

Reduzierung des Eintrags von Mikroschadstoffen in Gewässer aus Abwassersystemen - Stoffflussmodellierung verschiedener Maßnahmen

Henning Knerr, Oliver Gretzschel, Theo G. Schmitt, Heidrun
Steinmetz, Yannick Taudien und Gerd Kolisch

Technische Universität Kaiserslautern, Fachgebiet Siedlungswasserwirtschaft
und Fachgebiet Ressourcenorientierte Abwasserbehandlung

Wupperverbandsgesellschaft für integrale Wasserwirtschaft (WiW) mbH

Kurzfassung: Im Projekt Mikro-System werden verschiedene technische Maßnahmen bzw. Maßnahmenkombinationen zur Verbesserung der Gewässerqualität bzgl. Mikroschadstoffe in zwei ausgewählten Fließgewässern im Einzugsgebiet der Nahe mittels Stoffflusssimulation untersucht.

Die Ergebnisse der Maßnahmenanalyse zeigen, dass durch die Einführung 4. Reinigungsstufen ein Großteil der aus Abwassersystemen emittierten Mikroschadstofffracht effizient reduziert werden kann, und zudem die weitergehende Behandlung von Mischwasserüberläufen und die Überleitung kleinerer Kläranlagen zu größeren Anlagen die Gewässerqualität signifikant verbessert werden kann.

Die Ergebnisse zeigen umgekehrt aber auch die Grenzen der untersuchten technischen Maßnahmen auf, deren Umsetzung alleine nicht für die Einhaltung der angestrebten Qualitätsziele – hier aufgezeigt am Beispiel Diclofenac - ausreicht. Nachhaltige Strategien zur Reduktion von Mikroschadstoffbelastungen in Fließgewässern müssen folglich immer nachgeschaltete und quellenorientierte Maßnahmen beinhalten.

Keywords: Mikroschadstoffe, Stoffflusssimulation, Diclofenac

1 Einleitung

In der Pilotstudie **Mikro_N** (Schmitt et al., 2016) wurden die Gesamtemissionen eines Gewässereinzugsgebietes am Beispiel der Nahe (Rheinland-Pfalz, Deutschland) für ausgewählte Mikroschadstoffe frachtbasiert ermittelt. Hierauf aufbauend wurden drei Szenarien zur Integration 4. Reinigungsstufen auf kommunalen Kläranlagen in unterschiedlichem Umfang im Vergleich zum Ist-Zustand untersucht und in ihren Kosten sowie in dem gewässerspezifischen Nutzen bewertet. Die betrachteten Ausbauszenarien umfassen die Einführung 4. Reinigungsstufen an den zwei Kläranlagen der Größenklasse 5 im Einzugsgebiet, die Erweiterung aller 34 Kläranlagen der Größenklasse 4 und 5 und die verfahrenstechnische Ergänzung von 10 anhand verschiedener Kriterien ausgewählten Kläranlagen an den Oberläufen mit Mikroschadstoffen kritisch belasteter Gewässer (Abbildung 1).

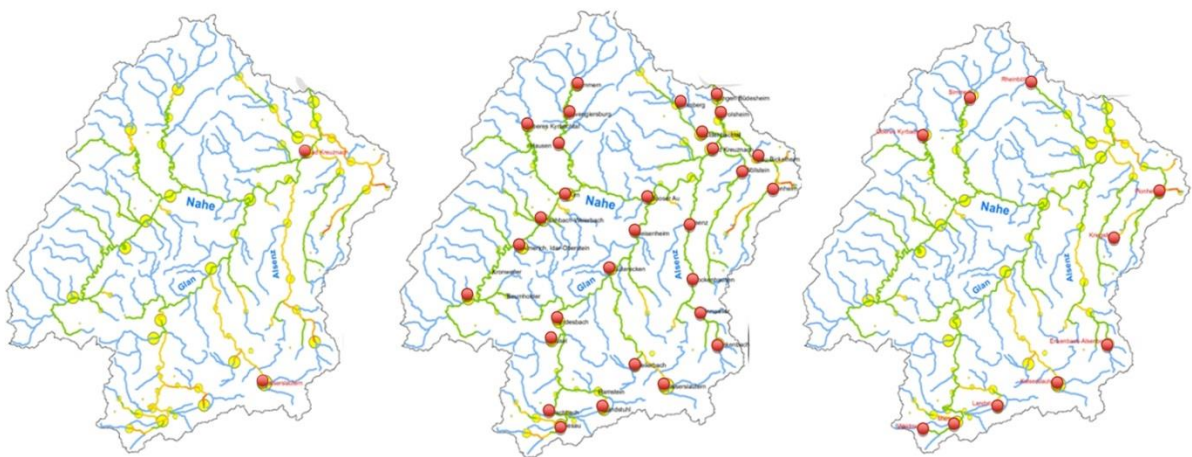


Abbildung 1: Ergebniskarten zum Belastungsfaktor für Diclofenac ($\text{JD-UQN-V} = 0,1 \mu\text{g/l}$) in drei betrachteten Ausbauszenarien der vorhandenen Kläranlagen im Einzugsgebiet der Nahe bei MQ (Kolisch et al., 2016)

Die Ergebnisse zeigen, dass größere Kläranlagen aufgrund der insgesamt emittierten Frachten, aber auch kleinere Kläranlagen an leistungsschwachen Vorflutern eine große Gewässerrelevanz aufweisen. Eine hohe Abwasserlast im Gewässer oder eine hohe Vorbelastung aus stromaufwärts gelegenen Abwassereinleitungen führen dazu, dass gegebenenfalls auch bei Integration einer 4. Reinigungsstufe die angesetzten Qualitätskriterien in den Gewässern nicht erreicht werden können (Knerr et al., 2016; Kolisch et al., 2016; Schmitt et al., 2016).

Als Ergebnis der Kosten-Nutzen-Analyse konnte in der Pilotstudie Mikro_N gezeigt werden, dass je nach Bewertungsmethode sowohl ein quantitativer Ansatz (Reduktion emittierte Fracht) als auch ein qualitativer Ansatz (Verbesserung der Gewässerqualität) zu kostengünstigen Maßnahmen Szenarien führen kann. Die Nachrüstung kommunaler Kläranlagen mit einer 4. Reinigungsstufe an Gewässern mit „hoher Abwasserlast“ erfordert daher grundsätzlich eine Einzelfallprüfung. Hierbei ist zu klären, was für das Gewässer getan werden kann, um die Gewässerqualität nachhaltig zu verbessern.

Um das Potenzial technischer Maßnahmen und Maßnahmenkombinationen genauer zu bewerten, wird im Rahmen des Projektes **Mikro-System** an zwei ausgewählten Gewässern im Nahe-Einzugsgebiet eine Variantenbetrachtung durchgeführt. Neben der Einführung weitergehender Reinigungstechniken zur Elimination von Mikroschadstoffen auf kommunalen Kläranlagen (Ozonung, Aktivkohleadsorption), wird die Effizienz von Retentionsbodenfiltern zur weitergehenden Mischwasserbehandlung an ausgewählten Regenentlastungsbauwerken im Gewässersystem bilanziert. Ebenso werden Maßnahmen zur Zentralisierung (Überleitung des Abwassers zu größeren Kläranlagen) betrachtet und hinsichtlich ihrer Wirksamkeit bewertet.

2 Stoffflusssimulation

Zur Bilanzierung wird das Modellsystem GREAT-ER verwendet. Die Gewässerbelastung wird dabei georeferenziert für verschiedene Abflusssituationen mit einer räumlichen Auflösung von maximal zwei Kilometer langen Gewässerabschnitten simuliert. Die Simulation berücksichtigt stoffspezifische Substanzdaten wie pro-Kopf-Verbrauchswerte, Ausscheidungsraten, Abbauraten in Kläranlagen, Eintrag über Mischwasserüberläufe sowie diffuse Einträge über landwirtschaftlich genutzte Flächen. Zudem werden Verlust- und Abbauprozesse in den Oberflächengewässern berücksichtigt. Die Gewässerkonzentrationen werden unter Annahme eines Fließgleichgewichts mit Massenerhaltung für jeden Flussabschnitt berechnet und stellen für den jeweiligen Abfluss eine

durchschnittliche Belastung dar. Eine ausführliche Beschreibung des Modells kann u. a. Kehrein et al. (2014) entnommen werden.

Die Gewässerbelastung wird über den sogenannten Belastungsfaktor (BF) bewertet, der als Quotient aus der simulierten Konzentration (PEC = predicted environmental concentration) und einem festgelegten Qualitätskriterium gebildet wird. Als Qualitätskriterium wurde substanzspezifisch die Konzentration gewählt, bis zu der nach derzeitigem Wissensstand eine chronische Schädigung der Gewässerorganismen ausgeschlossen werden kann. Grundlage für diese Bewertung sind Konzentrationswerte, die zum Teil in der EU-Richtlinie 2013/39/EU (EU, 2013) und der Oberflächengewässerverordnung (OGewV, 2016) als Umweltqualitätsnorm (UQN) in Form eines Jahresdurchschnittswertes (JD-UQN) festgelegt sind.

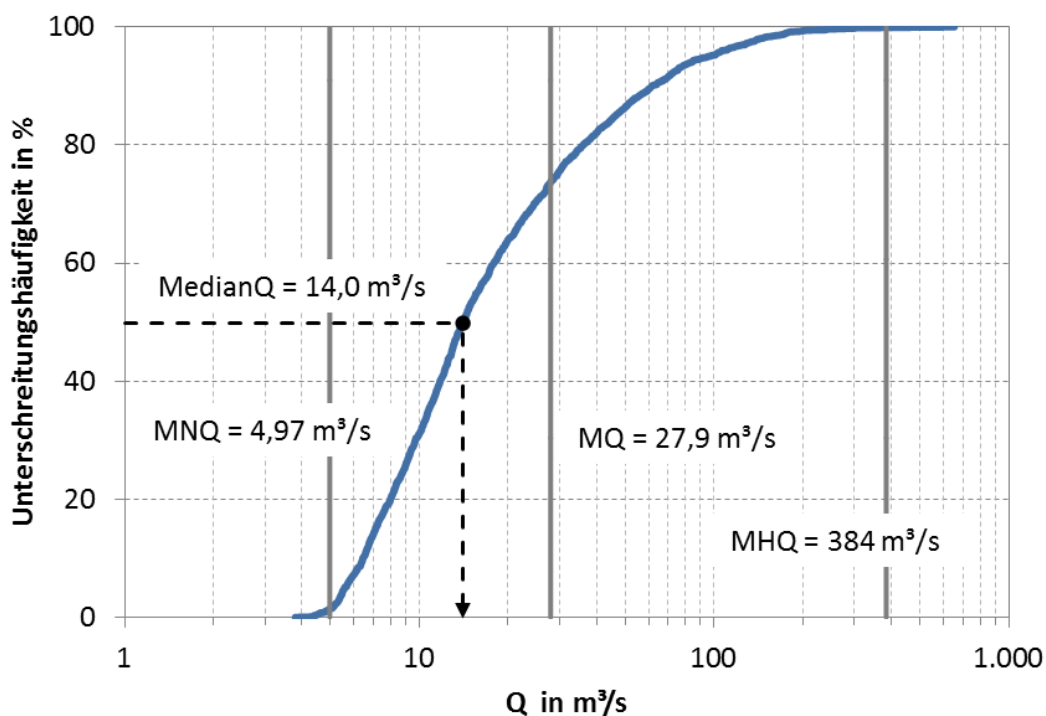


Abbildung 2: Vergleich der Hauptwerte der Nahe mit den Abflüssen am Pegel Dietersheim (Mündung Nahe-Rhein) der Zeitreihe 2007-2012

Das Modell wurde für einen mittleren Abfluss (MQ) und einen mittleren Niedrigwasserabfluss (MNQ) anhand der für das Gesamteinzugsgebiet verfügbaren Pegeldaten der Zeitreihe 2007-2012 kalibriert. Der Vergleich der langjährigen Hauptwerte des Pegels Dietersheim (Mündung der Nahe in den Rhein) mit den täglichen Abflüssen der zugrunde gelegten

Zeitreihe zeigt Abbildung 2. Der MQ wird von etwa 70 % der Abflüsse unterschritten. Dagegen wird der MNQ nur von etwa 2 % der Abflüsse unterschritten, wohingegen der mittlere Hochwasserabfluss (MHQ) von weniger als 1 % der aufgezeichneten Abflüsse überschritten wird.

Die Simulation mit MQ und MNQ liefert somit Ergebnisse, die die Varianz der infolge einer natürlichen Abflussdynamik auftretenden Gewässerbelastungen nicht vollumfänglich widerspiegeln. Zudem resultieren aufgrund der Verdünnung bei MQ Gewässerkonzentrationen, die unter dem Jahresdurchschnitt liegen. Die Simulation bei MNQ überschätzt dagegen den Jahresdurchschnittswert der Stoffkonzentrationen im Gewässer. Der Medianwert (MedianQ), als die geeignetere hydrologische Bezugsgröße für den konzentrationsbezogenen Vergleich mit JD-UQN, wird in den deutschen hydrologischen Jahrbüchern jedoch nicht geführt. Vor diesem Hintergrund erfolgt die Bewertung der Gewässerbelastung im Projekt mit MQ.

Die Auswertung weiterer Pegeldaten aus dem Nahe-Einzugsgebiet bestätigt die dargestellte Abweichung mit einer Unterschreitung des MQ von rund 70 %, des MHQ von > 95 % und einer Lage des MNQ im Bereich einstelliger Quantilwerte (Kolisch et al., 2016).

Um den Einfluss des jahreszeitlich stark schwankenden Abflusses auf die Gewässerkonzentrationen abschätzen zu können, wurde die für MHQ resultierende Belastung vereinfacht über das Verhältnis MHQ/MQ berechnet. Auf diese Weise ist es möglich die Spannweite der Gewässerkonzentrationen abzuschätzen und mit Messwerten abzugleichen.

3 Ist-Situation im Einzugsgebiet der Nahe

In Abbildung 3 ist der Status Quo der Gewässerbelastung im Gesamteinzugsgebiet der Nahe exemplarisch für Diclofenac (DCF) anhand der BF-Karte für MQ dargestellt. Als Qualitätsziel wurde der derzeit auf EU-Ebene diskutierte Umweltqualitätsnormvorschlag (JD-UQN-V) von 0,1 µg/l angesetzt. Die Karte zeigt zudem die Fokusgewässer des Projektes Mikro-System, Lauter und Wiesbach, die im Weiteren näher untersucht werden.

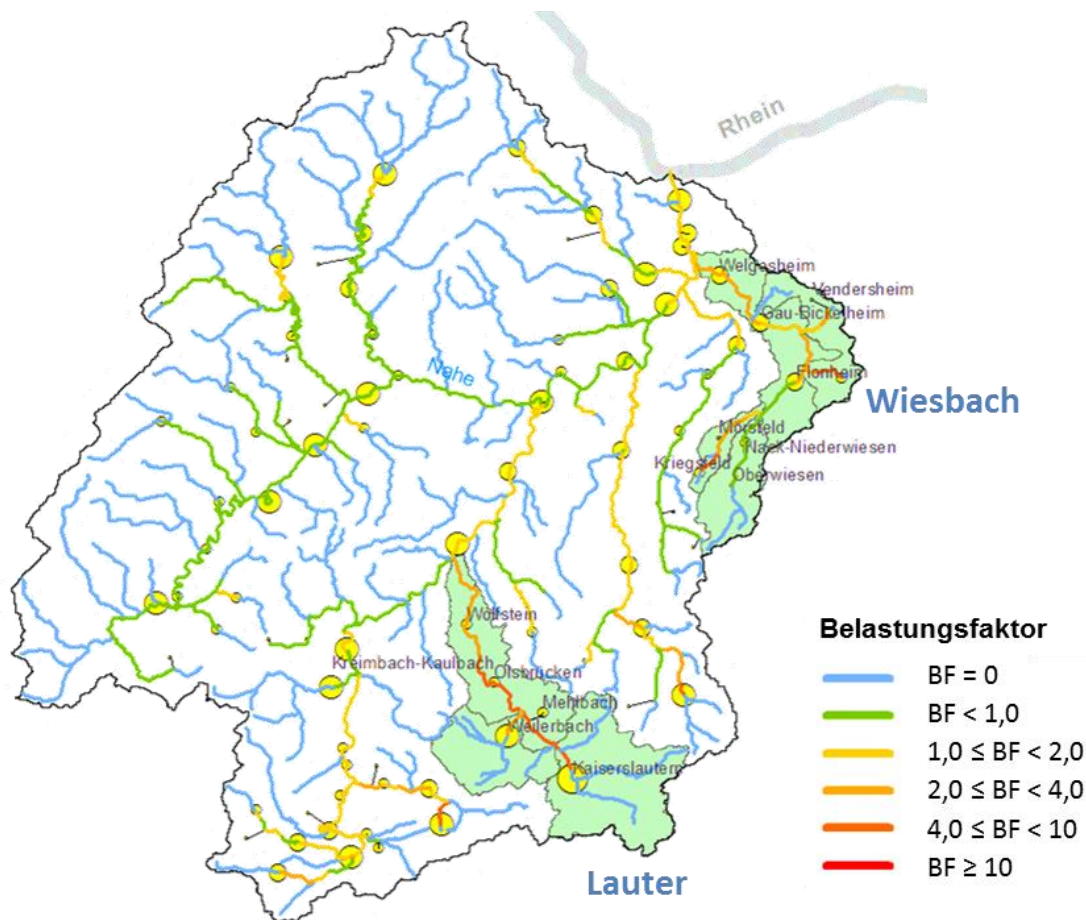


Abbildung 3: Ist-Zustand des BF im Einzugsgebiet der Nahe für DCF bei MQ (Anmerkung: BF = 0 resultiert aus den Modellannahmen und bedeutet, dass im Modell in diese Gewässerabschnitte kein Abwasser eingeleitet wird)

Im nördlichen Bilanzraum sind für MQ nur kurze Abschnitte stark belastet, während im südlichen und östlichen Einzugsgebiet insbesondere kleinere Nebenflüsse über viele Fließkilometer deutliche Überschreitungen von JD-UQN-V aufzeigen. Starke Belastungen mit $BF > 2$ ergeben sich insbesondere in den Oberläufen von Gewässern mit hoher Abwasserlast.

Die relative Verteilung des BF bezogen auf die im Gesamteinzugsgebiet der Nahe abgebildeten Fließkilometer und die im Projekt Mikro_N untersuchten Substanzen ist zusammenfassend in Abbildung 4 dargestellt.

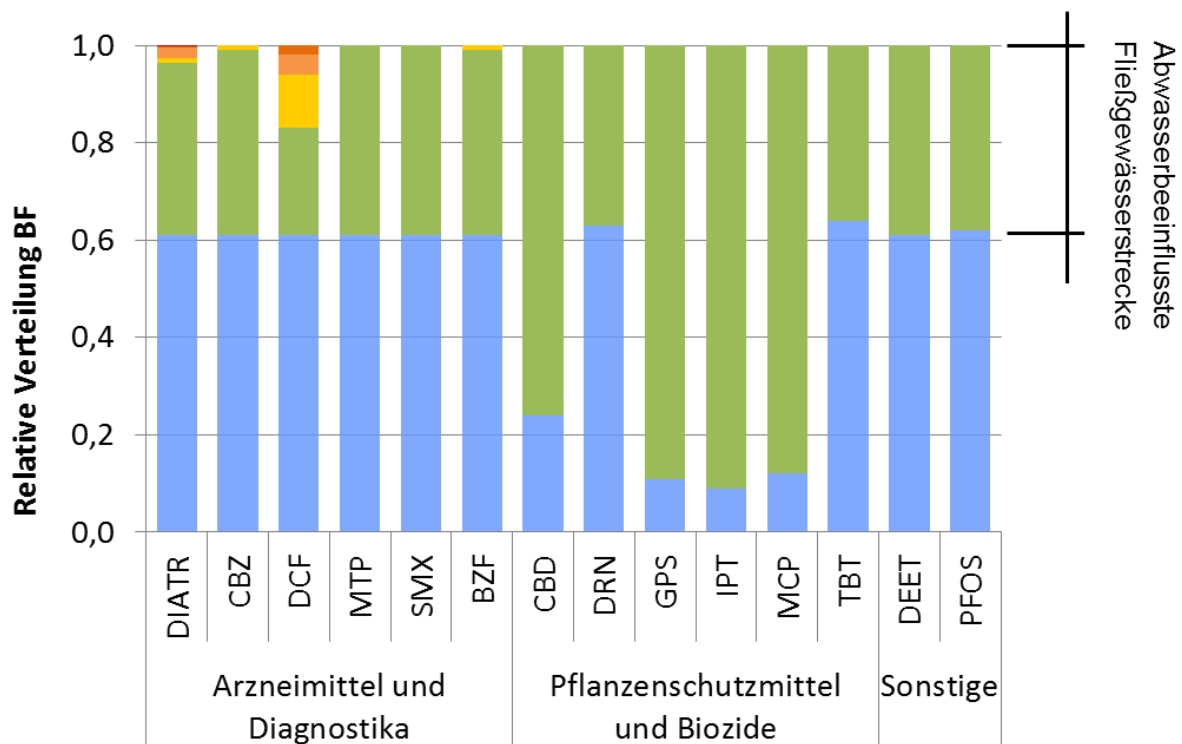


Abbildung 4: Relative Verteilung von BF im Ist-Zustand bei MQ im Gesamteinzugsgebiet der Nahe (farbliche Skalierung entsprechend Abbildung 3)

Für die pharmazeutischen Wirkstoffe (DIATR = Amidotrizoesäure, CBZ = Carbamazepin, MTP = Metoprolol, SMX = Sulfamethoxazol, BZF = Bezafibrat) resultieren rechnerisch in den abwasserbeeinflussten Gewässerabschnitten durchgängig ein BF > 0. Pestizide (CBD = Carbendazim, DRN = Diuron, GPS = Glyphosat, IPT = Isoproturon, MCP = Mecoprop, TBT = Terbutryn) sind dagegen in nahezu dem gesamten Gewässernetz mit Konzentrationswerten feststellbar, die von der Flächennutzung und der einzelnen Substanz abhängen. Infolge Abschwemmung nach Niederschlagsereignissen wird beispielsweise der prioritäre Stoff IPT, der in der Landwirtschaft als Herbizid und im urbanen Bereich als Fassadenschutz eingesetzt wird, bei MQ in 91 % der betrachteten Gewässerabschnitte nachgewiesen. TBT dagegen, ein Biozid, das in Deutschland als Algizid in Fassadenanstrichen und -beschichtungen sowie in Dachfarben zum Einsatz kommt, wird nur in abwasserbeeinflussten Gewässerstrecken nachgewiesen.

Von den untersuchten Substanzen zeigte sich bei den gewählten Qualitätskriterien DCF am kritischsten. Etwa die Hälfte des

abwasserbeeinflussten Gewässernetzes der Nahe ist mit DCF-Konzentrationen über JD-UQN-V belastet und weist damit einen Handlungsbedarf auf. (Knerr et al., 2016; Schmitt et al., 2016)

Als Beispielgewässer mit signifikanter Belastung schmutzwasserbürtiger Stoffe wurden die Lauter (85 km Fließstrecke inklusive Nebengewässer, davon 32 km mit Abwasserbelastung, 137.000 EW angeschlossen, 63 Mio m³ Abfluss/a) und der Wiesbach (80 km Fließstrecke inklusive Nebengewässer, davon 50 km mit Abwasserbelastung, 30.000 EW angeschlossen, 12,6 Mio m³ Abfluss/a) zur detaillierten Betrachtung ausgewählt (Abbildung 3). Die jeweils resultierenden DCF-Konzentrationsprofile für MNQ, MQ und MHQ sind in Abbildung 5 und Abbildung 6 dargestellt.

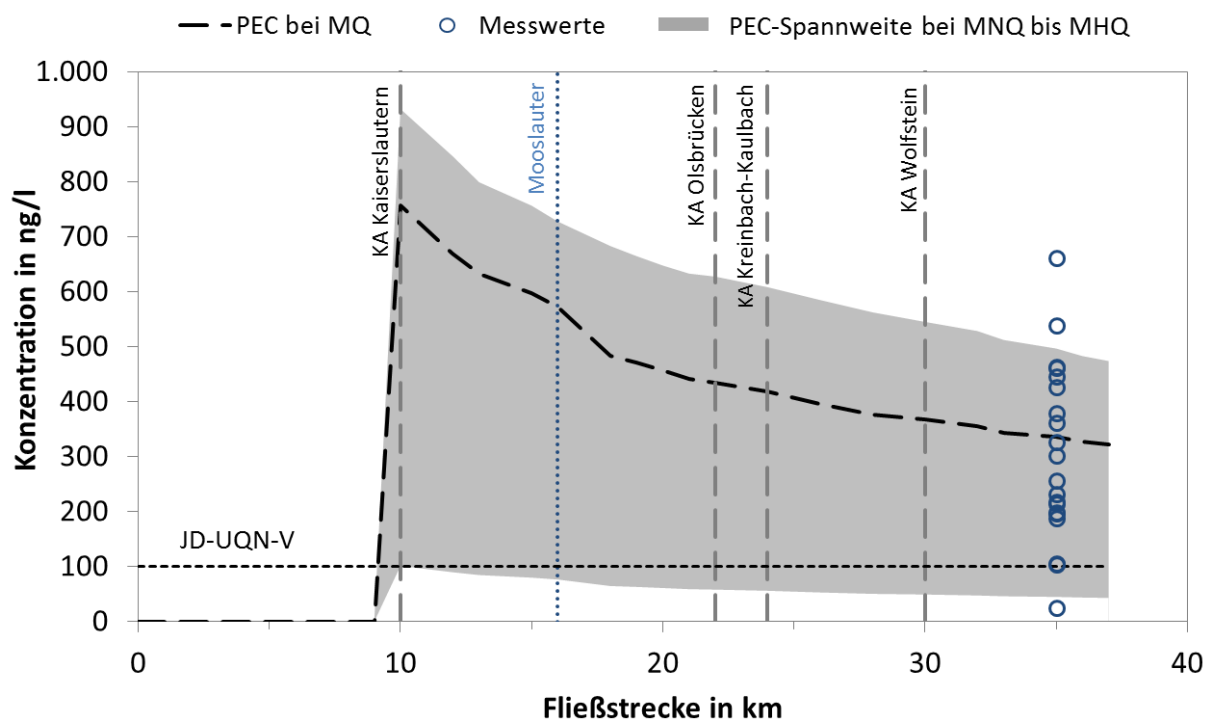


Abbildung 5: Konzentrationsverlauf der simulierten DCF-Konzentration der Lauter von der Quelle bis zur Mündung in den Glan bei MQ und den durch MNQ und MHQ aufgespannten Wertebereich

Das Konzentrationsprofil der Lauter zeigt eine Abnahme der Konzentrationen in Fließrichtung durch Verdünnung und Abbau (Photolyse) im Gewässer. Aufgrund der hohen Anfangsbelastung aus der größten Kläranlage im Einzugsgebiet (Kaiserslautern, 210.000 E) und der Emissionen weiterer Kläranlagen und Mischwasserüberläufe reicht der Abbau im

Gewässer allerdings nicht aus, sodass an der Mündung der Lauter in den Glan bei MQ die DCF-Konzentrationen noch rd. 0,3 µg/l beträgt. Als Folge weist auch der Glan unterhalb der Lautermündung eine Belastung mit BF > 1 auf (Abbildung 3).

Der Vergleich mit Gewässermessungen unmittelbar vor der Mündung der Lauter in den Glan verdeutlicht, dass die Mehrzahl der Messwerte in dem durch MNQ und MHQ aufgespannten Wertebereich liegt. Die rechnerisch resultierende Ober- bzw. Untergrenze wird lediglich von drei Messwerten über- bzw. unterschritten. Die Berechnungen liefern demzufolge plausible Ergebnisse und erlauben einen ersten Einblick über den zu erwartenden Wertebereich der DCF-Konzentrationen.

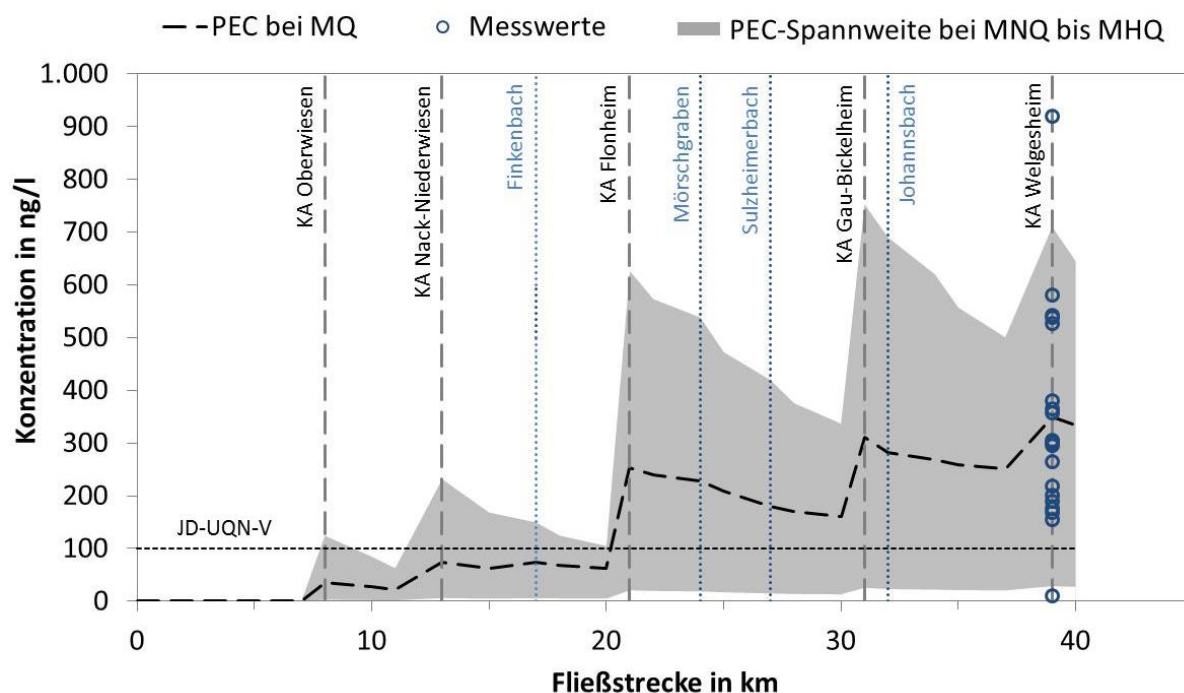


Abbildung 6: Konzentrationsverlauf der simulierten DCF-Konzentration des Wiesbachs von der Quelle bis zur Mündung in die Nahe bei MQ und den durch MNQ und MHQ aufgespannten Wertebereich

Im Wiesbach dagegen steigt die Belastung in Fließrichtung an, wodurch sich die höchste DCF-Konzentration an der Mündung des Wiesbachs in die Nahe ergibt (Abbildung 6). Etwa zwei Drittel der abwasserbeeinflussten Fließgewässerstrecke weist bei MQ DCF-Konzentrationen auf, die um den Faktor zwei bis drei über JD-UQN-V liegen. Zu erkennen ist zudem, dass im Vergleich zur Lauter, entlang des Fließweges des

Wiesbach eine größere Dynamik im Konzentrationsverlauf vorherrscht. Die Konzentrationsspitzen im Profil werden dabei durch Einleitungen von Kläranlagenabläufen aber auch durch Zuflüsse belastender Nebengewässer verursacht.

Insgesamt stimmen auch hier die Simulations- und Messergebnisse sehr gut überein, so dass davon ausgegangen werden kann, dass die der Simulation zugrunde liegenden Parameter die räumliche und abflussbedingte Konzentrationsverteilung von DCF gut abbilden.

4 Variantenbetrachtung für zwei Teileinzugsgebiete

Mittels vergleichender Simulation wurde überprüft, welcher Nutzen für das betrachtete Gewässer erzielt werden kann, wenn weitergehende Reinigungsmaßnahmen zur Abwasser- und Michwasserbehandlung sowie Maßnahmen zur Zentralisierung etabliert werden würden. Der Nutzen wurde dabei über die Reduktion der Mikroschadstofffracht an der Mündung des jeweiligen Gewässers (frachtbezogen) bzw. den zusätzlichen Anteil des Gewässers, der einen BF kleiner eins erreicht (qualitätsbezogen), bewertet. Als Indikatorsubstanz für schmutzwasserbürtige Mikroschadstoffe im Bilanzraum wurde DCF verwendet.

Lauter

Die für das Einzugsgebiet der Lauter untersuchten Maßnahmenvarianten sowie der für MQ resultierende Nutzen sind in Tabelle 1 zusammengefasst. Die DCF-Konzentrationsprofile für ausgewählte Varianten im Gewässersystem Lauter-Glan-Nahe zeigt Abbildung 7.

Aufgrund der hohen Frachten hat die Kläranlage Kaiserslautern mit Blick auf eine weitergehende Elimination schmutzwasserbürtiger Mikroschadstoffe im Gewässersystem der Lauter eine zentrale Rolle mit der höchsten Frachtreduktion (Variante 3), insbesondere aber auch hinsichtlich der qualitativen Verbesserung in den nachfolgenden Gewässern. So wird durch die Ausstattung der Kläranlage Kaiserslautern mit einer 4. Reinigungsstufe eine Überschreitung der JD-UQN-V in dem von der Lauter beeinflussten Gewässerabschnitt des Glans durchgängig vermieden.

Auch die Nahe weist dann bis zur Einleitung der Kläranlage Bingen (unmittelbar vor der Mündung in den Rhein) DCF-Konzentrationen $< 0,1 \mu\text{g/l}$ auf. Trotzdem kommt es im Falle eines alleinigen Ausbaus der Kläranlage Kaiserslautern noch immer über die gesamte abwasserbeeinflusste Fließstrecke der Lauter zu einer Belastung mit $\text{BF} > 1$ (Abbildung 7, oben).

Tabelle 1: Nutzen verschiedener Maßnahmen im Einzugsgebiet der Lauter bei MQ (4. RS = 4. Reinigungsstufe; RBF = Retentionsbodenfilter; ÜL = Überleitung; KA = Kläranlage, MWE = Mischwasserentlastung)

Variante	Kaiserslautern		Weilerbach		Mehlbach		Olsbrücken		Nutzen	
	KA	MWE	KA	MWE	KA	MWE	KA	MWE	qualitativ	quantitativ
									Zus. km $<$ UQN	Red. kg/a
Ist	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0	0,0
3	4.RS	-	-	-	-	-	-	-	0,0	10,2
4	4.RS	RBF	-	-	-	-	-	-	0,0	11,0
5	-	-	4.RS	-	-	-	-	-	0,0	1,2
6	-	-	4.RS	RBF	-	-	-	-	0,0	1,2
7	-	-	4.RS	RBF	ÜL	-	-	-	0,0	1,4
8	-	-	4.RS	RBF	-	-	ÜL	-	0,0	1,6
9	-	-	4.RS	RBF	ÜL	-	ÜL	-	0,0	1,7
10	4.RS	-	4.RS	-	-	-	-	-	6,2	11,3
11	4.RS	RBF	4.RS	RBF	-	-	-	-	24,2	12,2
12	4.RS	RBF	4.RS	RBF	ÜL	-	ÜL	-	24,9	12,7

Erst durch die zusätzliche Nachrüstung auch der zweitgrößten Kläranlage im Einzugsgebiet (Weilerbach, 30.000 E) mit einer 4. Reinigungsstufe und die weitergehende Behandlung der Mischwasserüberläufe an den jeweils netzabschließenden Entlastungsbauwerken, kann die DCF-Konzentration in der Lauter nahezu über die gesamte abwasserbeeinflusste Fließstrecke in einen Zustand mit $\text{BF} < 1$ gebracht werden (Variante 11). Ohne den Betrieb der Retentionsbodenfilter würden lediglich weitere zwei Fließkilometer der Lauter bzw. 6,2 Fließkilometer im Gesamteinzugsgebiet der Lauter mit $\text{BF} < 1$ bewertet werden können (Variante 10). Mit der simulierten Kombination aus 4. Reinigungsstufe und Mischwasserbehandlung an verschiedenen Standorten resultieren im

Gesamteinzugsgebiet der Lauter zusätzlich 24,2 Fließkilometer mit $BF < 1$. Dennoch verbleiben in der Lauter selbst nach wie vor ca. sieben Fließkilometer, die DCF-Konzentrationen $> 0,1 \text{ mg/l}$ aufweisen (Abbildung 7, unten).

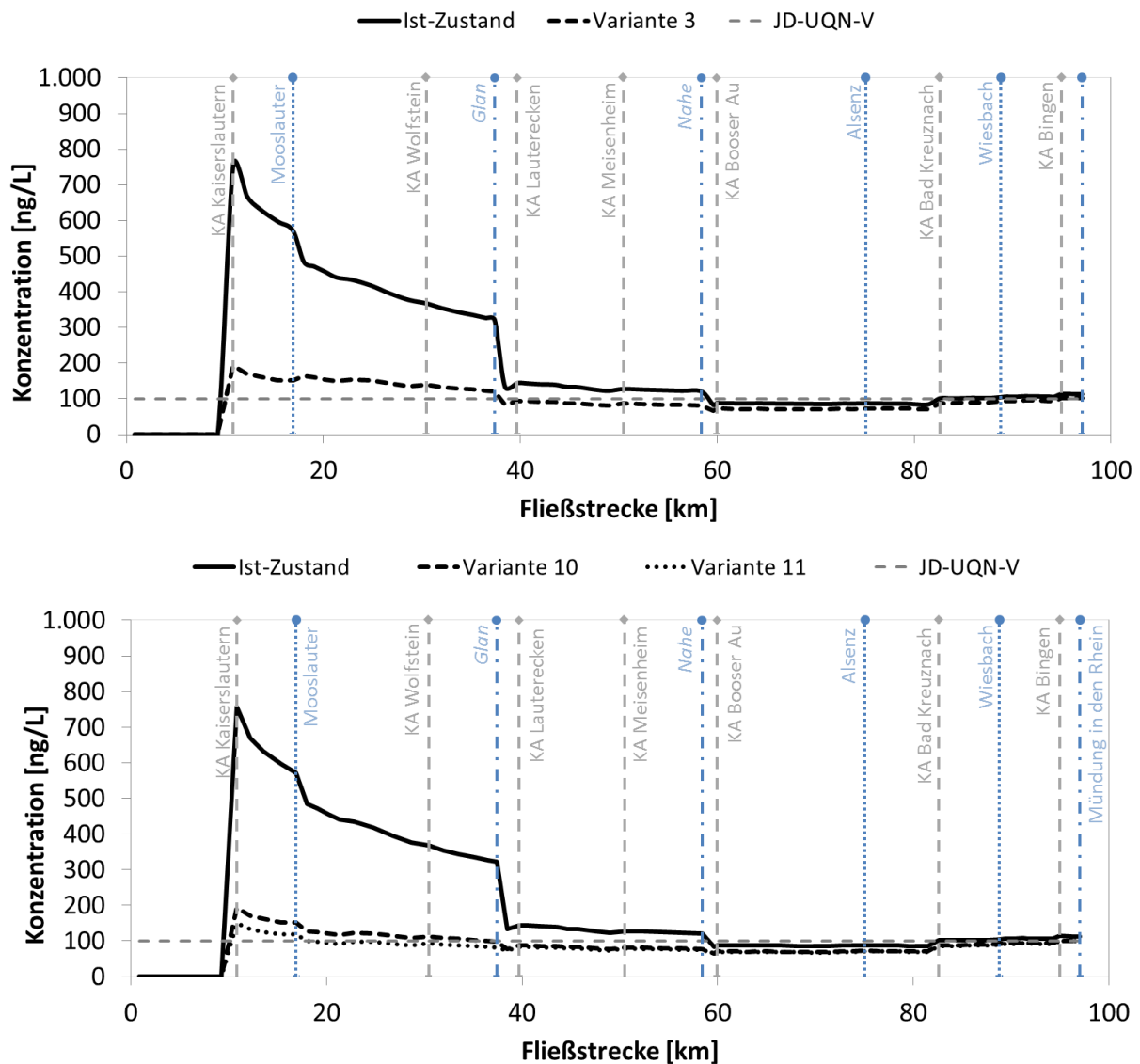


Abbildung 7: Konzentrationsverlauf der simulierten DCF-Konzentration im Gewässersystem Lauter-Glan-Nahe bei MQ für ausgewählte Maßnahmen (Varianten entsprechend Nummerierung in Tabelle 1)

In Ansatz gebrachte Zentralisierungen (Varianten 7, 8, 9, 12) haben im vorliegenden Fall keinen qualitativen und nur einen geringfügigen quantitativen Nutzen, da die unterstrom aus den Kläranlagen Olsbrücken (3.700 E) und Mehlbach (1.400 E) emittierte DCF-Fracht nur unwesentlich zur Belastung im Gewässer beiträgt.

Es wird deutlich, dass die Lauter hinsichtlich DCF ohne weitergehende quellenorientierte Vermeidungsmaßnahmen (z. B. Reduktion der Verbrauchsmengen, Substitution), nicht über die gesamte Fließstrecke in einen Zustand mit $BF < 1$ überführt werden kann.

Wiesbach

Die nachfolgenden Betrachtungen zum Wiesbach berücksichtigen im Vergleich zum Ist-Zustand die in Planung befindlichen Schließungen der Kläranlagen Welgesheim (Überleitung zur Kläranlage Grolsheim außerhalb des Einzugsgebiets des Wiesbachs) und Vendersheim (Überleitung zur Kläranlage Gau-Bickelheim).

Tabelle 2: Nutzen verschiedener Maßnahmen im Einzugsgebiet des Wiesbachs bei MQ (4. RS = 4. Reinigungsstufe; RBF = Retentionsbodenfilter; ÜL = Überleitung; KA = Kläranlage, MWE = Mischwasserentlastung)

Variante	Gau-Bickelheim		Flonheim		Ensheim		Nack-Niederwiesen		Nutzen	
	KA	MWE	KA	MWE	KA	MWE	KA	MWE	qualitativ	quantitativ
									Zus. km < UQN	- kg/a
Ist	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0	0,0
3	4.RS	-	-	-	-	-	-	-	0,0	1,1
4	4.RS	RBF	-	-	-	-	-	-	0,0	1,2
5	-	-	4.RS	-	-	-	-	-	5,4	0,6
6	-	-	4.RS	RBF	-	-	-	-	8,2	0,6
7	-	-	4.RS	RBF	ÜL	-	-	-	10,0	0,7
8	-	-	4.RS	RBF	-	-	ÜL	-	10,0	0,7
9	-	-	4.RS	RBF	ÜL	-	ÜL	-	14,2	0,8
10	4.RS	-	4.RS	-	-	-	-	-	14,6	1,7
11	4.RS	RBF	4.RS	RBF	-	-	-	-	20,0	1,8
12	4.RS	RBF	4.RS	RBF	ÜL	-	ÜL	-	26,0	2,0

Tabelle 2 gibt einen Überblick der für den Wiesbach (inklusive Nebengewässer) untersuchten Varianten sowie den daraus erzielbaren qualitativen und quantitativen Nutzen. Abbildung 8 zeigt ausgewählte Konzentrationsprofile für das Gewässersystem Wiesbach-Nahe bei MQ.

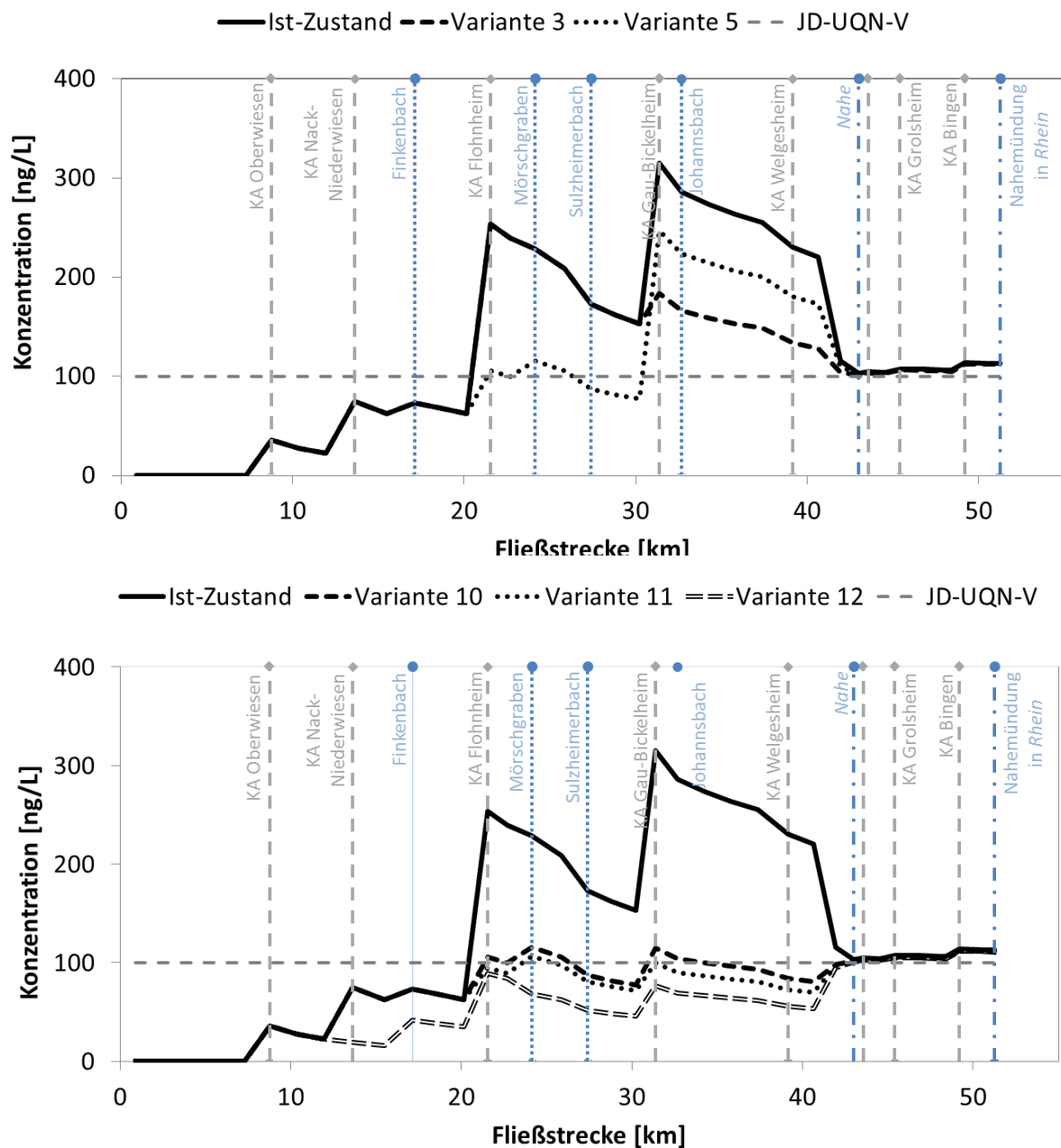


Abbildung 8: Konzentrationsverlauf der simulierten DCF-Konzentration im Gewässersystem Wiesbach-Nahe bei MQ für ausgewählte Maßnahmen (Varianten entsprechend Nummerierung in Tabelle 2)

Zur Verbesserung der Gewässerqualität im Einzugsgebiet des Wiesbachs ist der Ausbau der Kläranlagen Flonheim (14.500 E) und Gau-Bickelheim (13.000 E) mit einer 4. Reinigungsstufe der wichtigste Ansatzpunkt. Abbildung 8 verdeutlicht, dass sich bei MQ erst durch Nachrüstung der beiden Kläranlagen mit einer 4. Reinigungsstufe rechnerisch DCF-Konzentrationen unter JD-UQN-V ergeben. Nur noch unmittelbar

unterhalb der Einleitungen der beiden Kläranlagen und des Zuflusses des Mörschgrabens (Kläranlage Ensheim, 3.600 E) wird bei MQ das Qualitätsziel über kurze Fließstrecken überschritten. Die weitergehende Behandlung der Mischwasserüberläufe an den beiden größeren Kläranlagen bewirkt, dass JD-UQN-V über die gesamte Fließstrecke eingehalten werden kann. Auch durch die Überleitung des Abwassers der Kläranlage Ensheim-Bermesheim (3.600 E) oder der Kläranlage Nach-Niederwiesen (1.300 E) zur Kläranlage Flonheim kann dieses Ziel erreicht werden.

Dies bedeutet, dass im Unterschied zur Lauter, die DCF-Belastung im Wiesbach bei MQ alleine mittels technischen Maßnahmen in einen Zustand mit $BF < 1$ überführt werden könnte.

5 Schlussfolgerungen und Ausblick

Im Rahmen des Projektes Mikro-System werden mittels vergleichender Simulation die durch technische Maßnahmen erreichbaren Verbesserungen der Gewässerqualität in zwei ausgewählten Fließgewässern im Einzugsgebiet der Nahe untersucht. Als Indikatorsubstanz für schmutzwasserbürtige Stoffe wurde das in Deutschland weitverbreitete Schmerzmittel Diclofenac verwendet.

Die Ergebnisse der Maßnahmenanalyse bestätigen und ergänzen die Erkenntnisse aus dem Vorgängerprojekt (Schmitt et al. 2016). Durch zentrale Maßnahmen auf kommunalen Kläranlagen kann ein Großteil der aus Abwassersystemen emittierten Mikroschadstofffracht effizient reduziert werden. Durch die weitergehende Behandlung des entlasteten Mischwassers - hier mittels Retentionsbodenfilter – können die Gewässer weiter entlastet werden, wodurch im betrachteten Fall die bzgl. Diclofenac problematisch belastete Lauter rechnerisch bei MQ nahezu über die gesamte Fließstrecke in einen Zustand mit $BF < 1$ überführt werden könnte. Auch die Überleitung kleinerer Kläranlagen zu größeren Anlagen, die ggf. mit einer 4. Reinigungsstufe ausgestattet werden, kann als effektive Handlungsmöglichkeit angesehen werden. Am Wiesbach könnte hierdurch die durchschnittliche Diclofenac-Belastung bei MQ über die gesamte Fließstrecke unter JD-UQN-V reduziert werden.

Es werden aber auch die Grenzen der untersuchten technischen Maßnahmen deutlich, deren Umsetzung alleine nicht für die Einhaltung der angestrebten Qualitätsziele – hier aufgezeigt für die Einzelsubstanz Diclofenac - ausreichen. Dies verdeutlicht den zusätzlichen Handlungsbedarf im Bereich quellenorientierter Vorsorgemaßnahmen (Vermeidung, Substitution, Aufklärung etc.). Hierzu gibt es positive Beispiele aus der Vergangenheit, wie die Substitution von Blei in Benzin, der Verzicht auf Alkylphenolethoxylate in Waschmitteln (Welker, 2013) oder die Sensibilisierung von Schlüsselakteuren (Ärzte, Apotheker etc.) für die Sensibilisierung der Bevölkerung zum Thema Medikamentenrückstände im Wasserkreislauf (Nafo, 2017). Quellenorientierte Maßnahmen lassen sich in der Regel nicht kurzfristig realisieren. Die Ergebnisse aktueller Untersuchungen unterstreichen für eine Vielzahl von Stoffen einen akuten Handlungsbedarf (Schmitt et al., 2016; UBA 2016), die nachgeschaltete technische Maßnahmen im Bereich der Abwasserreinigung als kurzfristige Optionen zur Verbesserung der Gewässerqualität erfordern.

Eine zielführende Strategie zur Minderung der über Abwassersysteme in die Gewässer eingetragenen Mikroschadstoffe erfordert daher breitgefächerte Bestrebungen, die nachgeschaltete Maßnahmen ebenso wie quellenorientierte Maßnahmen beinhalten. Die damit verbundenen Konzepte und Strategien müssen einerseits von den Betreibern, andererseits aber auch von den Bürgerinnen und Bürgern mitgetragen werden. In einem nächsten Arbeitsschritt werden daher Ansätze entwickelt, wie Betreiber sowie Bürgerinnen und Bürger in den Auswahl- bzw. Entscheidungsprozess zur Realisierung technischer Maßnahmen integriert werden können. Außerdem werden auf ausgewählten Kläranlagen technische Studien in Zusammenarbeit mit den Betreibern durchgeführt, welche die verfahrenstechnischen Möglichkeiten zur Integration einer 4. Reinigungsstufe in den Abwasserreinigungsprozess aufzeigen sollen.

Weiterführende Strategien zum Betrieb 4. Reinigungsstufen erfordern zudem eine Vorgabe der in der 4. Reinigungsstufe zu erreichenden Elimination der Mikroschadstoffe. Hierbei ist zwischen emissions- und immissionsbasierten Ansätzen zu unterscheiden. Der Emissionsansatz basiert auf der Einhaltung einer festen Ablaufkonzentration oder fordert eine bestimmte Eliminationsrate für einen Einzelstoff oder eine Summe von Einzelsubstanzen. Mit der abflussbedingten Verdünnung würde mit

dieser Elimination eine vorgegebene Qualitätsanforderung im Gewässer mit hoher Wahrscheinlichkeit erreicht. Der immissionsbasierte Ansatz geht dagegen von der Qualitätsanforderung im Gewässer aus und legt eine zulässige Gewässerkonzentration fest, die im Jahresdurchschnitt eingehalten werden muss. Unter Zugrundelegung einer Verdünnungsrate kann die notwendige Ablaufkonzentration der Kläranlage damit variieren. Die Anforderungen und Sensitivitäten beider Betrachtungen werden in einem weiteren Arbeitsschritt durch eine weiterführende Gesamtmodellierung von Kläranlagenablauf und Gewässerabfluss unter Berücksichtigung der oberlaufseitigen Vorbelastung untersucht und abgeleitet.

6 Danksagung

Die Projekte Mikro_N und Mikro-System werden vom Ministerium für Umwelt, Energie, Ernährung, und Forsten Rheinland-Pfalz (MUEEF) gefördert. Die Autoren danken dem MUEEF für seine finanzielle Unterstützung.

7 Literatur

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, ABl. EU Nr. L 226

Kehrein N., Berlekamp J. und Klasmeier J. (2014). Modelling the fate of down the-drain chemicals in whole watersheds: New version of the GREAT-ER software. Environ. Modell. Softw., 2014(64), 1-8

Knerr H., Gretzschel O., Schmitt T.G., Kolisch G. und Taudien Y. (2016). Mikroschadstoffe in Oberflächengewässern – Situationsanalyse und Maßnahmen szenarien am Beispiel der Nahe. KW Korrespondenz Wasserwirtschaft (9) Nr. 10 , 613-618

Kolisch G., Taudien Y. und Knerr H. (2016). Kosten-Nutzen-Bewertung einer Einführung 4. Reinigungsstufen auf kommunalen Kläranlagen. Wasser und Abfall, (18) Nr. 4, 44-49

- Nafo I. (2017). Den Spurenstoffen auf der Spur in Dülmen, Wasser und Abfall, Nr. 3/2017, 18-25
- OGewV (2016). Verordnung zum Schutz der Oberflächengewässer (Oberflächengewässerverordnung - OGewV) vom 20. Juni 2016, BGBl. I S. 1373
- Schmitt T.G., Knerr H., Gretzschel O., Kolisch G. und Taudien Y. (2016). Relevanz, Möglichkeiten und Kosten einer Elimination von Mikroschadstoffen auf kommunalen Kläranlagen in Rheinland-Pfalz, aufgezeigt am Beispiel der Nahe - Mikro_N. Pilotstudie im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Landwirtschaft, Ernährung, Weinbau und Forsten (MULEWF) des Landes Rheinland-Pfalz, Schlussbericht, Mai 2016
- UBA (Hrsg.) (2016). Maßnahmen zur Verminderung des Eintrages von Mikroschadstoffen in die Gewässer – Phase 2, Umweltbundesamt, UBA Texte 60/2106, Forschungskennzahl 3712 21 225, UBA-FB 002362 (06/2016), Umweltbundesamt, Dessau
- Welker A. (2013). Schadstoffminimierung im urbanen Wassersystem, In: Schriftenreihe des Fachgebietes Siedlungswasserwirtschaft an der Technischen Universität Kaiserslautern, Bd. 36, 67-90

Korrespondenz an:

Dr.-Ing. Henning Knerr
Technische Universität Kaiserslautern
Fachgebiet Siedlungswasserwirtschaft
Paul-Ehrlich Straße 14
D-67663 Kaiserslautern

Tel: +49(0)631 205 3947

Fax: +49(0)631 205 3947

Email: henning.knerr@bauing.uni-kl.de