wasserpolitik gemäß der Richtlinie 2008/105/EG des Europäischen Parlaments und des Rates (Bekanntgegeben unter Aktenzeichen C(2015) 1756).
- DWA-A 102/BWK-A 3 (Entwurf): Arbeitsblatt DWA-A 102/BWK-A 3 Grundsätze zur Bewirtschaftung und Behandlung von Regenwetterabflüssen zur Einleitung in Oberflächengewässer: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (DWA).
- DWA-A 166 (2013): Bauwerke der zentralen Regenwasserbehandlung und -rückhaltung. Konstruktive Gestaltung und Ausrüstung. November 2013. Hennef (Sieg): Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (DWA) (DWA-Regelwerk).
- DWA-M 176 (2013): Hinweise zur konstruktiven Gestaltung und Ausrüstung von Bauwerken der zentralen Regenwasserbehandlung und -rückhaltung. November 2013. Hennef (Sieg): Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (DWA) (DWA-Regelwerk).
- Fuchs, Stephan; Kaiser, Maria; Kiemle, Lisa; Kittlaus, Steffen; Rothvoß, Shari; Toshovski, Snezhina et al. (2017): Modeling of Regionalized Emissions (MoRE) into Water Bodies. An Open-Source River Basin Management System. In: *Water* 9 (4), S. 239. DOI: 10.3390/w9040239.
- Fuchs, Stephan; Kemper, Mike; Nickel, Jan Philip (2019): Feststoffe in der Regenwasserbehandlung. In: J. Pinnekamp (Hg.): 52. Essener Tagung für Wasserwirtschaft vom 20. - 22. März 2019 in Aachen. Wasser und Gesundheit. 52. Essener Tagung für Wasserwirtschaft. Aachen, 20.-22.03.2019. Institut für Siedlungswasserwirtschaft RWTH Aachen. Aachen (Gewässerschutz, Wasser, Abwasser, 250), 25/1-14.
- Fuchs, Stephan; Rothvoß, Shari; Toshovski, Snezhina (2018): Ubiquitäre Schadstoffe – Eintragsinventare, Umweltverhalten und Eintragsmodellierung. Im Auftrag des Umweltbundesamtes (Texte 52/2018).

- Fuchs, Stephan; Toshovski, Snezhina; Kaiser, Maria; Sacher, Frank; Thoma, Astrid (2020a): Belastung der Umwelt mit Bioziden realistischer erfassen – Schwerpunkt Einträge über Kläranlagen. Kurztitel: Biozideinträge über Kläranlagen. Im Auftrag des Umweltbundesamtes (Schlussbericht in Bearbeitung, Veröffentlichung für 2020 vorgesehen). Hg. v. Umweltbundesamt (UBA).
- Fuchs, Stephan; Toshovski, Snezhina; Kaiser, Maria; Sacher, Frank; Thoma, Astrid; Kümmel, Veronika; Lambert, Benedikt (2020b): Prioritäre Stoffe in kommunalen Kläranlagen. Ein deutschlandweit harmonisiertes Vorgehen. Im Auftrag des Umweltbundesamtes (Schlussbericht in Bearbeitung, Veröffentlichung für 2020 vorgesehen). Hg. v. Umweltbundesamt (UBA).
- Günther, Norbert (2019): Das Bypassverfahren - Möglichkeiten zur vermehrten Mischwasserbehandlung und zur Verringerung der Nachklärbeckenbelastung. Dissertation. Technische Universität Dresden.
- Kemper, Mike (2016): Strömungsverhalten und Sedimentationswirksamkeit in Regenbecken mit Schrägklärer-Einbauten. Dissertation. Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe.
- Kemper, Mike; Fuchs, Stephan (2018): Optimierung des Feststoffrückhalts im Trennsystem durch Schrägklärer (Opti-Trenn). Endbericht. Gefördert durch das Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen.
- Müller, Elisabeth; Schade, Margit (2020): Fäkale Belastung und Vorkommen von Antibiotikaresistenzen in Mischwasserentlastungen in Bayern. Abschlussbericht LfU (Hg.).
- OGewV (2016): Oberflächengewässerverordnung vom 20. Juni 2016 (BGBl. I S. 1373). OGewV, vom 20.06.2016.
- Richtlinie 2013/39/EU (2013): Richtlinie 2013/39/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 12. August 2013 zur Änderung der Richtlinien 2000/60/EG und 2008/105/EG in Bezug auf prioritäre Stoffe im Bereich der Wasserpolitik.