



INDIPRO

Schriftenreihe, Heft 12/2023



INDIZIENPROZESS –
Vertiefende Ermittlungen und Auswertungen
von Gewässergütedaten
und zusätzlichen Informationen
zur Identifikation erforderlicher
WRRL-Maßnahmen

Claudia Lindner; Sylvia Rohde

Inhaltsverzeichnis

1	Veranlassung	7
2	Zielstellung	8
3	Phosphor im urbanen Wassersystem	8
3.1	Eintragspfade	8
3.1.1	Abwasseranlagen des urbanen Wassersystems.....	9
3.1.2	Landwirtschaft	11
4	Indikatorsubstanzen	11
4.1	Auswahlkriterien	11
4.2	Indikatorsubstanzen für Einträge aus kommunalem Abwasser	12
4.3	Indikatorsubstanzen für Einträge aus der Landwirtschaft.....	14
4.4	Indikatorsubstanzen für Einträge von Verkehrsflächen	15
4.5	Übersicht	16
4.6	Zusammenhänge.....	17
5	Handlungsanleitung	18
5.1	Methodik.....	18
5.1.1	Defizitanalyse	18
5.1.2	Kausalitäts- und Verursacheranalyse	20
5.1.3	Handlungsanalyse	23
5.1.4	Zusammenfassung	25
	Literaturverzeichnis	27

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Quellen und Verteilung von Phosphor im urbanen Wassersystem (nach WELKER 2004, TETZLAFF 2009)	9
Abbildung 2: Aufkommen von Gesamt-Phosphor in verschiedenen Komponenten des urbanen Wassersystems	10
Abbildung 3: Jahresmittelwerte von Carbamazepin, Ibuprofen und Gesamt-P im Mülsenbach	13
Abbildung 4: Jahresmittelwerte von Carbamazepin, Ibuprofen, Coffein und Gesamt-P in der Kleinen Jahna	13
Abbildung 5: Zusammenhang zwischen o-PO ₄ -P und NH ₄ -N im Graben aus Altlommatzsch	14
Abbildung 6: Terbutylazin im OWK Keppritzbach-1 an der Messstelle OBF13800.....	14
Abbildung 7: Schema zum Stoffeintragsgeschehen in Flussgebieten (GEBEL ET AL. 2022).....	19
Abbildung 8: Farbschema für die visuelle Klassifizierung von Indikatorsubstanzen der Landwirtschaft.....	21
Abbildung 9: Zusammenhang zwischen Durchfluss und ortho-PO ₄ -P-Konzentration im Mülsenbach	22
Abbildung 10: Zusammenhang zwischen ortho-PO ₄ -P und Gesamt-P im Mülsenbach (N = 145, 2006-2021).....	23
Abbildung 11: Übersicht der empfohlenen Schritte für die Datenauswertung.....	25
Abbildung 12: Übersicht der im Power-Point verfügbaren Symbole zur Erstellung eines Schemas über Zuflüsse, Messstellen und potentielle Eintragsquellen im Einzugebiet	30
Abbildung 13: Schematische Übersicht des OWK Keppritzbach-1	31
Abbildung 14: Übersicht zum ökologischen Zustand und allgemeine chemisch-physikalische Parameter (ACP) des OWK Keppritzbach-1 (BWP 2022-2027)	32
Abbildung 15: P-Einträge nach STOFFBILANZ in den OWK Keppritzbach-1	33
Abbildung 16: Mittlere jährliche Gesamt-P und o-PO ₄ -P-Konzentrationen der Jahre 2006-2021 an der repräsentativen Messstelle für Chemie im Keppritzbach-1 (OBF13800)	33
Abbildung 17: Einzelmesswerte der Gesamt-P und o-PO ₄ -P-Konzentrationen der Jahre 2019-2021 an der repräsentativen Messstelle für Chemie im Keppritzbach-1 (OBF13800)	34
Abbildung 18: Gesamt-P-Konzentration im Keppritzbach-1 (Einzelmesswerte 2017, 2018, 2020).....	34
Abbildung 19: ortho-PO ₄ -P-Konzentration im Keppritzbach-1 (Einzelmesswerte 2017, 2018, 2020)	35
Abbildung 20: P-Konzentrationen im Bach aus Wuhnitz (2020).....	35
Abbildung 21: P-Konzentrationen im Zufluss aus Altlommatzsch (2018)	36
Abbildung 22: Ammonium-Stickstoff und Chlorid an der RC-Messstelle (2020-2022).....	36
Abbildung 23: Chlorid-Konzentration im Verlauf des OWK Keppritzbach-1 (Messjahre 2017, 2018, 2020)	37
Abbildung 24: Ammonium-Stickstoff-Konzentration im Verlauf des OWK Keppritzbach-1 (Messjahre 2017, 2018, 2020)	37
Abbildung 25: Übersicht zum Konzentrationsverlauf von Gesamt-P, o-PO ₄ -P und NH ₄ -N im Keppritzbach-1 (2020).....	38
Abbildung 26: Mittelwerte der Indikatorsubstanzen für kommunales Abwasser im Keppritzbach-1 an der RC-Messstelle (2012-2021)	38
Abbildung 27: Einzelwerte der Indikatorsubstanzen für kommunales Abwasser den der RC-Messstelle im Keppritzbach-1 (2021).....	39
Abbildung 28: Coffein im Keppritzbach 2017	39
Abbildung 29: Ibuprofen im Keppritzbach 2017	39
Abbildung 30: Carbamazepin im Keppritzbach 2017	40

Abbildung 31: Diclofenac im Keppritzbach 2017.....	40
Abbildung 32: Metformin im Keppritzbach 2017.....	40
Abbildung 33: Metformin im Keppritzbach 2018.....	40
Abbildung 34: Diflufenican im Keppritzbach (2018)	42
Abbildung 35: Terbutylazin im Keppritzbach (2018).....	42
Abbildung 36: Metolachlor im Keppritzbach (2018).....	42
Abbildung 37: Metazachlor im Keppritzbach (2018).....	42
Abbildung 38: Metolachlorsulfonsäure im Keppritzbach 2017.....	43
Abbildung 39: Metazachlorsulfonsäure im Keppritzbach 2017.....	43
Abbildung 40: Indikatorsubstanzen für kommunales Abwasser im Bach aus Wuhnitz (2017-2020).....	43
Abbildung 41: Indikatorsubstanzen für kommunales Abwasser im Graben aus Altlommatzsch (2018)	43
Abbildung 42: Indikatoren für kommunales Abwasser im Bach aus Wuhnitz (2017).....	44
Abbildung 43: Indikatoren für kommunales Abwasser im Graben aus Altlommatzsch (2018).....	45
Abbildung 44: Durchfluss am Pegel Paltzschen und Gesamt-P-Konzentration an der OBF 13800 (2018-2020).....	47
Abbildung 45: Korrelation der Durchflusswerte mit den Gesamt-P-Konzentrationen an der RC- Messstelle (2018-2020)	47

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Schema zur Bewertung von Indikatorsubstanzen.....	16
Tabelle 2: Tabellarische Übersicht über die Zusammenhänge beim Nachweis von Indikator- substanzen.....	17
Tabelle 3: Empfohlene Häufigkeiten/Zeitspannen zur Auswertung der Monitoring-Daten	20
Tabelle 4: Auszug geeigneter Maßnahmengruppen aus dem LAWA-BLANO Maßnahmenkatalog (LAWA 2020).....	24
Tabelle 5: Jahresmittelwerte der Indikatorsubstanzen für Landwirtschaft und Fluoranthren an der RC-Messstelle im Keppritzbach-1	41
Tabelle 6: Indikatorsubstanzen für Landwirtschaft an der RC-Messstelle im Keppritzbach-1 (2021)....	41
Tabelle 7: Indikatoren für die Landwirtschaft im Bach aus Wuhnitz – OBF13706 (2017).....	45
Tabelle 8: Indikatoren für die Landwirtschaft im Graben aus Altlommatzsch – OBF13708 (2018).....	46

Abkürzungsverzeichnis

AbwV	Abwasserverordnung
ACP	Allgemeine chemisch-physikalische Parameter
BfUL	Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft
BG	Bestimmungsgrenze
BWZ	Bewirtschaftungszeitraum
DWD	Deutscher Wetterdienst
EG-WRRL	Europäische Wasserrahmenrichtlinie
ESA	ethane sulfonic acide (Metabolit)
EW	Einwohnerwert
FWK	Fließgewässer-Wasserkörper
HMWB	erheblich veränderter Wasserkörper (= heavily modified water body)
JD	Jahresdurchschnitt
LAWA	Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser
LfULG	Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
N	Stickstoff
NH ₄ -N	Ammonium-Stickstoff
NO ₃ -N	Nitrat-Stickstoff
NO ₂ -N	Nitrit-Stickstoff
NWB	natürlicher Wasserkörper (=natural water body)
OBF	Oberflächenmessstelle für Fließgewässer (Kürzel)
OGewV	Verordnung zum Schutz der Oberflächengewässer
ortho-PO ₄ -P	ortho-Phosphat-Phosphor (= o-PO ₄ -P)
OWK	Oberflächenwasserkörper
P	Phosphor
Pges	Gesamt-Phosphor
RB	repräsentative Messstelle für biologische Parameter nach WRRL
RC	repräsentative Messstelle für chemische Parameter nach WRRL
SächsWG	Sächsisches Wassergesetz
SO ₄	Sulfat
TOK	Teilortskanalisation
TP	Gesamt-Phosphor (= Gesamt-P)
UQN	Umweltqualitätsnorm
WHG	Wasserhaushaltsgesetz
WK	Wasserkörper

1 Veranlassung

Mit Einführung der europäischen Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) 2000/60/EG wird angestrebt, alle Flüsse, Seen und Küstengewässer bis spätestens 2027 in einen guten ökologischen Zustand (Potenzial) zu überführen. Die WRRL ist in Deutschland im Wasserhaushaltsgesetz (WHG) und u. a. in der Verordnung zum Schutz der Oberflächengewässer (OGewV 2016) sowie im Sächsischen Wassergesetz (SächsWG) verankert.

Gegenwärtig stehen wir am Beginn des dritten Bewirtschaftungszeitraumes (2022 – 2027). Nach 12 Jahren Laufzeit der Maßnahmenprogramme zur Umsetzung der EG-WRRL befinden sich in Sachsen noch immer über 90 % der Fließgewässer-Wasserkörper (FWK) in keinem guten ökologischen Zustand. Besonders negativ wirken sich auch zu hohe Phosphoreinträge aus, da sie u. a. zu verstärktem Pflanzenwachstum mit den bekannten Folgen der Eutrophierung und Verdrängung nährstoffsensibler Arten führen. Die in der OGewV festgeschriebenen Anforderungen für den guten Zustand bezüglich der Orientierungswerte der unterstützenden Qualitätskomponenten Gesamt-Phosphor und ortho-Phosphat-Phosphor werden in vielen sächsischen Fließgewässern seit Jahren nicht erfüllt. Mehr als die Hälfte der FWK (58 %) zeigen zu hohe Konzentrationen an Gesamtphosphor (TP). Der Orientierungswert von ortho-Phosphat-Phosphor (o-PO₄-P), als gelöster Bestandteil des Gesamtphosphors, wird bei 36 % der FWK nicht eingehalten (LFULG 2021A Sächsische Beiträge).

Die in den vergangenen Bewirtschaftungszyklen durchgeführten Maßnahmen führten bisher nur zu einer geringen Verbesserung der P-Konzentrationen in den Fließgewässern, die allerdings für eine deutliche Erhöhung der Zielerreichungsquote beim ökologischen Zustand nicht ausreicht.

Der Koalitionsvertrag der sächsischen Regierungsparteien 2019-2024 sieht vor, für Vorrang- und Zielerreichungsgewässer, bei denen innerhalb von drei Jahren keine Verbesserung des ökologischen Zustands eintreten, gewässerspezifisch abrechenbare Kenngrößen zur Verbesserung des ökologischen Zustands aufzustellen, sowie integrierte Gewässerentwicklungskonzepte aufzustellen und umzusetzen. Dabei sind die Zielerreichungsgewässer diejenigen Oberflächenwasserkörper (OWK), die sich zu Beginn des Bewirtschaftungszeitraumes nicht im guten ökologischen Zustand befinden, diesen aber bis zum Ende der 6-Jahres Zyklus durch die Umsetzung geeigneter Maßnahmen erreichen sollen.

Die Gewässerqualität der sächsischen OWKs ist vielfach anthropogen u. a. durch Nährstoffeinträge aus Einleitungen und Abschwemmungen von befestigten oder bewirtschafteten Flächen beeinträchtigt. Dabei ist Phosphor zu einem der Schlüsselparameter für die Gewässerbewirtschaftung geworden, da vergleichsweise leicht zu messen. So ermöglicht 1 g Phosphat-Phosphor die Entwicklung von mindestens 100 g Phytoplankton. Für den aeroben Abbau dieser Biomasse werden wiederum 150 g Sauerstoff benötigt (MLNU 2009).

Jeder FWK, in dem die Orientierungswerte für Phosphorverbindungen überschritten werden, muss daher genauer hinsichtlich der Eintragswege und der Quellen der P-Belastung analysiert werden. Als Hauptquellen der Phosphor-Belastungen sind Emissionen aus der Siedlungsentwässerung und der Landwirtschaft zu nennen (GEBEL 2022, NICKEL, J. P., FUCHS, S., HÖRNER, L. 2021, TETZLAFF 2020, TETZLAFF 2009, PETER, M., MILLER, R. 2008, PRASUHN, V., LAZZAROTTO, P. 2005). Allerdings ist es in der Praxis nicht immer einfach, die Haupteintragspfade und -quellen in die jeweiligen Gewässer konkret und zweifelsfrei zu identifizieren. Das ist aber wichtig, um Verursacher direkt benennen zu können, die dann verpflichtet werden müssen, durch geeignete Maßnahmen die Phosphor-Einträge in die betroffenen Gewässer soweit wie erforderlich zu verringern, um eine der Grundlagen für die Erreichung des ökologischen Bewirtschaftungsziels zu schaffen.

2 Zielstellung

Um das Ziel des guten ökologischen und chemischen Zustandes/Potentiales in den sächsischen Fließgewässern erreichen und gezielter Maßnahmen entwickeln zu können, müssen spezifisch für jeden Oberflächenwasserkörper die Eintragspfade der gemessenen Stoffe (Nähr- und Schadstoffe) analysiert werden. Durch die Auswertung weiterer vorhandener Wassergüte-Daten und zusätzlicher Informationen aus anderen Fachbereichen sollen für Fließgewässer-Wasserkörper (ca. 300) mit zu hohen Phosphor-Belastungen die Eintragsquellen ermittelt und geeignete Maßnahmen zur erforderlichen Reduzierung der Einträge abgeleitet werden.

Mit Hilfe festzulegender Indikatorsubstanzen, die aufgrund der Spezifität auf bestimmte Quellen hinweisen, sollen insbesondere anthropogen verursachte Phosphoreinträge erkennbar sein und folglich auf deren Herkunft geschlussfolgert werden können. In den Fließgewässer-Wasserkörpern, in denen die Messwerte für Phosphor über den Orientierungswerten liegen, sollen vertiefende Betrachtungen zu den zeitlichen und räumlichen Verläufen der Stoffkonzentrationen anhand der Einzelmessergebnisse durchgeführt werden.

Das vorliegende Forschungsvorhaben zeigt eine Vorgehensweise auf, wie über die Auswertung vorhandener und frei verfügbarer Wassergüte-Daten (Zugang zu den Anwendungen in iDA zu Gewässergüte bzw. Beschaffenheit) und zusätzlicher Informationen aus anderen Fachbereichen Quellen und Eintragspfade für Phosphor eingegrenzt und gezielter als bisher Maßnahmen abgeleitet werden können. Das Vorgehen wird in einer „Handlungsanleitung“ zusammengestellt. Damit soll es den zuständigen Behörden ermöglicht werden, vorhandene Informationen so zu ordnen und zusammenzustellen, um im Bedarfsfall zukünftig auch eigenständig vertiefende Auswertungen durchführen zu können.

3 Phosphor im urbanen Wassersystem

3.1 Eintragspfade

Im Mittelpunkt der nachfolgenden Betrachtung stehen die Fließgewässer mit den maßgeblichen Phosphor-Einträgen aus dem urbanen Entwässerungssystem sowie den wichtigen Eintragspfaden aus anderen Nutzungsbereichen. Zum Vergleich haben unbelastete Fließgewässer einen ortho-Phosphat-Phosphor-Gehalt von $< 0,01 \text{ mg/l (o-PO}_4\text{-P)}$ (SCHÖNBORN, RISSE-BUHL 2013). $0,02 \text{ mg/l o-PO}_4\text{-P}$ ist für die meisten in Sachsen vorkommenden Gewässertypen der Hintergrundwert für den sehr guten ökologischen Zustand und das höchste ökologische Potenzial (Anlage 7 OGewV 2016).

Phosphor wird aus punktuellen und diffusen Quellen in Gewässer eingetragen. Für Phosphoreinträge in die sächsischen Gewässer wurden drei Verursacherbereiche identifiziert (GEBEL, M., UHLIG, M., BÜRGER, S., HALBFAß, S. 2022):

- Punktuelle Einträge kommunaler Kläranlagen sowie aus Direkteinleitungen von Industrie und Gewerbe;
- Einträge aus Entwässerungssystemen von Siedlungsgebieten, die mitunter nicht einzeln lokalisiert werden können (z.B. Einträge aus Kleinkläranlagen, Überläufe aus Misch- und Regenwasserkanalisation);
- Diffuse Einträge von unbefestigten Fläche, wie Landwirtschaft (Ackerland, Grünland, Obstbau, Weinbau), Nadelwald, Laubwald, unversiegelte Siedlungsflächen und Sonstige Flächen (z.B. Bergbauflächen).

Die nachfolgende Abbildung zeigt die betrachteten Nutzungen und relevanten Stoffströme von Phosphor.

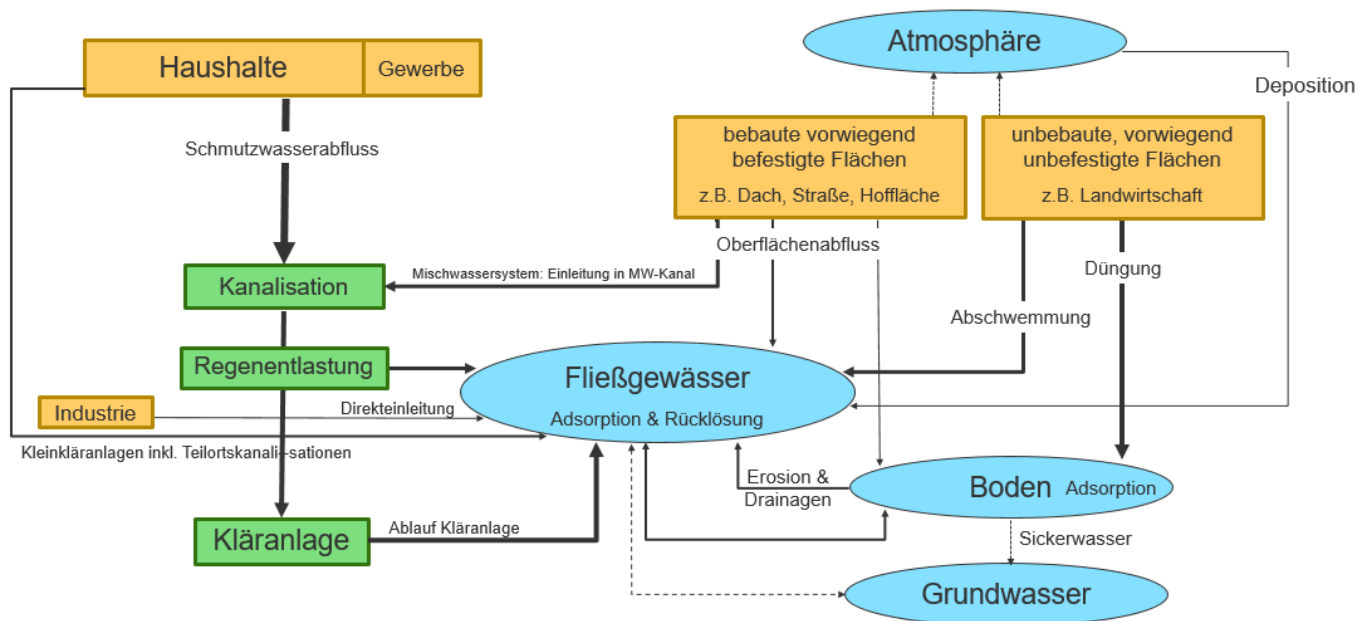


Abbildung 1: Quellen und Verteilung von Phosphor im urbanen Wassersystem (nach WELKER 2004, TETZLAFF 2009)

Lokal bedeutsam können die Phosphoreinträge durch die Direkteinleitungen von Kleinkläranlagen und der Industrie sein. Weitere Einträge von Phosphor in Fließgewässer erfolgen beispielsweise direkt durch Bodenerosion und diffus aus der Atmosphäre durch Deposition.

In Abhängigkeit von den naturräumlichen Gegebenheiten und der Landnutzung wird Phosphor über unterschiedliche Pfade in gelöster oder in partikulär gebundener Form in die Gewässer eingetragen. Hierbei bestehen Wechselwirkungen zwischen den am Phosphoreintrag und den Transport- und Umsetzungsprozessen beteiligten Teilsystemen von Boden, Grundwasser sowie Oberflächenwasser.

In der Analytik des Landesmessnetzes durch die Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft (BfUL) werden der Gehalt an Gesamt-Phosphor (TP bzw. Gesamt-P) aus der unfiltrierten Probe bestimmt sowie der Gehalt an ortho-Phosphat aus der filtrierten Probe, ausgegeben als ortho-Phosphat-Phosphor ($\text{o-PO}_4\text{-P}$). Für diese beiden Größen sind je nach Gewässertyp Orientierungswerte in der Anlage 7 OGeV 2016 vorgegeben.

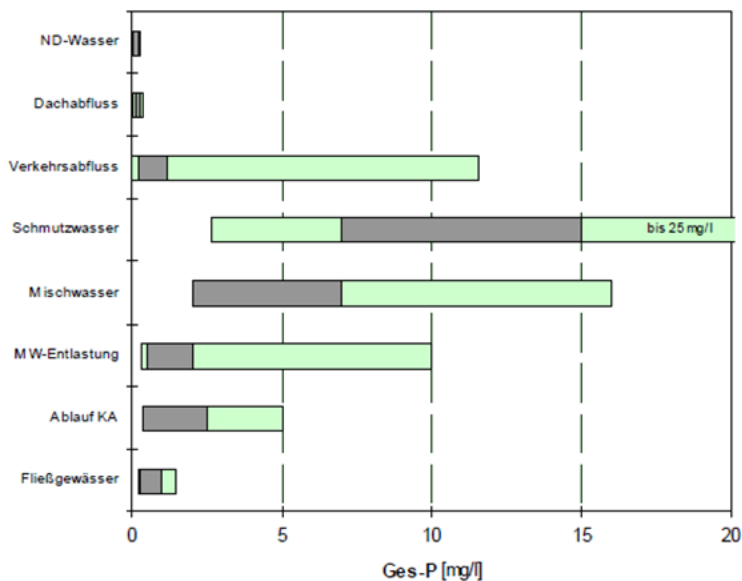
3.1.1 Abwasseranlagen des urbanen Wassersystems

Die maßgeblichen Stoffeinträge aus den urbanen Abwassersystemen erfolgen durch

- Mischwasserentlastungen (Niederschlagsabfluss und Schmutzwasser, ggf. nach Speicherung und/oder Behandlung),
- Kläranlagenabläufe (kommunal, industriell)
- Kleinkläranlagen,
- Regenwasserkanäle und
- Straßenentwässerungen.

Der Gehalt an Gesamt-Phosphor in den Teilen der urbanen Wassersystems gliedert sich, wie die in der nachfolgenden Abbildung von WELKER (2004) dargestellt. Der jeweils grüne Balken stellt den Spannweitenbereich dar, der von extrem niedrigen bis zu extrem hohen gemessenen Konzentrationen reicht.

Zur besseren Vergleichbarkeit eines Stoffes in unterschiedlichen Systemen kennzeichnet der jeweils graue Bereich den so genannten engen, „subjektiven Vertrauensbereich“ dar. Für dessen Festlegung wurden die verwendeten Messprogramme u.a. auf deren Repräsentanz geprüft.



Legende: ND-Wasser: Niederschlagswasser (n=6); Dachabfluss (n=7); Verkehrsflächenabfluss (n=26); Schmutzwasser (n=21); Mischwasser (n=8); Mischwasserentlastungsabfluss (n=12); Ablauf Kläranlagen (KA) (n=9); Fließgewässer (n=4) ...n = Anzahl der Messungen

Quelle: WELKER 2004

Abbildung 2: Aufkommen von Gesamt-Phosphor in verschiedenen Komponenten des urbanen Wassersystems

Den Erwartungen entsprechend befinden sich im Schmutz- und Mischwasser die höchsten P-Konzentrationen. Diese werden i.d.R. nicht ungeklärt in die Gewässer eingetragen, sondern in kommunalen Kläranlagen gereinigt. Gewässerrelevant hingegen sind die Einträge aus Kläranlagenabläufen sowie Mischwasser-Entlastungen. Das Diagramm verdeutlicht, dass im Verkehrsabfluss (= Straßenentwässerung) hohe P-Konzentrationen auftreten können. So ist bei Fließgewässern in unmittelbarer Nähe bzw. mit Direkteinleitungen von Straßen mit hohem Verkehrsaufkommen mit dem Eintrag von Phosphor zu rechnen. Untersuchungen in Straßenentwässerungen zeigten mittlere Konzentrationen von 0,5 mg/l Gesamt-P, die mittleren Ablaufkonzentrationen von Sedimentationsbecken im Dauerstau lagen bei 0,45 mg/l Gesamt-P (IFS 2018). Bei einem hohen Anteil von Straßenbäumen kann die Baublüte in den Frühjahrs- und Frühsommermonaten für deutlich erhöhte P-Konzentrationen sorgen, indem Pollen und Blütenstaub eingetragen werden (IFS 2018).

Für Abwasserreinigungsanlagen bis einschließlich Größenklasse 3 ist derzeit keine Phosphoreliminierung vorgeschrieben. Diese Anlagen reduzieren die P-Konzentrationen häuslicher Abwässer nur unwesentlich. Die Einleitungen dieser stellen oft ganzjährig einen erheblichen Anteil des P-Eintrages in sehr kleine Fließgewässer dar. Insbesondere bei länger anhaltenden Trockenwetterverhältnissen z. B. während der Sommermonate dominieren oft die Einleitungen aus Abwasserreinigungsanlagen, welche überwiegend gelöste, pflanzenverfügbare Phosphorverbindungen eintragen und damit direkt zur Eutrophierung beitragen. Fließgewässer können dadurch stark belastet werden. Die Folge sind erhöhte P-Konzentrationen insbesondere bei geringer Wasserführung bzw. kleinen, abflussschwachen FWKs.

3.1.2 Landwirtschaft

Durch die Ausbringung von Dünger erfolgt eine Erhöhung des Phosphoranteils im Boden, der nicht immer vollständig von den Pflanzen aufgenommen werden kann. In stark ackerbaulich geprägten Einzugsgebieten mit großer Hangneigung dominieren die Phosphoreinträge aus Erosion und Abschwemmung. Insbesondere durch Starkniederschläge werden Abflussspitzen ausgelöst. Hierbei wird überwiegend partikulärer gebundener Phosphor eingetragen. Gleichzeitig wird der im Gewässersediment gespeicherte Phosphor im stärkeren Maße durch Ablandungsvorgänge im Bereich der Gewässerdynamik transportiert. Bei sinkenden Abflusshöhen kommt es im Gewässer wieder zur Sedimentation der Partikel.

Phosphor kann auch über Drainagen in die Fließgewässer verlagert werden. Der Anteil des gelösten anorganischen (pflanzenverfügbaren) Phosphors liegt hier bei über 90 %, ist aber nur ein sehr geringer Anteil im Verhältnis zum gebundenen Phosphor auf landwirtschaftlichen Flächen (TETZLAFF 2009).

Die Voraussetzungen für einen anthropogen bedingten, diffusen P-Eintrag aus landwirtschaftlich genutzten Teilflächen des Einzugsgebiets können wie folgt beschrieben werden:

- hoher P-Gehalt im Boden,
- P-Freisetzung aus dem Oberboden z.B. durch geringe Sorption oder P-Verlagerung aufgrund der Anfälligkeit der Bodenpartikel für Wassererosion,
- Transportmedien: auftretender Oberflächenabfluss, Erosion bzw. künstliche Entwässerung der Flächen,
- hydraulische Anbindung der Teilflächen mit Emissionspotenzial an den Vorfluter durch starke Hangneigung (Erosion) oder Entwässerung.

Alle vier Bedingungen sind insbesondere an Gewässern mit intensiv ackerbaulich genutzten Einzugsgebieten und einem hohen Anteil an Steillagen gegeben.

Lokal können die Einträge von befestigten landwirtschaftlich genutzten Flächen, z.B. asphaltierte Feldwege und Hofflächen ebenfalls bedeutend sein bezogen auf die P-Einträge in die Gewässer.

4 Indikatorsubstanzen

In der Praxis ist oft schwer feststellbar, wodurch die erhöhten Phosphorgehalte in Fließgewässern verursacht werden. Es besteht daher die Aufgabe, Indikatorsubstanzen und Belastungsindikatoren zu finden, die Hinweise auf Eintragspfade geben. Das Wort Indikator kommt aus dem Lateinischen "indicare" und bedeutet "anzeigen", "einen Hinweis auf etwas geben". Für das Projekt sollen Substanzen ausgewählt werden, die geeignet sind spezifische (charakteristische) Hinweise für bestimmte Eintragspfade von Phosphor in Gewässer zu geben.

4.1 Auswahlkriterien

Neben den allgemeinen physikalisch-chemischen Parametern werden entsprechend den Vorgaben der WRRL bzw. der OGEV weitere Schad- und Spurenstoffe untersucht. In Abhängigkeit von der Herkunft des Phosphors sind unterschiedliche Substanzen oft parallel nachweisbar. Diese sind der Hinweis bzw. Nachweis für bestimmte anthropogene Eintragsquellen und werden daher Indikatorsubstanzen genannt.

Um die Quelle des im Fließgewässer gemessenen Phosphors zu bestimmen, sollten Indikatorsubstanzen ausgewählt werden, die folgende Kriterien erfüllen:

- Die Stoffe sollten möglichst häufig und in Konzentrationen oberhalb der Bestimmungsgrenze gefunden werden, auch wenn es in Gewässern z. B. infolge von Niederschlagsereignissen zu höherer Verdünnung kommt.

- Die ausgewählten Substanzen sollten häufig und weitestgehend flächendeckend im Analysespektrum des bisherigen und zukünftigen Messprogramms vorhanden sein.
- Die Emissionsquelle(n) sollte(n) möglichst eindeutig, weit verbreitet und die Quellstärken relativ stabil sein. Saisonales Verhalten bzw. Auftreten einiger Stoffe z.B. bei Pflanzenschutzmitteln muss bei der Auswertung berücksichtigt werden.
- Die Verfolgung von Substanzen im Wasserkreislauf setzt deren hohe chemische und biologische Persistenz voraus. Leicht abbaubare Substanzen dagegen können als Indikatoren für unmittelbar stattgefunden Emissionen (z.B. direkte Einleitungen) verwendet werden.
- Das Abbau- bzw. Bindungsverhalten der Substanzen im Wasserkreislauf sollte weitestgehend bekannt sein.

In nicht verunreinigten Gewässern kann davon ausgegangen werden, dass die Gehalte an ortho-Phosphat-Phosphor (o-PO₄-P) sehr niedrig sind. Sie spiegeln sich in den Hintergrundwerten der OGewV wider. In abwasserbelasteten Gewässern nimmt der Gesamt-Phosphor-Gehalt deutlich zu, wobei der Anteil an o-PO₄-P vorherrscht. Ortho-Phosphat-Phosphor wird daher oft auch als Leitparameter für Abwassereinleitungen herangezogen (DVWK, 1993).

4.2 Indikatorsubstanzen für Einträge aus kommunalem Abwasser

Kommunales Abwasser umfasst häusliches und gewerbliches Abwasser (Schmutzwasser) sowie Niederschlagswasser (Regenwasser und Schmelzwasser). Bei häuslichem Abwasser handelt es sich um Wasser, welches nach Gebrauch in Haushalten entweder in kommunalen Kläranlagen oder in Kleinkläranlagen gereinigt und danach in ein Oberflächengewässer abgeleitet oder versickert wird.

Entsprechend dem aktuellen Lagebericht Abwasser (LFULG 2021b) erfolgt in Sachsen die Abwasserentsorgung von 365.400 Einwohnern dezentral in Kleinkläranlagen. Demgegenüber sind 3.706.400 EW an die öffentliche Abwasserbeseitigung angeschlossen (Stand 2018/2019). Anlagen mit einer Leistung bis 2.000 EW weisen in Sachsen einen Reinigungsgrad von durchschnittlich 52 % bzgl. Phosphor auf (LFULG 2021b).

Da sie aufgrund der Verwendung relativ eindeutig zuzuordnen sind, werden Arzneimittelwirkstoffe, Süßstoffe und unter bestimmten Voraussetzungen Ammonium-Stickstoff als primäre Indikatorsubstanzen für häusliches Abwasser herangezogen.

Als Indikatorsubstanzen werden folgende Spurenstoffe ausgewählt:

- **Acesulfam** wird in erster Linie als Süßstoff eingesetzt. Aus diesem Grund sind Emissionen hauptsächlich auf den Eintrag über häusliches Abwasser zurückzuführen. Acesulfam ist während der biologischen Abwasserreinigung persistent und somit als Indikator für Kläranlagenabläufe geeignet (JEKEL, DOTT 2013). Zukünftig ist zu beachten, dass anstelle von Acesulfam zunehmend **Sucralose** als Süßstoff eingesetzt wird (AWBR 2019). Dieser Süßstoff befindet sich seit 2014 im sächsischen Untersuchungsprogramm.
- Ein weiterer gut geeigneter Indikator für gereinigtes häusliches Abwasser aus Kläranlagen ist der Arzneimittelwirkstoff **Carbamazepin**. Die Substanz wird schlecht biologisch abgebaut und nur geringfügig sorbiert. Zudem ist Carbamazepin sowohl in wässriger Lösung als auch in Suspension über den umweltrelevanten pH-Bereich hydrolysestabil. Die Photolyse gilt als Hauptabbauweg von Carbamazepin in Oberflächengewässern. Die Halbwertszeiten liegen im Bereich von Monaten bis Jahren, so dass Carbamazepin als persistente Substanz in der wässrigen Umwelt angesehen werden muss (JEKEL, DOTT 2013).
- Der Arzneimittelwirkstoff **Diclofenac** wird in der Literatur ebenfalls oft als Indikator für Einträge aus Kläranlagenabläufen verwendet. Aufgrund der Häufigkeit der Messungen in sächsischen OWKs kann

die Substanz vergleichend hinzugezogen werden. Er sollte jedoch nicht als Hauptindikator für Kläranlagenabläufe genutzt werden, da teilweise eine Elimination in der biologischen Reinigungsstufe stattfindet (im Mittel 20 - 41 %) (ZHANG ET AL. 2008). Diclofenac ist hydrolysestabil. Als Hauptabbauweg im Gewässer verbleibt die Photolyse mit Halbwertszeiten von Stunden bis wenigen Tagen (JEKEL, DOTT 2013). Diclofenac adsorbiert gut an Aktivkohle, besitzt eine hohe Reaktivität mit Ozon und könnte daher bei Bedarf als Zielsubstanz für weitergehende Abwasserreinigungstechnologien verwendet werden.

Der Nachweis von schwer in Kläranlagen abbaubaren Substanzen im Gewässer deutet auf den Eintrag von gereinigtem Abwasser hin. Bei erhöhtem Durchfluss aufgrund von Regen bleibt die Fracht der über Kläranlagenabläufe eingetragenen, schwer abbaubaren Substanzen gleich, während die Konzentration der Stoffe abnimmt.

Mischwasserentlastungen und Einleitungen von unzureichend geklärtem kommunalem Abwasser wird durch Befunde von folgenden Indikatorsubstanzen im Gewässer angezeigt:

- **Coffein**, als Inhaltsstoff insbesondere von Kaffee,
- das Antidiabetikum **Metformin** und
- das Schmerzmittel **Ibuprofen**.

Die genannten drei Indikatorsubstanzen verhalten sich sehr ähnlich. Sie sind leicht abbaubar und werden effektiv in kommunalen Kläranlagen abgebaut. Es kann daher angenommen werden, dass Konzentrationsspitzen dieser Stoffe im Gewässer an Entlastungsereignisse aus Mischwassersystemen gekoppelt sind (DITTMER 2019, JACOB 2019). Dauerhaft hohe Messwerte im Fließgewässer weisen dagegen auf regelmäßige Einträge unzureichend geklärter häuslicher Abwässer, wie z.B. aus Kleinkläranlagen hin.

Die nachfolgenden Abbildungen verdeutlichen die oben beschriebenen Zusammenhänge sehr deutlich. Sowohl der Mülsenbach als auch die Kleine Jahna sind durch kommunales Abwasser beeinflusst. Während in den Mülsenbach bis unmittelbar oberhalb der Messstelle ausschließlich Kläranlagen < 1.000 EW direkt einleiten, befindet sich an der Kleinen Jahna eine Kläranlage nur wenige Kleinkläranlagen mit deutlichem Abstand zur Messstelle. Dadurch sind die Konzentrationen der leicht abbaubaren Substanzen Coffein und Ibuprofen an der Messstelle in der Kleinen Jahna deutlich niedriger als im Mülsenbach.

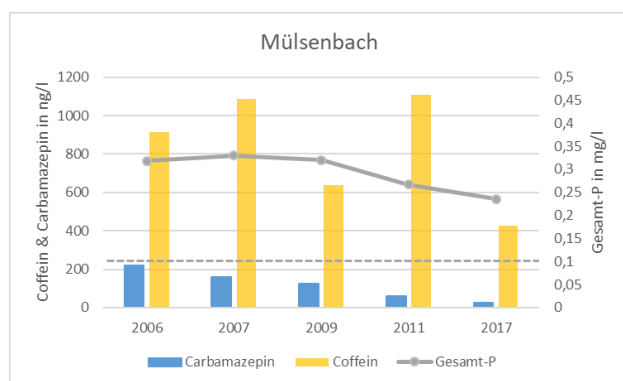


Abbildung 3: Jahresmittelwerte von Carbamazepin, Ibuprofen und Gesamt-P im Mülsenbach

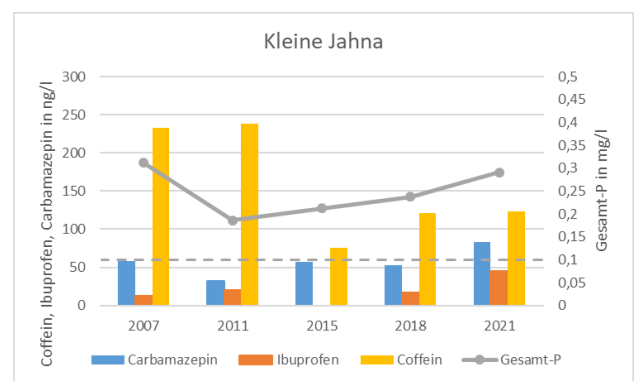


Abbildung 4: Jahresmittelwerte von Carbamazepin, Ibuprofen, Coffein und Gesamt-P in der Kleinen Jahna

Hohe Konzentrationen an **Ammonium-Stickstoff** (NH₄-N) in Fließgewässern werden i.d.R. durch landwirtschaftliche, kommunale oder industrielle Abwässer verursacht. In bergbaulich beeinflussten Fließgewässern ist ebenfalls mit erhöhten NH₄-N-Konzentrationen zu rechnen.

Länger anhaltende bzw. regelmäßige, hohe $\text{NH}_4\text{-N}$ -Konzentrationen in Verbindung mit erhöhten $\text{o-PO}_4\text{-P}$ -Konzentrationen deuten auf eine verstärkte Einleitung von unzureichend gereinigtem, häuslichen Abwasser hin. Dies verdeutlicht die untenstehende Abbildung. Es ist ein Zusammenhang zwischen der ortho- $\text{PO}_4\text{-P}$ -Konzentration und der $\text{NH}_4\text{-N}$ -Konzentration bei den Messungen im Jahr 2018 im Graben aus Altlommatzsch erkennbar. Dieses Gewässer ist sehr stark durch direkt einleitende Kleinkläranlagen belastet.

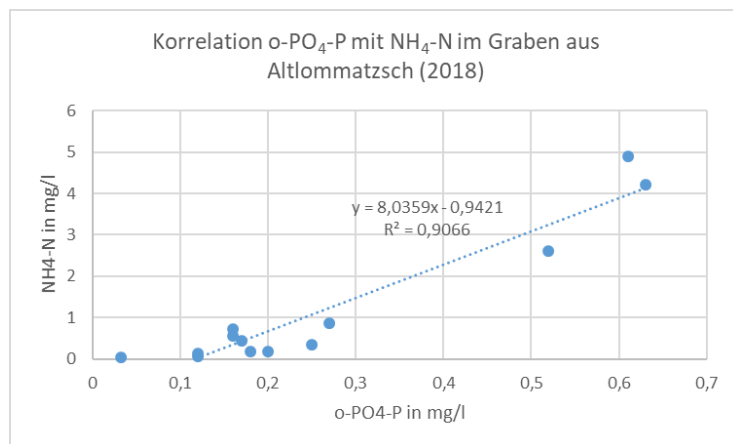


Abbildung 5: Zusammenhang zwischen $\text{o-PO}_4\text{-P}$ und $\text{NH}_4\text{-N}$ im Graben aus Altlommatzsch

Ammonium-Stickstoff ($\text{NH}_4\text{-N}$) ist ein Parameter des allgemeinen Grundprogramms im sächsischen Monitoringprogramm und wird in jeder Probe parallel zu den Phosphor-Parametern mit untersucht.

4.3 Indikatorsubstanzen für Einträge aus der Landwirtschaft

Herbizide werden in größeren Mengen in der Landwirtschaft eingesetzt und sind auch analytisch gut nachweisbar. Im Gegensatz zu vielen Bioziden sind Herbizide meist auf den landwirtschaftlichen Gebrauch beschränkt. Die Normen liegen i.d.R. im μg -Bereich und sind daher besser etabliert als Insektizide.

Eindeutig belegt werden konnte, dass Herbizide unter bestimmten Bedingungen (Anschluss von Hofflächen an die Mischwasserkanalisation) in sehr hohen Konzentrationen in den Teilsystemen der urbanen Abwassersysteme vorkommen können.

Landwirtschaftsherbizide treten, wie die meisten anderen Pflanzenschutzmittel, entsprechend dem Anwendungszeitraum in hohem Maße saisonal und nicht über das gesamte Jahr verteilt auf (WELKER 2004). Die nachfolgende Abbildung verdeutlicht am Beispiel von Terbutylazin das saisonale Auftreten von Pflanzenschutzmitteln. Konzentrationen über 20 ng/l wurden im OWK Keppritzbach-1 an der repräsentativen Messstelle für Chemie (OBF13800) im Zeitraum 2012-2021 fast ausschließlich von Mai bis Juli gemessen.

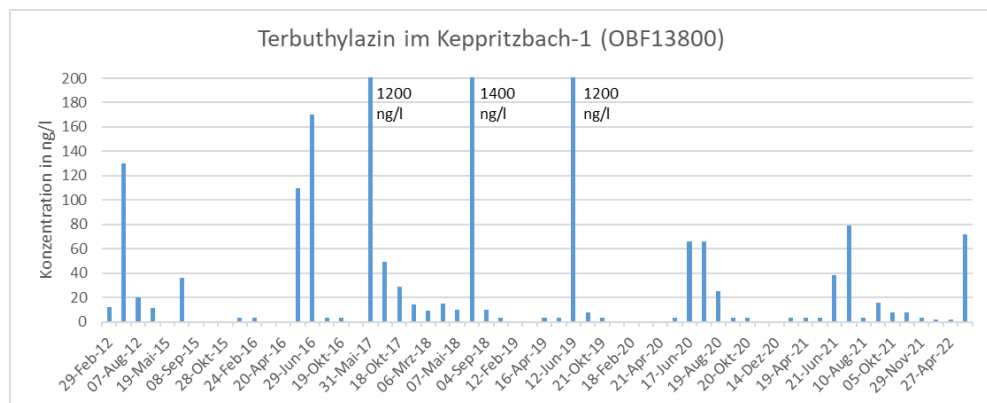


Abbildung 6: Terbutylazin im OWK Keppritzbach-1 an der Messstelle OBF13800

Weiterhin werden in Abhängigkeit der angebauten Kultur unterschiedliche Herbizide verwendet. Aus diesen Gründen werden mehrere Substanzen als Indikatoren für landwirtschaftliche Einträge ausgewählt.

Als Indikatorsubstanzen werden **Nicosulfuron** und **Diflufenican** empfohlen, da diese Substanzen ausschließlich in der Landwirtschaft eingesetzt werden. Die Herbizide werden im Mais-, Getreide- bzw. Kartoffelanbau verwendet, sind sehr gut durch das sächsische Monitoringprogramm für Oberflächengewässer erfasst und in der Umwelt persistent. **Terbuthylazin** wird ebenfalls als Indikator landwirtschaftliche Einträge verwendet, wobei dessen weitere Verwendung in Anstrichen berücksichtigt werden muss. Für alle drei Substanzen gibt es eine Umweltqualitätsnorm in der Anlage 6 der OGeV.

Aufgrund ihrer weit verbreiteten Anwendung sind weiterhin die Herbizide **Metazachlor** und **Metolachlor** als Indikatorsubstanzen für landwirtschaftliche Einträge auszuwerten. Sie sind gut in der Umwelt abbaubar. Deswegen zeugt deren Vorhandensein von Einträgen, die unmittelbar vor der Probenahmen stattgefunden haben müssen. Deutlich länger sind deren Abbau- bzw. Umwandlungsprodukte (sogenannte Metabolite) **Metazachlor(-sulfon)-säure** (=Metazachlor-ESA) und **Metolachlor(-sulfon)-säure** (=Metolachlor-ESA) im Wasser nachweisbar. Folglich weisen hohe Konzentrationen dieser Metaboliten auf länger zurückliegende Einträge hin (JEKEL, DOTT 2013).

4.4 Indikatorsubstanzen für Einträge von Verkehrsflächen

Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe (**PAK** z.B. Benzo(a)pyren oder **Fluoranthren**) entstehen durch die (unvollständige) Verbrennung fossiler Energieträger wie Kohle, Öl oder Gas sowohl bei Hausfeuerungsanlagen als auch im Straßenverkehr (IFS 20018). Der Eintrag dieser Schadstoffgruppe erfolgt vorwiegend durch atmosphärische Deposition in der Umwelt. Dabei sind Verkehrsflächenabflüsse grundsätzlich um etwa eine Größenordnung höher belastet als Dachabflüsse und Niederschlagsproben (WELKER 2004). Ein wichtiger Eintragspfad für Gewässer sind die Oberflächenabflüsse, insbesondere die Verkehrsflächenabflüsse durch Straßenentwässerung. Nach dem Aufkommen von PAK in Oberflächenabflüssen und Niederschlag können bzgl. der Konzentration absteigend unterschieden werden: PAK-Konzentration in Verkehrsflächenabflüsse mit hoher Verkehrsbelastung > Verkehrsflächenabflüsse mit niedriger Verkehrsbelastung > Dachabflüsse > Niederschlag. Für die PAK kann insgesamt von einem überwiegend an Partikeln gebundenen Transport ausgegangen werden. Eine Mischwasserentlastung kann bedeutend für den Eintrag in Gewässer sein, wenn z. B. die Straßenentwässerung in den Mischwasserkanal eingebunden ist. PAK werden aus Kläranlagen vorwiegend mit dem Klärschlamm ausgetragen (WELKER 2004).

Chloride in Gewässern stammen in erster Linie aus Tausalzen, die im Winter auf Verkehrsflächen und Fußwegen eingesetzt werden. Wie bei den meisten wasserlöslichen Substanzen ist ein sog. first-flush-Effekt zu beobachten. Dieser bedeutet, dass zu Beginn eines Regenereignisses sehr hohe Mengen der Substanz (hier: Chlorid aus den Tausalzen) abgespült werden, die im weiteren Ereignisverlauf deutlich abnehmen. Dabei wird von einem „materiallimitierten Stofftransportprozess“ gesprochen (WELKER 2004). Folglich spiegeln Nachweisspitzen bei Chlorid-Konzentrationen in Oberflächengewässern insbesondere im Winter und den ersten Frühjahrsmonaten einen erhöhten Eintrag von Verkehrsflächen wider.

4.5 Übersicht

Die nachfolgende Tabelle fasst die wichtigsten Indikatorsubstanzen und deren Abbaubarkeit zusammen, die zur Identifikation der Hauptquellen der P-Einträge genutzt werden können (LAUNAY ET AL. 2013, DITTMER 2020, NICKEL 2021).

Tabelle 1: Schema zur Bewertung von Indikatorsubstanzen

Indikatorsubstanz für	Abbaubarkeit	KA-Ablauf	MW-Entlastung	Kleine Kläranlagen	Landwirtschaft	Siedlungsflächen	Verkehr	Literatur
Häusliches Abwasser								
Acesulfam / Sucralose	-	+++	+	+	0	0	0	JEKL, DOTT 2013
Coffein	+	0	+++	+++	0	0	0	LAUNAY 2013
Carbamazepin	-	+++	+	+	0	0	0	JEKEL, DOTT 2013
Diclofenac	-	++	+	+	0	0	0	LAUNAY 2013
Ibuprofen	+	0	++	+++	0	0	0	DITTMER ET AL 2019
Metformin	+	+	++	+++	+	0	0	AWWR 2020, JACOB 2019
Siedlungsflächen / Verkehr								
Chlorid	nur Verdünnung	0	0	0	0	+	+++	WELKER 2004
Fluoranthen / PAK	F	0	+	0	0	+	++	LAUNAY 2013
Landwirtschaft (Herbizide)								
Diflufenican	-	0	0	0	+++	+	0	LfULG 2010
Metazachlor / Metolachlor	+	0	0	0	+++	0	0	JEKEL, DOTT 2013
Metazachlor-ESA / Metolachlor-ESA	-	0	0	0	+++	0	0	JEKEL, DOTT 2013
Nicosulfuron	-	0	0	0	+++	0	0	
Terbutylazin	-	0	+	0	+++	++	0	JEKEL, DOTT 2013

Legende: F: Rückhalt in Kläranlage durch Feststoffrückhalt

Abbaubarkeit

+	gut bis sehr gut abbaubar
-	schwer abbaubar

Indikator:

+++	sehr guter Indikator
++	guter Indikator
+	sollte als Quelle in Betracht gezogen werden
0	kein Indikator für diese Quelle

Die Tabelle verdeutlicht, dass es in vielen Fällen nicht die eine Substanz gibt bei deren Nachweis eine eindeutige Quelle zugeordnet werden kann. Es ist notwendig alle Indikatorsubstanzen im Zusammenhang zu betrachten. Punktuelle Direkteinleitungen aus Industrie und Gewerbe, die lokal von Bedeutung sein können, müssen ebenfalls berücksichtigt werden.

4.6 Zusammenhänge

Werden wiederholt erhöhte Konzentrationen schwer abbaubarer Indikatorsubstanzen für häusliches Abwasser (z. B. Carbamazepin) zeitgleich mit niedrigen Konzentrationen leicht abbaubarer Substanzen (Indikatorsubstanzen für ungeklärte Abwässer - z. B. Ibuprofen) gemessen, ist das ein Indiz für den vorwiegenden Einfluss durch geklärte Abwässer aus kommunalen Kläranlagen.

Treten dauerhaft und unabhängig von einem Regenereignis biologisch leicht abbaubare Indikatorsubstanzen (z.B. Coffein, Ibuprofen und/oder Metformin) zeitgleich mit schwer abbaubaren Indikatorsubstanzen für häusliche Abwässer in höheren Konzentrationen im Gewässer auf, dann ist von der Einleitung unzureichend geklärter häuslicher Abwässer auszugehen (z. B. über Kleinkläranlagen oder Teilortskanalisierungen). Vom Eintrag ungeklärter häuslicher Abwässer über Mischwasserentlastungen ist jedoch auszugehen, wenn leicht abbaubare Indikatorsubstanzen nicht dauerhaft erhöht sind und vor der Messung mit entsprechend erhöhten Werten ein Starkregenereignis stattfand.

Ibuprofen und Fluoranthen werden gut in Kläranlagen eliminiert. Es wird angenommen, dass der Partikelrückhalt in Kläranlagen in der biologischen Reinigungsstufe auch bei hoher hydraulischer Belastung funktioniert. Folglich bleibt die Ablaufkonzentration von Fluoranthen aus Kläranlagen bei steigenden Zuflüssen über die Kanalsysteme in die Kläranlage infolge von Regen gleich. Konzentrationsanstiege von Fluoranthen im Fließgewässer sind demzufolge eher auf Mischwasserentlastungen zurückzuführen. Obwohl Ibuprofen i. d. R. einen anderen Transportweg (Regenwasser) als Fluoranthen hat, verhält es sich in Umweltproben analog. Während bei Trockenwetter ein Abbau in Kläranlagen stattfindet, sind bei Regen Konzentrationsspitzen infolge von Mischwasserentlastungen im Fließgewässer messbar (DITTMER 2020).

Die nachfolgende Tabelle 2 zeigt die möglichen Zusammenhänge von auftretenden Konzentrationen ausgewählter Indikatorsubstanzen im Hinblick auf die Eintragsquellen an.

Tabelle 2: Tabellarische Übersicht über die Zusammenhänge beim Nachweis von Indikatorsubstanzen

Indikatorsubstanz für	KA-Ablauf	MW-Entlastung	Kleine Kläranlagen	Landwirtschaft	Siedlungsflächen	Literatur
Carbamazepin (Diclofenac) hoch/ Ibuprofen niedrig	+++	0	+	0	0	Dittmer et al. 2020
Carbamazepin (Diclofenac) hoch/ Ibuprofen hoch (nach Starkregen)	0	+++	+	0	0	
Carbamazepin (Diclofenac) hoch/ Ibuprofen hoch (ohne Regenereignis)	0	0	+++	0	0	

5 Handlungsanleitung

5.1 Methodik

Zunächst sollte festgestellt werden, ob es sich bei dem zu untersuchenden OWK um ein Quellgewässer (= Fließgewässer ohne Oberlieger-OWK) handelt oder ob ein Oberlieger-OWK vorhanden ist, in dem sich bereits signifikante Phosphor-Einträge befinden, deren Auswirkung sich in den Unterlieger-OWK fortsetzt. Je nach Lage des zu betrachtenden OWK, ist der Oberlieger ebenfalls zu analysieren.

Für die Analyse eines Fließgewässerkörpers sind folgende Schritte erforderlich, die nachfolgend erläutert werden:

- Defizitanalyse,
- Kausalitäts- und Verursacheranalyse,
- Handlungsanalyse.

5.1.1 Defizitanalyse

I. Bewertung nach OGewV analysieren

In den Sächsischen Beiträgen zu den Bewirtschaftungsplänen sind in der Tabelle in Anlage V alle OWK mit deren Bewertungsergebnissen bzgl. Einhaltung oder Überschreitung der Orientierungswerte für ACP als zusammenfassende Übersicht in Kurzform aufgeführt (Sächsische Beiträge zu den Bewirtschaftungsplänen 2022-2027).

Alle bewertungsrelevanten Informationen zu einem OWK befinden sich in öffentlich zugänglichen Steckbriefen des LfULG. Diese sind im Internet unter Wasserkörper-Steckbriefe für jeden OWK abrufbar. Zur Einordnung der Messwerte der allgemeinen physikalisch-chemischen Parameter ist der Gewässertyp nach LAWA entscheidend. Eine weitergehende Betrachtung muss nur erfolgen, wenn die Orientierungswerte für TP und / oder o-PO₄-P nicht eingehalten wurden.

II. Modellierte Phosphor-Einträge aus STOFFBILANZ

Bereits seit vielen Jahren wird in Sachsen das Modell STOFFBILANZ angewendet, welches auf Grundlage zahlreicher gemessener bzw. erhobener Daten die Phosphor- und Stickstoff-Einträge u. a. für jeden einzelnen OWK berechnet (Login STOFFBILANZ).

Nachfolgende Graphik fasst die im Modell berücksichtigten Quellen und Eintragspfade schematisch zusammen.

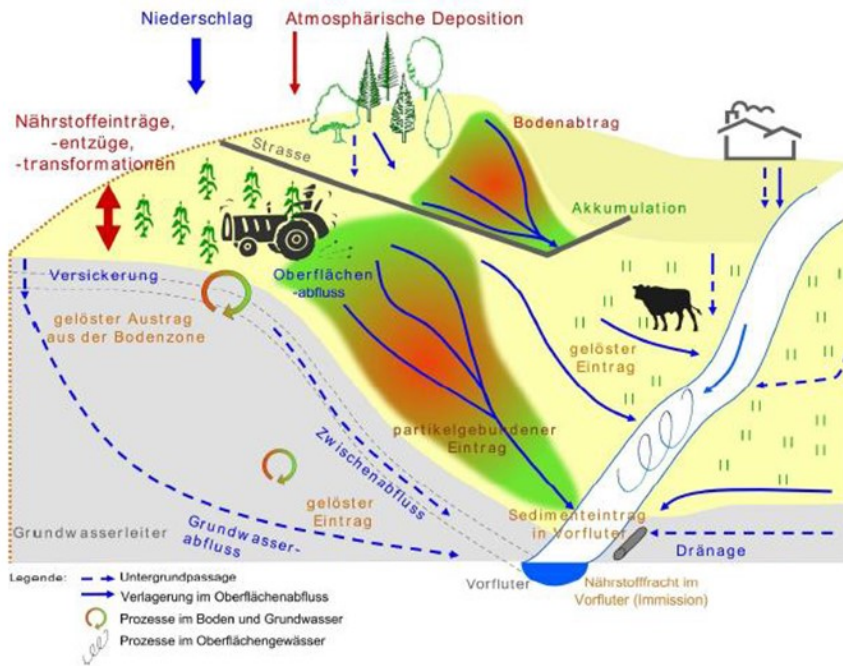


Abbildung 7: Schema zum Stoffeintragsgeschehen in Flussgebieten (GEBEL ET AL. 2022)

Im Modell ergibt sich der gesamte P-Eintrag in die Gewässer aus der Summe der Einträge aus Punktquellen und diffusen Eintragsquellen:

- Landwirtschaft (Acker, Grünland, Obstbau, Weinbau),
- Wald (Nadelwald, Laubwald),
- Siedlung :
 - punktuell: kommunale und industrielle Kläranlagen,
 - diffus: Siedlung /Urbane Systeme:
 - Kleinkläranlagen inkl. Grauwassereinleitungen,
 - Regenwasserkanal und
 - Siedlungsflächen unversiegelt (atmosphärische Deposition),
- Gewässer (atmosphärische Deposition),
- Sonstiges (z.B. Stollen).

Die größte Bedeutung bei P-Einträgen aus diffusen Flächenquellen besitzt die Nutzungsart „Ackerland“. P-Einträge aus Acker können in Abhängigkeit von den regionalen Standortgegebenheiten sowohl partikelgebunden über den Erosionspfad als auch gelöst über andere Transportpfade in die Gewässer erfolgen.

Da Phosphor aus Landwirtschafts- und Waldflächen in unterschiedlichster Form in die Gewässer eingetragen wird, erfolgt im Modell die Einteilung in partikulär gebundene sowie diffuse gelöste P-Einträge. Die detaillierte Modellbeschreibung kann in GEBEL ET AL. (2022) nachgelesen werden.

Im Modell STOFFBILANZ sind verschiedene Informationen verfügbar:

- über STOFFBILANZ-Karten: Landnutzungsverteilung für jeden OWK,
- über "OWK-Berechnung": P-Frachten für jeden OWK, getrennt nach Landnutzung (über Reiter „Szenario analysieren“ (Zugang nur mit Passwort),
- über "Kläranlagen Sachsen": Kläranlagen und deren P-Einträge mit Lagebezug zu OWK (Zugang nur mit Passwort),

Mit der Betrachtung wird ein erster Überblick über die Landnutzung des Einzugsgebietes und die P-Frachten des OWK gegeben und damit ein wichtiger Hinweis auf dominante Eintragspfade.

Quelle: Login STOFFBILANZ (Zugang ohne Passwort möglich)

5.1.2 Kausalitäts- und Verursacheranalyse

Tabellarische Übersicht

Die empfohlene Zeitspanne für die Auswertung der Monitoring-Daten richtet sich nach der Messstelle im Gewässer und der Substanz entsprechend der nachfolgenden Tabelle. Da nicht an jeder Messstelle jedes Jahr Messungen durchgeführt werden, lassen sich feste Zeitspannen zur Auswertung nicht immer festlegen. Aus diesem Grund wird die Auswertung der zurückliegenden x Messjahre empfohlen (= Jahre in denen gemessen wurde).

Tabelle 3: Empfohlene Häufigkeiten/Zeitspannen zur Auswertung der Monitoring-Daten

Substanz	RC-Messstelle	Ermittlungsmessstellen im Einzugsgebiet
Phosphor (TP und o-PO ₄ -P)	JMW: ab 2006	EW: zurückliegende 3 Messjahre
	EW: zurückliegende 3 Messjahre	
Weitere Substanzen mit Orientierungswerten (NH ₄ -N, Cl)	EW: zurückliegende 3 Messjahre	
Indikatorsubstanzen für kommunales Abwasser und Landwirtschaft	JMW: Daten der letzten 10 Jahre	EW des letzten Messjahres
	EW des letzten Messjahres	

Legende: JMW - Jahresmittelwert; EW - Einzelmesswerte; RC - repräsentative Messstelle für Chemie

III. Auswertung der Monitoring-Daten: Phosphor

Ist mindestens ein Oberlieger-OWK vorhanden, so sollte zunächst diese Situation bzgl. einer P-Belastung und der dafür verantwortlichen Eintragsquellen und -pfade analysiert werden.

Für den zu untersuchenden OWK sollten, beginnend mit dem Jahr 2006, die Jahresmittelwerte der RC-Messstelle (repräsentative Messstelle für chemische Parameter) für ortho-Phosphat-Phosphor (o-PO₄-P) und Gesamt-Phosphor (TP) in einer Zeitreihe betrachtet werden, um einen Überblick zur Gewässersituation der vergangenen Jahre bzgl. der Phosphorbelastung zu erhalten. So wird deutlich, ob die Überschreitung des/der Orientierungswert(e) einmalig bzw. regelmäßig war oder ein dauerhafter Zustand an der Messstelle ist.

Anschließend wird die Betrachtung der Einzelmesswerte der RC-Messstelle aus den vergangenen drei Jahre, in denen gemessen wurde (=Messjahre) empfohlen. Diese detaillierte Auswertung der Gesamt- und o-PO₄-P-Werte ist essentiell für die weiteren Betrachtungen. Die Betrachtung mehrerer Messjahre ist erforderlich, um die Höhe, den Verlauf der Konzentrationen und damit mögliche jahreszeitliche Unterschiede zu erkennen. Hydrologisch „auffällige“ Jahre (sehr nass oder sehr trocken) können so ermittelt werden. Auch saisonale Einflüsse kann man erst mit einer gewissen Sicherheit feststellen, wenn entsprechende Muster in den Messwerten häufiger als einmal auftreten.

Neben der Messstelle zur Bewertung des chemischen Zustandes nach WRRL sind die Daten aller weiteren Ermittlungsmessstellen im OWK und ggf. dessen Zuflüssen wichtig für die Auswertung und Identifizierung der Eintragsquellen. Die Auswertung sollte ebenfalls für die drei zurückliegenden Messjahre erfolgen. Daten die älter als 10 Jahre sind, können jedoch nur bedingt zur Bewertung des aktuellen Zustandes verwendet werden, da z.B. ehemalige Eintragsquellen nicht mehr vorhanden sind.

IV. Auswertung der Monitoring-Daten: Indikatorsubstanzen

Indikatorsubstanzen mit Orientierungswerten nach OGeV (Ammonium-Stickstoff, Chlorid)

Neben den allgemeinen physikalisch-chemischen Parametern wird entsprechend den Vorgaben der OGeV der Zustand der Fließgewässer mit Hilfe der Messung weiterer Schad- und Spurenstoffe überwacht.

Wie oben beschrieben, wird anhand der vorgeschlagenen Indikatorsubstanzen versucht, die Eintragsquelle/n zu identifizieren. Zunächst sollte diese Analyse für die RC-Messstelle erfolgen.

Der Parameter Ammonium-Stickstoff wird als Indikator für ungereinigtes Abwasser und Chlorid als Indikator für Einträge aus dem Verkehr untersucht. Die Auswertung der Einzelmesswerte zum zeitlichen Verlauf der Konzentrationen der letzten drei Messjahre analog dem Beispiel Keppritzbach-1 im Anhang wird empfohlen.

Indikatorsubstanzen für kommunales Abwasser und Landwirtschaft

Weiterhin werden die Indikatorsubstanzen für kommunales Abwasser und die Indikatoren aus der Landwirtschaft untersucht. Die Jahresmittelwerte der zurückliegenden zehn Messjahre sowie die Einzelmesswerte der letzten drei Messjahre werden im zeitlichen Verlauf betrachtet analog dem Beispiel Keppritzbach-1 im Anhang.

Meist liegen sehr große Konzentrationsunterschiede zwischen den einzelnen Messungen vor und ein Vergleich der Messwerte mit der jeweiligen Umweltqualitätsnorm für mehrere Pflanzenschutzmittel gleichzeitig ist schwer in einem Diagramm darstellbar. Die Messwerte der für die Landwirtschaft ausgewählten Indikatorparameter sollten aus diesem Grund tabellarisch abgebildet werden. Für eine übersichtliche Darstellung sollen die Messwerte entsprechend ihrer Höhe nach dem nachfolgenden Bewertungssystem farblich markiert werden. Ist der Messwert kleiner als die Bestimmungsgrenze, erfolgt eine dunkelgrüne Einfärbung der Zelle. Weiterhin wird ein Messwert zum Beispiel wird gelb hinterlegt, wenn er zwischen der Hälfte der in Anlage 6 OGeV festgelegten JD-UQN und dem festgelegten Wert der Umweltqualitätsnorm (JD-UQN) selbst. Überschreitet der Messwert die JD-UQN um mehr als das 4-fache, liegt aber unter dem Wert der 8-fachen Überschreitung, wird der Messwert dunkelrot hinterlegt. Mit dieser empfohlenen Farbskala lässt sich übersichtlich darstellen, ob der Messwert einer Substanz unter der Bestimmungsgrenze lag, fast die JD-UQN erreicht wurde bzw. wie hoch die Überschreitung verglichen mit dem Messwert war.

	<BG
	≤UQN/2
	≤ UQN
	≤ 2 QN
	≤ 4 UQN
	≤ 8 UQN
	≥8 UQN

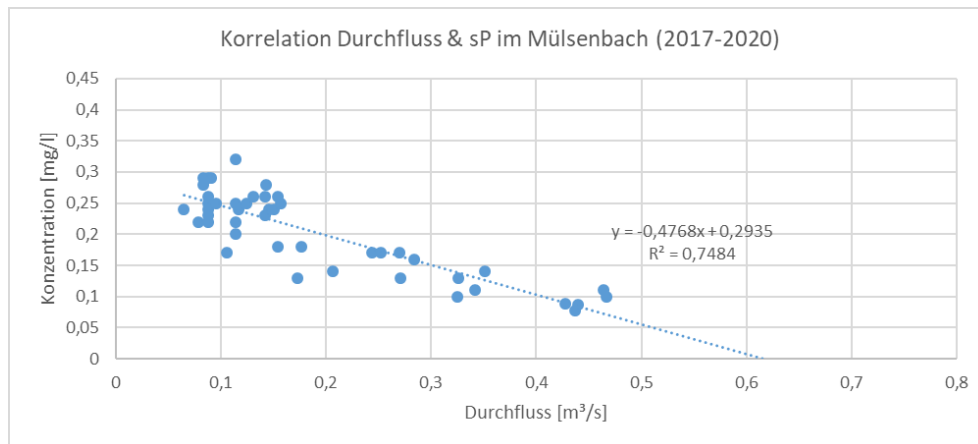
Legende: BG: Bestimmungsgrenze; UQN: Umweltqualitätsnorm nach Anlage 6 bzw. 8 OGeV (hier: bezogen auf den Jahresdurchschnitt)

Abbildung 8: Farbschema für die visuelle Klassifizierung von Indikatorsubstanzen der Landwirtschaft

V. Analyse der Niederschläge und Abflüsse

Insbesondere jahreszeitliche Schwankungen der Phosphor-Konzentrationen können ohne weitere Informationen nicht weiter analysiert werden. Dazu ist es erforderlich, die jeweiligen Durchflüsse des Fließgewässers zusammen mit den P-Konzentrationen zu betrachten. In zahlreichen kleinen OWKs ist der Jahresgang der P-Konzentration umgekehrt proportional zum Durchfluss. Das bedeutet, die P-Konzentrationen steigen nicht aufgrund höherer Einträge, sondern sinkende Durchflüsse sind die Ursache für steigende P-Konzentrationen. Der Verdünnungseffekt sinkt in diesem Fall.

Dieser Zusammenhang wird in dem folgenden Diagramm deutlich. Mit sinkendem Durchfluss sinkt die P-Konzentration im Mülsenbach, der sehr stark durch Kläranlagen < 50 EW geprägt ist.



QUELLE: [Pegeldaten aus dem Datenportal iDA](#)

Abbildung 9: Zusammenhang zwischen Durchfluss und ortho-PO₄-P-Konzentration im Mülsenbach

Auffallend hohe Messwerte („Ausreißer“) insbesondere bei Gesamt-P werden oft durch Starkniederschläge verursacht. Die Folge können Entlastungsereignisse aus der Mischwasserkanalisation in die Fließgewässer sowie Abschwemmungen und Bodenerosion aus dem Einzugsgebiet (z.B. landwirtschaftlichen Nutzflächen) sein. Voraussetzungen für Einträge von landwirtschaftlichen Nutzflächen sind neben dem Vorhandensein der gewässernahen Ackerfläche eine hohe Hangneigung, keine Bodenbedeckung und extrem trockener oder wassergesättigter Boden. Die Folge ist ein deutlicher Anstieg der Konzentration an Gesamt-P.

Das nachfolgende Diagramm zeigt, dass der Anteil an o-PO₄-P proportional mit der Gesamt-P-Konzentration ansteigt. Bei starken Niederschlagsereignissen (NS-Ereignisse) jedoch steigt der partikuläre P-Anteil überproportional.

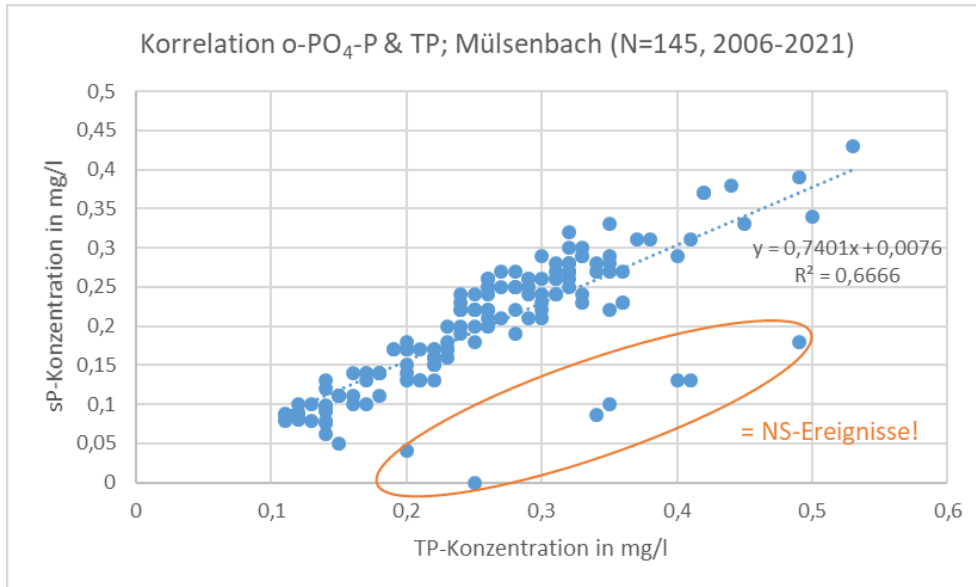


Abbildung 10: Zusammenhang zwischen ortho-PO₄-P und Gesamt-P im Mülsenbach (N = 145, 2006-2021)

Um zu prüfen, ob Starkniederschläge stattgefunden haben, müssen die Niederschlagsdaten der nächstgelegenen Messstation des DWD ausgewertet werden.

QUELLE: [aktuelle und historische Niederschläge z.B. als Tagessummen zum Download für alle Niederschlagsmessstellen des DWD](#)

VI. Abwasseranlagen im urbanen Wassersystem

Die Kenntnis über vorhandene Abwasseranlagen im Einzugsgebiet ist unerlässlich für die Bewertung der P-Belastung des jeweiligen Fließgewässers. Die Lage kommunaler Kläranlagen, dezentraler Abwasserbehandlungsanlagen sowie der Mischwasserentlastungsanlagen sind der Datenbank FIS WrV zu entnehmen.

QUELLE: Datenbank FIS WrV

5.1.3 Handlungsanalyse

VII. Fazit und Ableitung von Maßnahmen

In Abhängigkeit der identifizierten P-Quellen und deren Belastungsstärke müssen geeignete Maßnahmen zur Reduktion der Einträge abgeleitet werden.

Im LAWA-BLANO Maßnahmenkatalog der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (Stand 3. Juni 2020) sind geordnet nach der Belastungsquelle Maßnahmen zusammengefasst. Nachfolgende Tabelle gibt einen Überblick über relevante Maßnahmengruppen.

Tabelle 4: Auszug geeigneter Maßnahmengruppen aus dem LAWA-BLANO Maßnahmenkatalog (LAWA 2020)

LAWA-Maßnahmen Nummer	Ziel der Maßnahme
1-8	Bau, Ausbau, Optimierung kommunaler Kläranlagen
10-12	Verbesserung der kommunalen Abwasserentsorgung durch Misch- und Niederschlagswasserbehandlung
27-33	Reduktion der diffusen Einträge aus der Landwirtschaft
45-53 (48)	Reduzierung der Wasserentnahmen aus Oberflächengewässern (für die Landwirtschaft)
70-80	Maßnahmen zur Verbesserung der Morphologie

Ist nach Auswertung der Daten beispielsweise ersichtlich, dass Mischwasserentlastungen einen großen Anteil des P-Eintrages in das Gewässer haben, sollte nach Möglichkeiten versucht werden, die Regenwassereinleitungen in den Mischwasserkanal und folglich die Abflussspitzen bei Starkniederschlägen zu reduzieren.

Bei Gewässern, deren P-Eintrag in erster Linie durch den Ablauf kommunaler Kläranlagen verursacht wird, sollte in den betreffenden Kläranlagen die Funktion der betreffenden Anlage überprüft bzw. langfristig eine P-Eliminierung angestrebt werden. Dieses Ziel sollte auch bei Anlagen < 2.000 EW erreicht werden. Sind Kläranlagen < 50 EW (Kleinkläranlagen) die Hauptquelle des P-Eintrages, ist langfristig über alternative Abwasserentsorgungsmöglichkeiten nachzudenken. Bei Verlängerungen von Erlaubnissen sind zeitliche Befristungen eine Übergangslösung.

Bei Einträgen aus Mischwasserentlastungen o. Ä. ist anzustreben, anfallendes Niederschlagswasser in der Fläche zurückzuhalten und nicht zusammen mit häuslichem Abwasser in (Klein-) Kläranlagen zu behandeln, wodurch P-Einträge in das Fließgewässer verhindert bzw. verringert werden können.

Stehen vorwiegend landwirtschaftlich eingesetzte Herbizide im Zusammenhang mit dem in das Gewässer eingetragenen Phosphor, kommen Höfe mit ackerbaulichen Geräten, Stallanlagen sowie auch Gärtnereien als Punktquellen in Betracht.

Wenn in einem bestimmten Teil des Einzugsgebietes ackerbauliche Nutzflächen als flächenhafte Hauptquelle für Phosphor identifiziert werden, sind insbesondere in diesem Bereich zukünftig Maßnahmen zur Minimierung der Einträge vorzusehen. Dabei sind zwei grundlegende Situationen zu unterscheiden:

- Ansaat eines ausdauernden Grünlandbestandes auf bisher ackerbaulich genutzten Flächen (Umwandlung von Acker in Grünland bzw. Anlegen einer langjährigen Grünlandbrache),
- Durchführung von erosions- und abschwemmungsmindernden Maßnahmen im Rahmen der Beibehaltung der ackerbaulichen Nutzung.

Während die Grünlandansaat die erosionsbedingten P-Einträge fast vollständig reduzieren würde, muss davon ausgegangen werden, dass unter Beibehaltung der ackerbaulichen Nutzung nur eine Risikominderung erreichbar ist (PETER M., MILLER R. 2008). Generell ist bei ackerbaulicher Landnutzung die Berücksichtigung der guten fachlichen Praxis entsprechend § 17 Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG) essenziell, wobei insbesondere die Forderung besteht, dass "Bodenabträge durch eine standortangepasste Nutzung, insbesondere durch Berücksichtigung der Hangneigung, der Wasser- und Windverhältnisse sowie der Bodenbedeckung, möglichst vermieden werden" sollen.

Unter Beibehaltung der ackerbaulichen Nutzung sind nachfolgende Maßnahmen geeignet, die Nährstoffeinträge in Fließgewässer zu reduzieren:

- Einführung bzw. Verbesserung von Erosionsschutzmaßnahmen,
- Verzicht der intensiven landwirtschaftlichen Nutzung steiler Hanglagen bzw. wenn nicht möglich Errichtung eines Schutzstreifens zum Gewässer,
- Ziel einer hohen Bodenbedeckung insbesondere in niederschlagsreichen Jahreszeiten,
- Minimierung der Anzahl der Drainagen insbesondere in bereits stark belastete Fließgewässer,
- Anlegen von ausreichend breiten Gewässerrandstreifen.

Die Bedeutung von Gewässerrandstreifen, mögliche Eintragspfade sowie die Reduktion der Einträge durch natürliche Vegetation an Fließgewässern sind in der Schriftenreihe des LFULG „Ökologische Funktionen von Gewässerrandstreifen für die Wasserrahmenrichtlinie“ (LFULG 2022) übersichtlich dargestellt.

Mit Agrarumwelt- und Klimamaßnahmen (*kurz: AUKM*) fördert die EU die umweltschonende Landwirtschaft. Mit der Teilnahme an Agrarumweltprogrammen verpflichten sich Landwirte und Landwirtinnen für einen Zeitraum von in der Regel fünf Jahren freiwillig, umweltgerechte und den natürlichen Lebensraum schützende Produktionsverfahren einzuhalten. Sie erhalten dafür zum Ausgleich der damit verbundenen Mehrkosten und Einkommensminderungen eine Förderung.

5.1.4 Zusammenfassung

Die nachfolgende Abbildung fasst die oben beschriebenen Schritte zur Datenauswertung in einer Übersicht zusammen und ordnet die zur Verfügung stehenden Datenquellen zu.

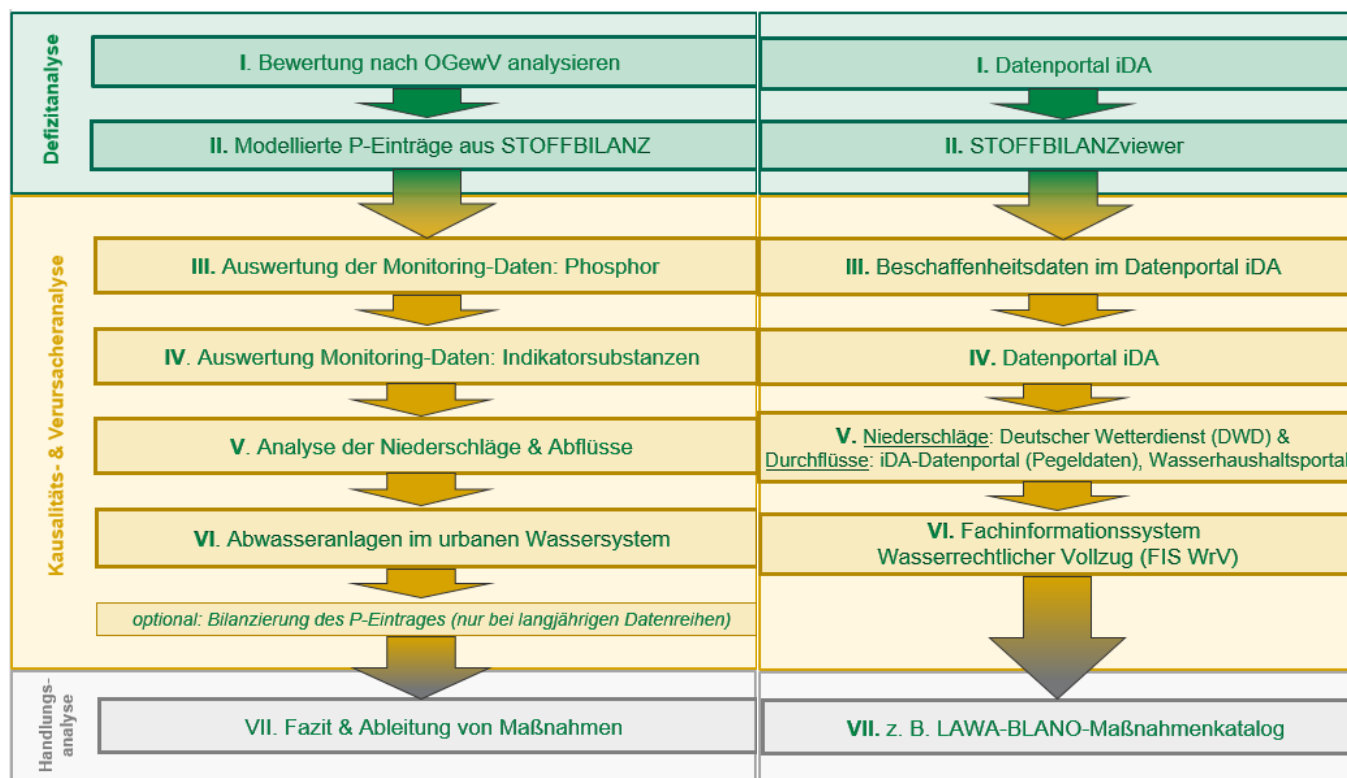


Abbildung 11: Übersicht der empfohlenen Schritte für die Datenauswertung

Nachfolgend zusammengefasste links führen zu den Quellen der erforderlichen Daten:

- Beschaffenhheitsdaten, Pegeldaten: [Datenplattform iDA](#),
- modellierte Daten aus STOFFBILANZ: [STOFFBILANZviewer](#),
- Niederschlagsdaten: [DWD](#) (aktuelle und historische Niederschläge für alle Stationen der DWD z.B. als Tagessummen zum Download),
- regionalisierte Durchflüsse: [Wasserhaushaltsportal](#),
- Informationen zu Kläranlagen: [Datenbank FIS WrV](#).

Die Ergebnisse der Auswertungen können in einem Phosphor-Steckbrief zusammengefasst werden. Das gewährleistet eine einheitliche und vergleichbare Ergebnisdarstellung verschiedener Fließgewässer-Wasserkörper. Zur besseren Nachvollziehbarkeit wird im Anhang der FWK Keppritzbach-1 beispielhaft nach der beschriebenen Methodik ausgewertet.

Literaturverzeichnis

- ABwV (2020) - Verordnung über Anforderungen an das Einleiten von Abwasser in Gewässer
- AWBR (2019) - Arbeitsgemeinschaft Wasserwerke Bodensee-Rhein: Aktuelle Ergebnisse aus dem Untersuchungsprogramm 2019, 51. Abwasserjahresbericht, 2019
- AWWR (2020) - Arbeitsgemeinschaft der Wasserwerke an der Ruhr e. V. & Ruhrverband: Ruhrgütebericht, Essen
- BBODSCHG - Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten (Bundes-Bodenschutzgesetz), 17.03.1998
- LAWA - Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser - Kleingruppe "Fortschreibung LAWA Maßnahmenkatalog": LAWA-BLANO Maßnahmenkatalog (WRRL, HWRMRL, MSRL), Stand 03.06.2020
- CECH, R.M., JOVANOVIĆ, S., KEGLEY, S. ET AL.: Reducing overall herbicide use may reduce risks to humans but increase toxic loads to honeybees, earthworms and birds. *Environ Sci Eur* 34, 44 (2022)
- CLARA, M.; GRUBER, G.; HUMER, T.; KRETSCHMER, F.; ERTL, T.; SCHEFFKNECHT, G.; WINDHOFER, G. (2014): Spurenstoffanalysen aus Siedlungsgebieten und von Verkehrsflächen. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien, Oktober 2014
- DITTMER, U., BACHMANN-MACHNIK, A., LAUNAY, M. (2020): Impact of combined sewer systems on the quality of urban streams: Frequency und duration of elevated micropollutant concentrations, *Water*, 2020, 12, 850
- DITTMER, U., BACHMANN-MACHNIK, A., LAUNAY, M. (2019): Konzentration von Mikroschadstoffen in urban geprägten Gewässern, Conference Paper, Februar 2019
- DVWK (1993) - DVWK-MERKBLATT 227/1993: Aussagekraft von Gewässergüteparametern in Fließgewässern, Teil 1: Allgemeine Kenngrößen, Nährstoffe, Spurenstoffe und anorganische Schadstoffe, biologische Kenngrößen
- GEBEL, M., UHLIG, M., BÜRGER, S., HALBFAß, S. (2022): Dynamische Bilanzierung der Nährstoffeinträge in sächsische Gewässer im Zeitraum 2016 bis 2021 – Fortschreibung der Modellierung von Nährstoffeinträgen in GWK und OWK in Sachsen für den Zeitschnitt 2018, Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, <https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/40472>, 04.08.2022
- NICKEL, J. P., FUCHS, S., HÖRNER, L. (2021): Aktuelle Daten zur stofflichen Belastung von Mischwasserentlastungen, *KA* 2021, 68 (Nr. 10), 844-851
- FUCHS, S., M., TOSHOVSKI, S., SACHER, F., THOMA, A., LAMBERT, B., ULLRICH, A., MEIER, C., POHL, K. (2021): Schadstoffe aus kommunalen Kläranlagen - Ergebnisse eines koordinierten und harmonisierten deutschlandweiten Monitorings, *KA* 2021, 68 (Nr. 5), 357–368
- FUCHS, S., TOSHOVSKI, S., KAISER, M., SACHER, F., THOMA, A. (2020): Belastung der Umwelt mit Bioziden realistischer erfassen – Schwerpunkt Einträge über Kläranlagen, Umweltbundesamt, Texte 169/2020, Dessau-Roßlau
- FUCHS, S., KAISER, M., TOSHOVSKI, S., SACHER, F., THOMA, A., LAMBERT, B., ULLRICH, A., MEIER, C., POHL, K. (2018): Schadstoffe aus kommunalen Kläranlagen – Ein koordiniertes und harmonisiertes deutschlandweites Vorhaben zum Kläranlagen-Monitoring, *KA* 2018, 65 (9), 793–799
- IFS (2018) - Ingenieurgesellschaft für Stadthydrologie mbH: Immissionsbezogene Bewertung der Einleitung von Straßenabflüssen. Gutachten im Auftrag der Niedersächsischen Landesbehörde für Straßenbau und Verkehr. Hannover

- JACOB, S. (2019): Effekte des Antidiabetikums Metformin und seines TP Guanylharnstoff auf Bachforellen. Dissertation Universität Tübingen
- JEKEL, M., DOTT, W. (2013): Polare organische Spurenstoffe als Indikatoren im anthropogen beeinflussten Wasserkreislauf. Ergebnisse des Querschnittthemas „Indikatorsubstanzen“. Leitfaden RiSKWa. Hg. V. Dechema. Frankfurt Main
- LAUNAY, M., KUCH, B., DITTMER, U., STEINMETZ, H. (2013): Auswahl organischer Spurenstoffe als Indikatoren zur Bewertung von Gewässerqualität bei Regenwetter, Conference Paper, September 2013
- KAIL, J., PALT, M., HUND, K., OLBERG, S., HERING, D., JÜNGER, W. (2022) : Ökologische Funktionen von Gewässerrandstreifen für die Wasserrahmenrichtlinie. Schriftenreihe des LfULG, Heft 12/2022, Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, https://www.wasser.sachsen.de/download/FORUM_2022_2_KAIL.pdf, 30.06.2022
- LFULG (2021a): Sächsische Beiträge zu den Bewirtschaftungsplänen Elbe und Oder, Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, <https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/39553>, 15.1.2022
- LFULG (2021b): Lagebericht 2020 zur kommunalen Abwasserbeseitigung und zur Klärschlammentsorgung im Freistaat Sachsen - Berichtszeitraum 2018/2019, Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, <https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/37451>, 20.01.2022
- LFULG (2010) - Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie: Untersuchungen zu Vorkommen, Quellen und Eliminationsmöglichkeiten bestimmter gefährlicher Stoffe in kommunalen Abwasserbehandlungsanlagen in Sachsen, Schriftenreihe, Heft 05/2010, <https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/15113/documents/18178>
- MLNU (2009) - Ministerium für Landwirtschaft, Naturschutz und Umwelt Thüringen: Leitfaden zur Verminderung des Phosphoreintrags aus Kläranlagen,
- OGEWV (2016) – Oberflächenverordnung - (Verordnung zum Schutz der Oberflächengewässer) vom 20. Juni 2016 (BGBl. I S. 1373). Download (zuletzt aufgerufen am 28.09.2022) unter: https://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/ogewv_2016/gesamt.pdf
- PETER, M., MILLER, R. (2008): Maßnahmen zur Verminderung der diffusen Phosphor- und Pflanzenschutzmitteleinträge in Oberflächengewässer. Schnittstelle Boden - Ingenieurbüro für Boden- und Gewässerschutz. https://flussgebiete.hessen.de/fileadmin/dokumente/2_umsetzung/hintergrundinformationen/massn_diff_p_psm_og.pdf, 07.12.2022
- PRASUHN, V., LAZZAROTTO, P. (2005): Abschwemmung von Phosphor aus Grasland im Einzugsgebiet des Sempachersees. Schriftenreihe der FAL (57), S. 96-107
- SCHÖNBORN, W., RISSE-BUHL, U. (2013): Lehrbuch der Limnologie. 2. vollständig überarbeitete Auflage, Stuttgart: Schweizerbart
- TETZLAFF, B.; SCHREINER, H.; VEREECKEN, H. (2009): Modellgestützte Analyse signifikanter Phosphorbelastungen in hessischen Oberflächengewässern aus diffusen und punktuellen Quellen. Schriftenreihe des Forschungszentrums Jülich, Band/Volume 29
- TETZLAFF, B.; TA, PH (2020): Modellierung des Phosphor.Eintrags aus diffusen und Punktquellen in die Oberflächengewässer Hessens. Auftrag vom Hessischen Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie

- TU-DRESDEN - Technische Universität Dresden (2005): Wasserhaushaltsportal Sachsen, Mittlerer jährlicher korrigierter Niederschlag 1951-2005, <http://whhportal-sachsen.hydro.tu-dresden.de/saeuleA/Durch-flussreihen.html>, 29.06.2018
- UBA (2023): Umweltmaßnahmen im Agrarbereich, <https://www.umweltbundesamt.de/daten/land-forstwirtschaft/umweltmassnahmen-im-agrarbereich#agrariumwelt-und-klimamassnahmen>, letzter Abruf 08.02.2023
- UBA (2015): Schonung von Phosphorressourcen aus Sicht einer nachhaltigen Bodennutzung und des Bodenschutzes, <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/>, 15.01.23
- WELKER, A. (2004): Schadstoffströme im urbanen Wasserkreislauf - Aufkommen und Verteilung, insbesondere in den Abwasserentsorgungssystemen, Habilitation - Technische Universität Kaiserslautern, Januar 2004
- ZHANG, Y.J., GEISSEN, S.U., GAL, C. (2008): Carbamazepine and diclofenac: Removal in wastewater treatment plants and occurrence in water bodies. *Chemosphere*, (73) 1151-1161

Anlagen

Beispiel Keppritzbach-1

Schematische Übersicht und Quellen

Für einen besseren Überblick über Zuflüsse, örtliche Gegebenheiten und weitere recherchierbare Informationen über potenzielle Eintragsquellen (z.B. kommunale Kläranlagen, Stallanlagen, Straßen, Bergwerk-Stollen) sowie Lage, Namen und Nummern der Messstellen wird die Erstellung einer schematischen Übersicht empfohlen. Eine Vorlage steht im PowerPoint zur Verfügung. Entsprechend der folgenden Abbildung können die tabellarisch zusammengefassten Symbole für die Erstellung eines solchen Übersichtschemas verwendet werden.

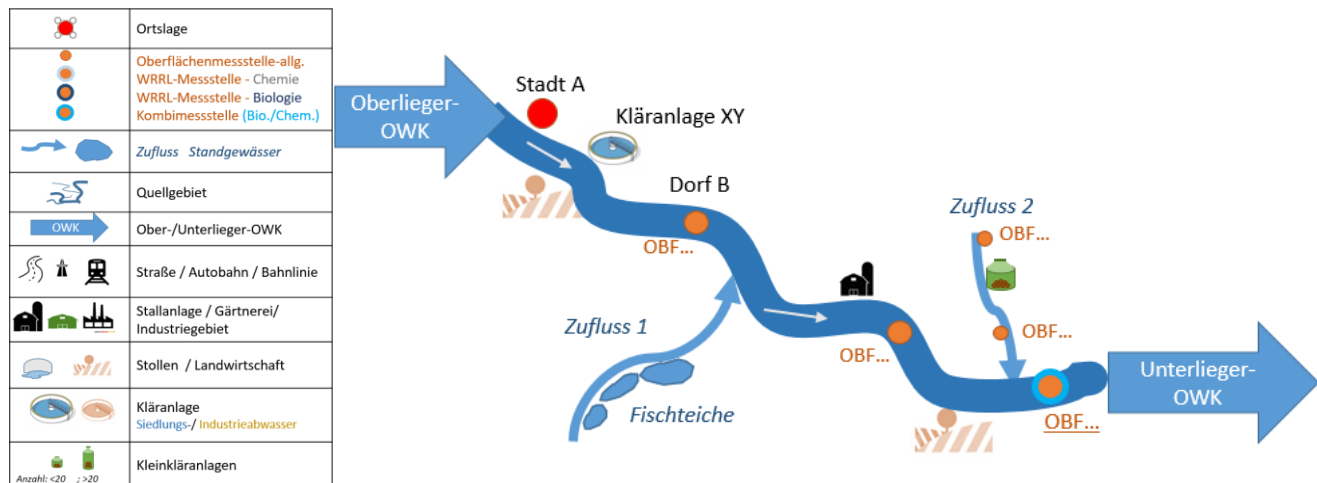


Abbildung 12: Übersicht der im Power-Point verfügbaren Symbole zur Erstellung eines Schemas über Zuflüsse, Messstellen und potentielle Eintragsquellen im Einzugsgebiet

Zur besseren Orientierung zur Lage und Bezeichnung der Messstellen im Einzugsgebiet sind im P-Steckbrief deren Nummern und Namen wie in der nachfolgenden Abbildung tabellarisch zu erfassen.

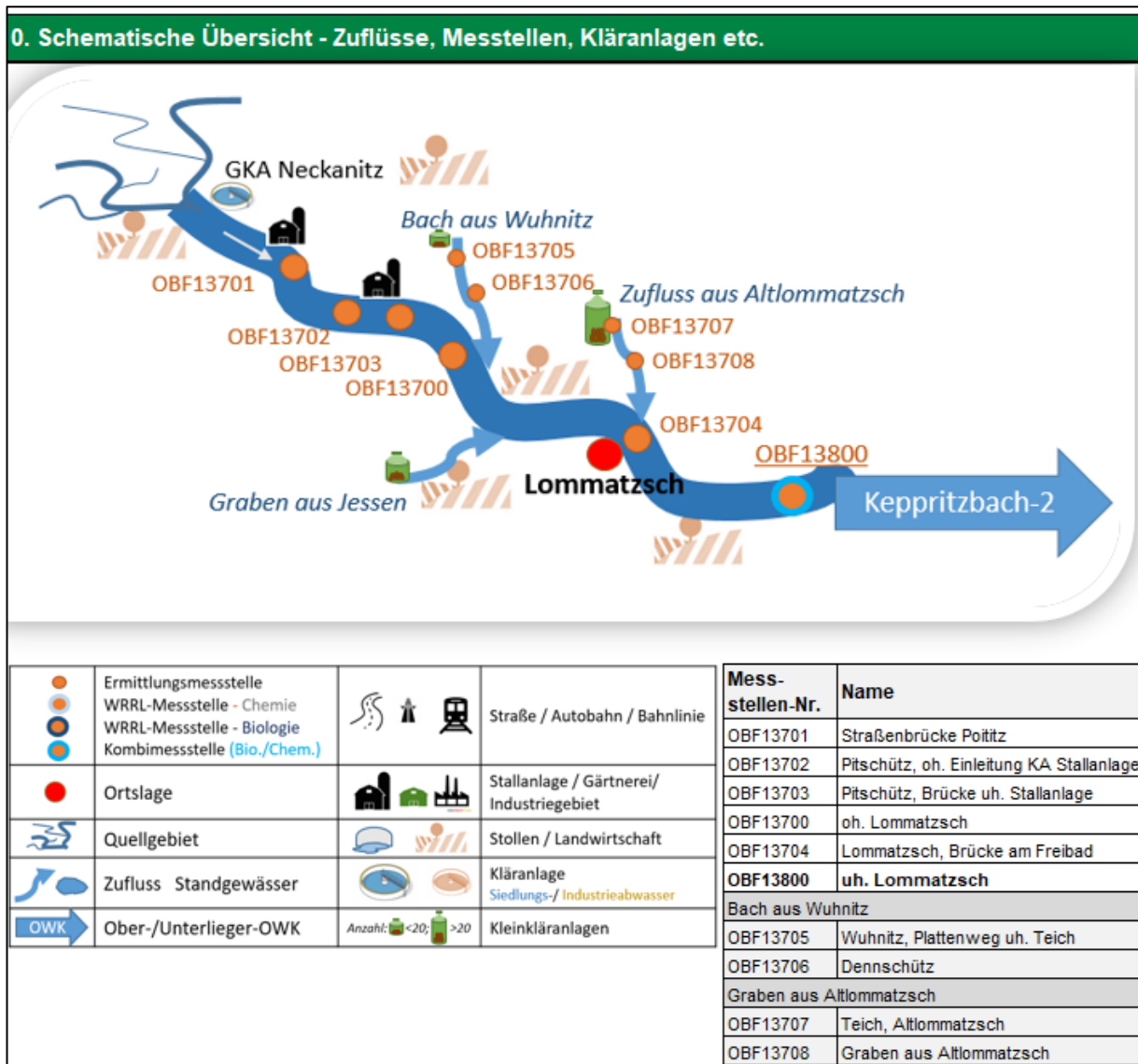


Abbildung 13: Schematische Übersicht des OWK Keppritzbach-1

Defizitanalyse

I. Bewertung nach OGewV analysieren

Dem öffentlich zugänglichen OWK-Steckbrief des LfULG kann die Bewertung im letzten BWZ des ökologischen Zustandes und der allgemeinen chemisch-physikalischen Parameter (ACP) entnommen werden.

Ökologischer Zustand	schlecht			
Phytoplankton	nicht anwendbar			
Makrophyten	unbefriedigend			
Bentische wirbellose Fauna	mäßig			
Fischfauna	schlecht			
Einstufung	NWB			
Anforderungen an den guten Zustand - Orientierungswerte (in mg/l als MW/a³)				
		Orthophosphat-Phosphor (o-PO₄-P)	Gesamt-Phosphor (Gesamt-P)	Ammonium-Stickstoff (NH₄-N)
Gewässertyp nach LAWA	18	$\leq 0,07$	$\leq 0,10$	$\leq 0,1$
überschrittene Orientierungswerte (ACP)	Gesamt-P, o-PO ₄ -P, NO ₂ -N, SO ₄			

Abbildung 14: Übersicht zum ökologischen Zustand und allgemeine chemisch-physikalische Parameter (ACP) des OWK Keppritzbach-1 (BWP 2022-2027)

Die Abbildung 14 zeigt, dass im Keppritzbach-1 neben ortho-PO₄-P und Gesamt-P auch die Parameter Nitrit-Stickstoff und Sulfat im Mittel über dem Orientierungswert für den guten Zustand nach OGewV lagen.

II. Modellierete P-Einträge aus STOFFBILANZ

Um einen ersten Überblick über die Hauptquellen für Phosphoreinträge zu erlangen, werden die im STOFFBILANZviewer zur Verfügung gestellten Daten genutzt. Für den Zugang des OWK-Berechnungs-Tools muss der Passwort-geschützte Zugang verwendet werden. Anhand der berechneten und zum anschließenden xls-Export zur Verfügung stehenden Daten können folgende Diagramme erstellt werden:

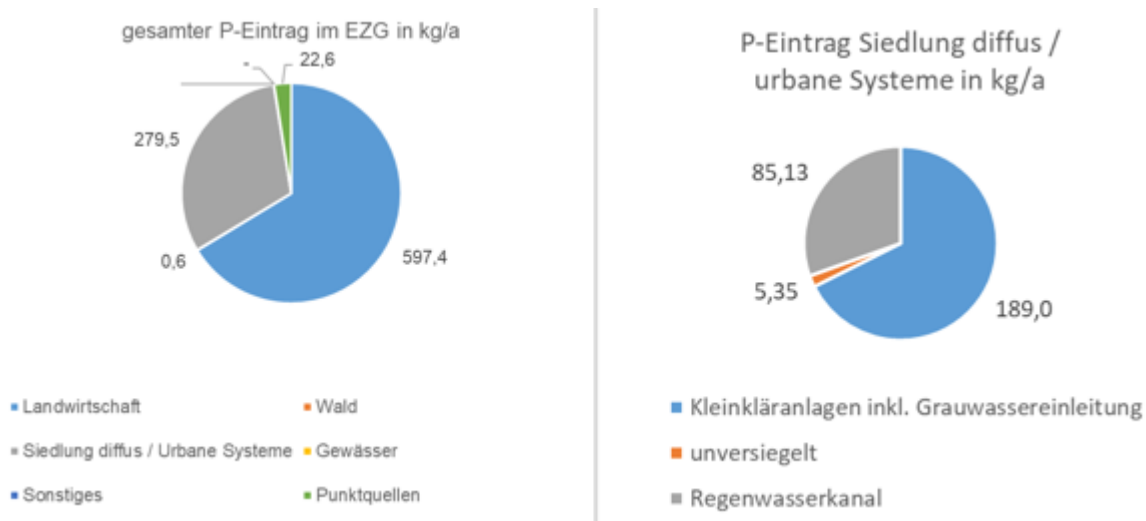


Abbildung 15: P-Einträge nach STOFFBILANZ in den OWK Keppritzbach-1

Deutlich erkennbar ist der hohe P-Eintrag aus der Landwirtschaft mit fast 600 kg/a. Kleinkläranlagen inkl. Grauwassereinleitungen tragen entsprechend der Modellierung etwa 190 kg TP pro Jahr in den OWK Keppritzbach-1 ein. Der Phosphoreintrag durch die Kläranlage Neckanitz im Oberlauf des Keppritzbaches ist mit 22,6 kg TP/a gering.

Kausalitäts- und Verursacheranalyse

III. Auswertung der Monitoring-Daten: Phosphor

Über das Datenportal iDA werden für die RC-Messstelle die Gesamt-P und ortho-Phosphat-P-Messwerte seit 2006 und für alle weiteren Messstellen im Einzugsgebiet die Einzelmesswerte dieser P-Fractionen der vergangenen 3 Messjahre abgerufen.

Zur Abschätzung der Tendenz der mittleren jährlichen P-Konzentrationen im Keppritzbach-1 an der repräsentativen Messstelle für Chemie gibt das folgende Diagramm einen guten Überblick.

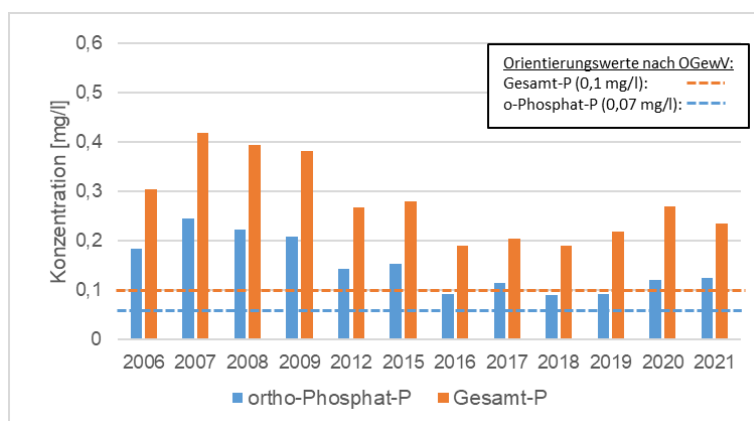


Abbildung 16: Mittlere jährliche Gesamt-P und o-PO₄-P-Konzentrationen der Jahre 2006-2021 an der repräsentativen Messstelle für Chemie im Keppritzbach-1 (OBF13800)

Das obenstehende Diagramm zeigt, dass die Jahresmittelwerte für Gesamt-Phosphor und ortho-Phosphat-Phosphor an der RC-Messstelle im Keppritzbach-1 seit 2006 immer über den Orientierungswerten nach OGewV liegen. Die P-Belastung des OWK besteht somit schon seit vielen Jahren.

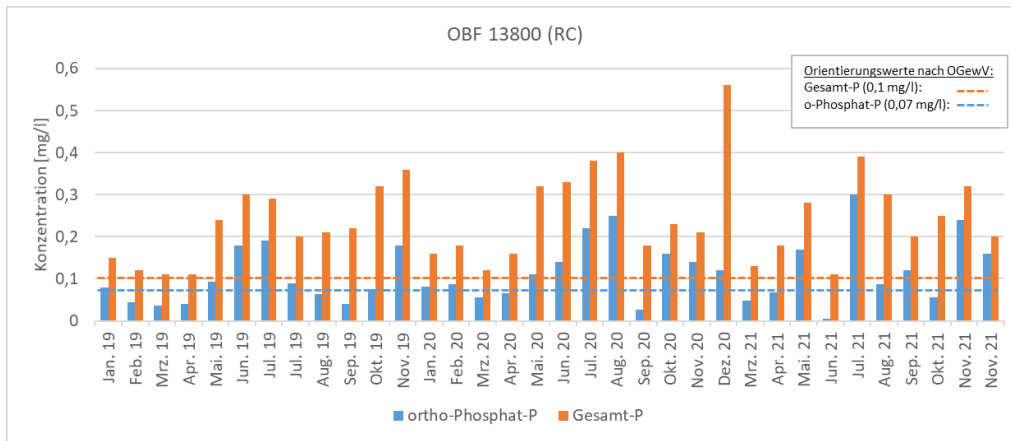


Abbildung 17: Einzelmesswerte der Gesamt-P und o-PO₄-P-Konzentrationen der Jahre 2019-2021 an der repräsentativen Messstelle für Chemie im Keppritzbach-1 (OBF13800)

Die Einzelmesswerte der letzten Messjahre zeigen an der RC-Messstelle einen deutlichen Konzentrationsunterschied zwischen Sommer- und Wintermonaten. Der Orientierungswert von 0,1 mg/l für Gesamt-P wurde bei fast allen Messungen in dem dargestellten Zeitraum überschritten. Der Orientierungswert für ortho-Phosphat-P für den guten Zustand wurde im überwiegenden Teil des Jahres ebenfalls nicht eingehalten. Ausnahmen stellen meist die Monate Februar bis April dar. Auffällig ist auch der große Unterschied zwischen den jeweiligen o-PO₄-P- und Gesamt-P-Konzentrationen.

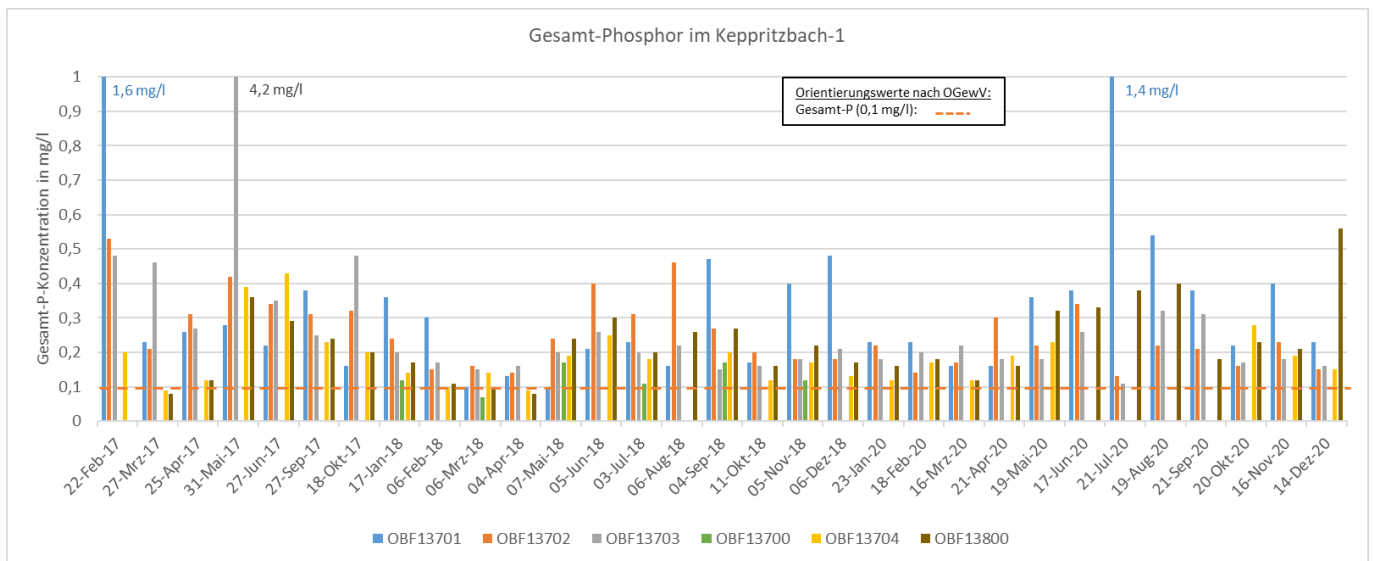


Abbildung 18: Gesamt-P-Konzentration im Keppritzbach-1 (Einzelmesswerte 2017, 2018, 2020)

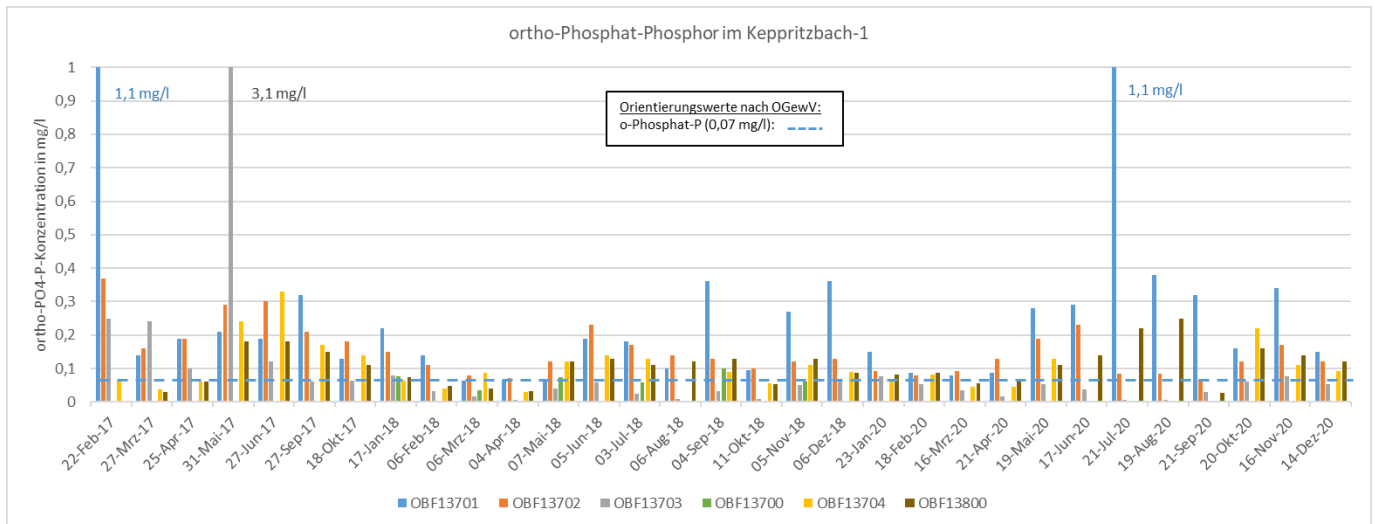


Abbildung 19: ortho-PO₄-P-Konzentration im Keppritzbach-1 (Einzelmesswerte 2017, 2018, 2020)

Die beiden obenstehenden Diagramme zeigen die Gesamt-P- bzw. ortho-Phosphat-P-Konzentrationen an allen Messstellen im OWK in den Jahren 2017, 2018 und 2020. Bereits an der ersten Messstelle im Oberlauf (OBF13701) sind sowohl sehr hohe ortho-PO₄- als auch Gesamt-P-Konzentrationen messbar. Im Mittel lagen sie in den vergangenen 3 Jahren bereits an dieser Stelle über 0,2 mg/l. Die beiden Diagramme zum Verlauf der P-Konzentrationen im Keppritzbach-1 zeigen an dieser ersten Messstelle oft die höchsten Werte. Oberhalb der Messstelle befinden sich die Kläranlage Neckanitz (300 EW mit P-Eliminierung) und eine Stallanlage. Die landwirtschaftlichen Nutzflächen reichen teilweise bis an den Gewässerrand (Orthofotos bzw. Satellitendarstellung). Im weiteren Verlauf des OWK sinkt die Gesamt-P-Konzentration. An der OBF13704 in Lommatzsch ist wiederum oft ein Anstieg erkennbar. Bis zur RC-Messstelle in Paltzschen steigen die P-Konzentrationen ebenfalls.

In den Zuflüssen Bach aus Wuhnitz und im Graben aus Altlommatzsch gibt es Ermittlungsmessstellen mit Messwerten. Der im Oberlauf in den Keppritzbach-1 mündende Bach aus Wuhnitz weist sehr hohe Gesamt-P-Konzentrationen an der ersten Messstelle im Oberlauf auf, wobei Gesamt-P mit Konzentrationen bis 0,6 mg/l meist mehr als doppelt so hoch ist wie ortho-Phosphat-P. Die Konzentration sinkt jeweils bis zur 2. Messstelle (OBF13706). Die höchsten ortho-Phosphat-Konzentrationen waren 2020 in den Sommermonaten messbar.

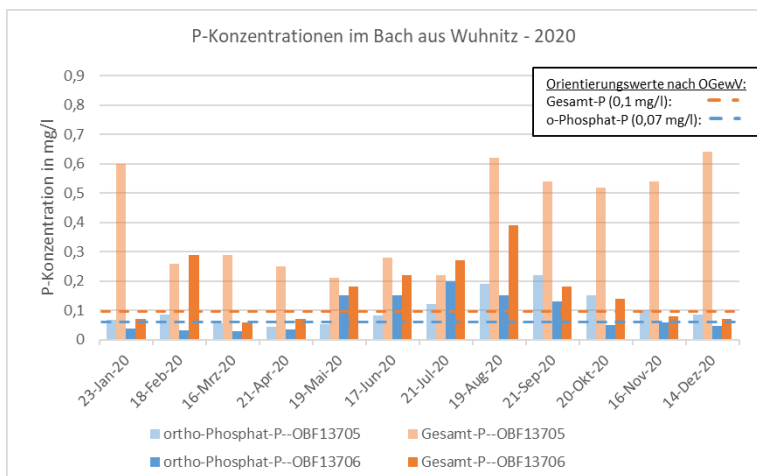


Abbildung 20: P-Konzentrationen im Bach aus Wuhnitz (2020)

Der 2. Zufluss mit Ermittlungsmessstellen ist der Graben aus Altlommatzsch. An der Messstelle im Oberlauf (in der Ortslage) ist ganzjährig nahezu kein P nachweisbar. Bei den Messungen 2018 fielen jedoch im Unterlauf sehr hohe P-Konzentrationen mit Werten bis 0,8 mg/l auf.

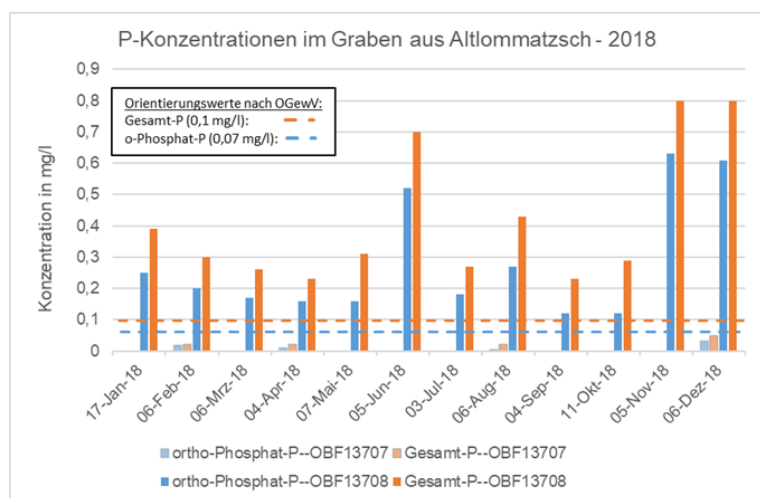


Abbildung 21: P-Konzentrationen im Zufluss aus Altlommatzsch (2018)

Der Einfluss des Grabens aus Jessen kann nicht bewertet werden, da hier keine Ermittlungsmessstelle vorhanden ist.

IV. Auswertung der Monitoring-Daten: Indikatorsubstanzen

Das nachfolgende Diagramm zeigt, dass in den vergangenen 3 Jahren die Konzentration an Ammonium-Stickstoff an der RC-Messstelle des Keppritzbaches oft deutlich über 0,1 mg/l (= Orientierungswert der OGewV für den guten ökologischen Zustand) lag. Die Chlorid-Konzentrationen befanden sich im Keppritzbach-1 auf einem hohen Niveau von etwa 80 mg/l. Es sind jedoch keine Spitzen erkennbar, was auf verkehrsbedingte Einträge deuten würde.

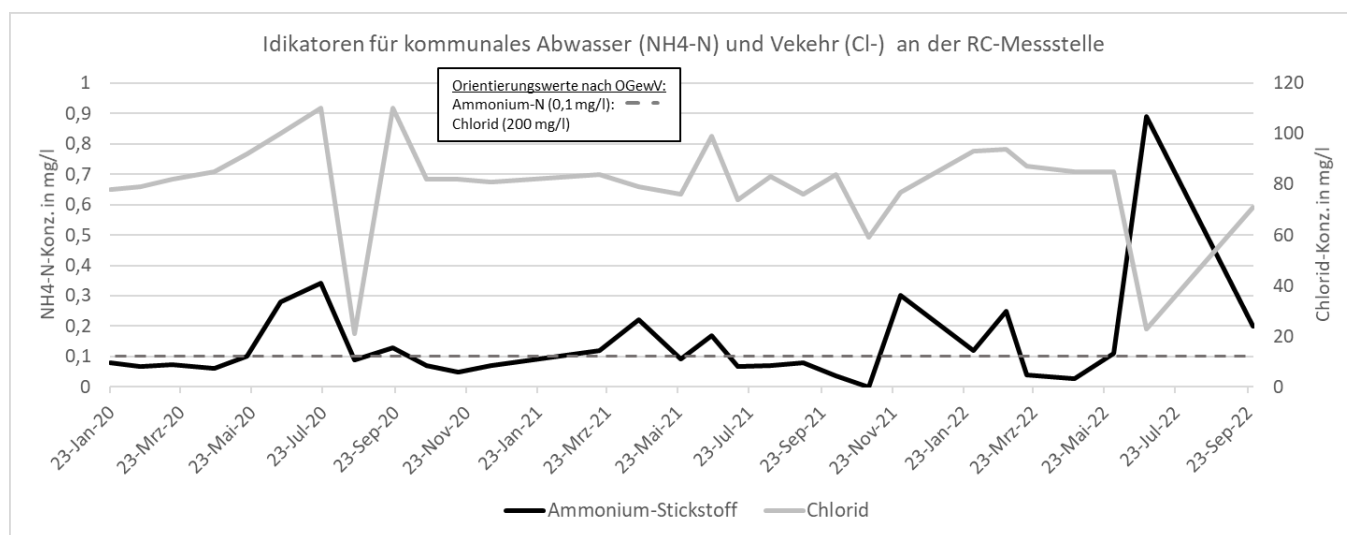


Abbildung 22: Ammonium-Stickstoff und Chlorid an der RC-Messstelle (2020-2022)

Das nachfolgende Diagramm zeigt den Verlauf der Chlorid-Konzentration an den Messstellen im OWK. Im Oberlauf des Keppritzbaches lagen die Chlorid-Konzentrationen in den Jahren 2017, 2018 und 2020 immer unter 60 mg/l. An der Messstelle OBF13704 in Lommatzsch ist jeweils ein Anstieg zu erkennen.

Die höchsten Werte sind fast immer im Unterlauf in Paltzschen (OBF13800) messbar (80 bis über 100 mg/l). Diese hohen Konzentrationen stellen jedoch aufgrund ihrer Kontinuität keine Tausalzspitzen dar.

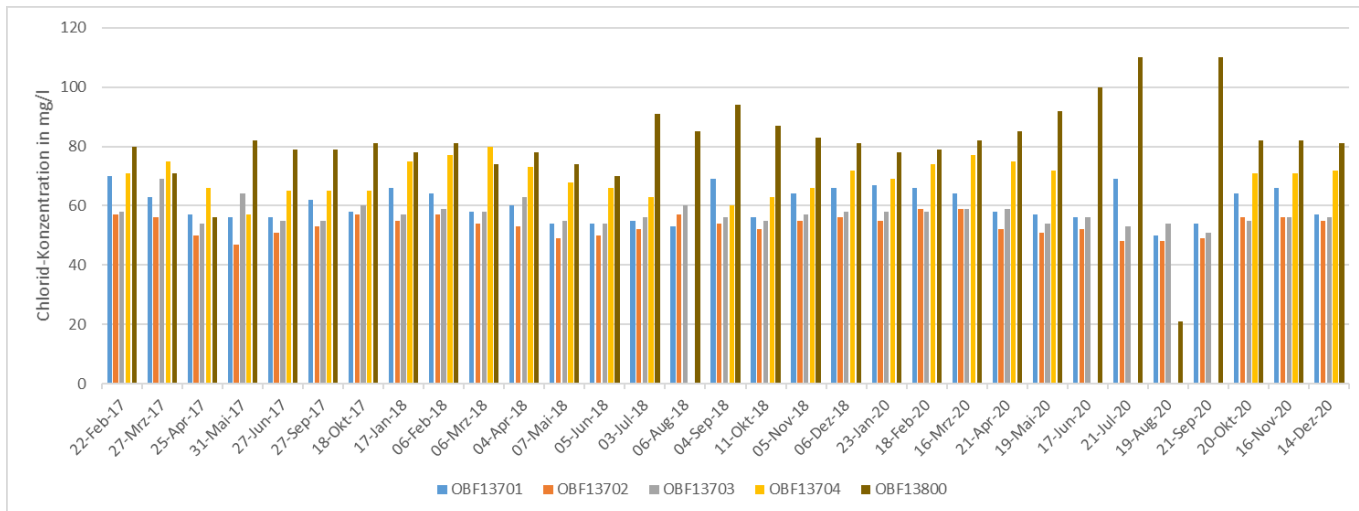


Abbildung 23: Chlorid-Konzentration im Verlauf des OWK Keppritzbach-1 (Messjahre 2017, 2018, 2020)

Die NH₄-N-Konzentrationen unterscheiden sich an den verschiedenen Messstellen im Keppritzbach-1 sehr. Auffällig ist, dass bereits die erste Messstelle im Oberlauf (OBF13701) sehr hohe Werte aufweist. An der 2. Messstelle (OBF13702) sind im Betrachtungszeitraum meist die niedrigsten Konzentrationen messbar. Immer ist an der OBF13703 (direkt nach der Stallanlage in Pitschütz) ein Anstieg der NH₄-N-Konzentration erkennbar.

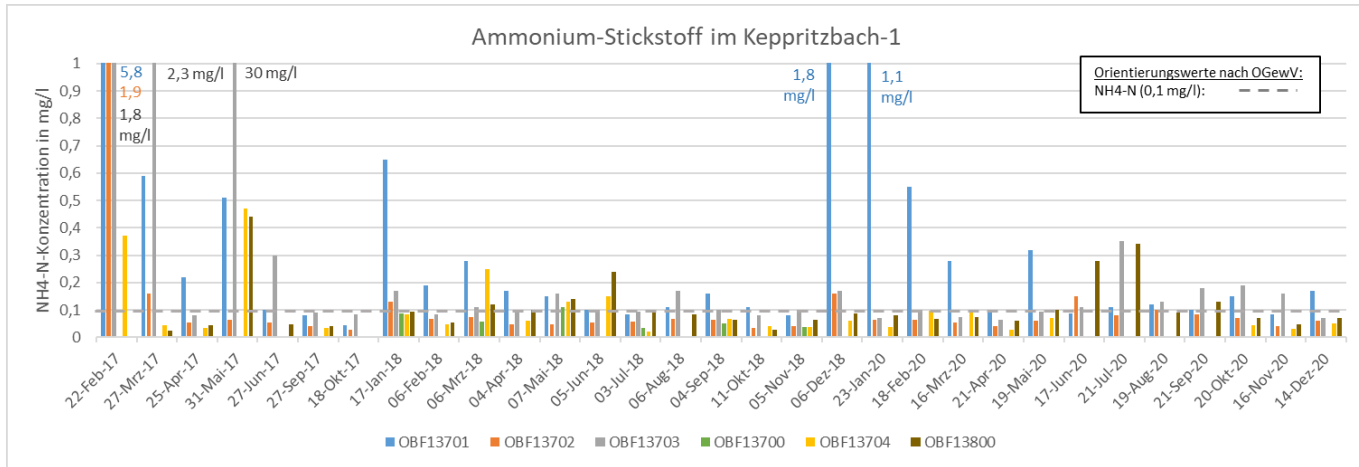


Abbildung 24: Ammonium-Stickstoff-Konzentration im Verlauf des OWK Keppritzbach-1 (Messjahre 2017, 2018, 2020)

Das nachfolgende Boxplot-Diagramm verdeutlicht die Verteilung der Messwerte in Abhängigkeit des Parameters und der Messstelle im OWK Keppritzbach-1. Im Oberlauf an der OBF 13101 schwanken die Messwerte im Jahr 2020 deutlich bei allen dargestellten Parametern. Bis zur Messstelle oberhalb der Stallanlage (OBF13102) sinken die Konzentrationen aller Parameter. An der OBF13103 fällt der Konzentrationsanstieg bei Gesamt-P und der deutliche Konzentrationssprung bei NH₄-N auf. Die o-PO₄-P-Konzentration dagegen sinkt. Bis zur OBF13104 ist wiederum ein deutlicher Anstieg der o-PO₄-P-Konzentra-

tion erkennbar. An der RC-Messstelle im Unterlauf des Keppritzbaches-1 (OBF13800) ist bei allen dargestellten Parametern (insbesondere bei Gesamt-P) ein Konzentrationsanstieg im Vergleich zur davorliegenden Ermittlungsmessstelle erkennbar.

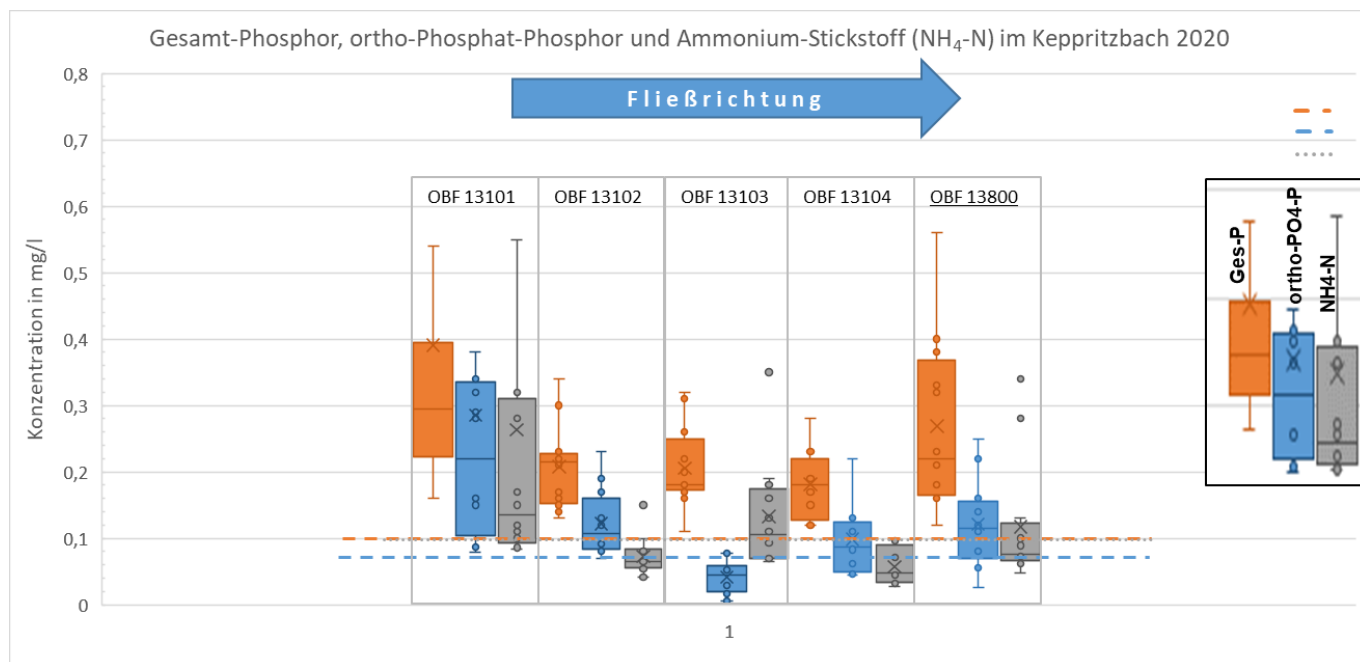


Abbildung 25: Übersicht zum Konzentrationsverlauf von Gesamt-P, o-PO₄-P und NH₄-N im Keppritzbach-1 (2020)

Das folgende Diagramm zeigt die Coffein-Konzentrationen (Jahresmittelwerte) an der RC-Messstelle in den vergangenen 10 Jahren messbar waren. Im Jahresmittel lagen sie zwischen 50 ng/l (2017) und 300 ng/l (2012). Das ebenfalls leicht abbaubare Schmerzmittel Ibuprofen war in niedrigen Konzentrationen (bis 50 ng/L Jahresmittelwert 2018) nachweisbar. Diclofenac und der Süßstoff Acesulfam waren mit Konzentrationen von im Mittel 50 ng/l bzw. ca. 300 ng/l ebenfalls niedrig. Die mittleren jährlichen Konzentrationen an Metformin lagen 2017-2021 zwischen 400 und 2.000 ng/l (2018).

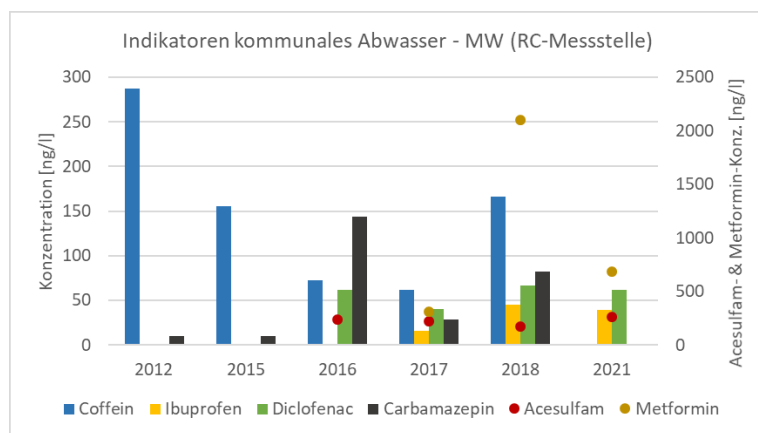


Abbildung 26: Mittelwerte der Indikatorsubstanzen für kommunales Abwasser im Keppritzbach-1 an der RC-Messstelle (2012-2021)

Die Einzelmessungen des Jahres 2021 an der RC-Messstelle (Abbildung 27) lagen bei Carbamazepin immer Werte unter der Bestimmungsgrenze. Diclofenac ist in Konzentrationen bis zu 150 ng/l vorhanden. Die Konzentrationen der leicht abbaubaren Stoffe Ibuprofen und Coffein sind deutlich höher – bis zu 170 ng/l. Metformin war an der RC-Messstelle mit Konzentrationen bis zu 1.200 ng/l vorhanden. Das schwer abbaubare Acesulfam lag in Konzentrationen zwischen 0 und 500 ng/l vor. Diese Werte zeigen einen deutlichen und anhaltenden Einfluss von häuslichem und offensichtlich unzureichend geklärtem Abwasser an der RC-Messstelle in Paltzsch.

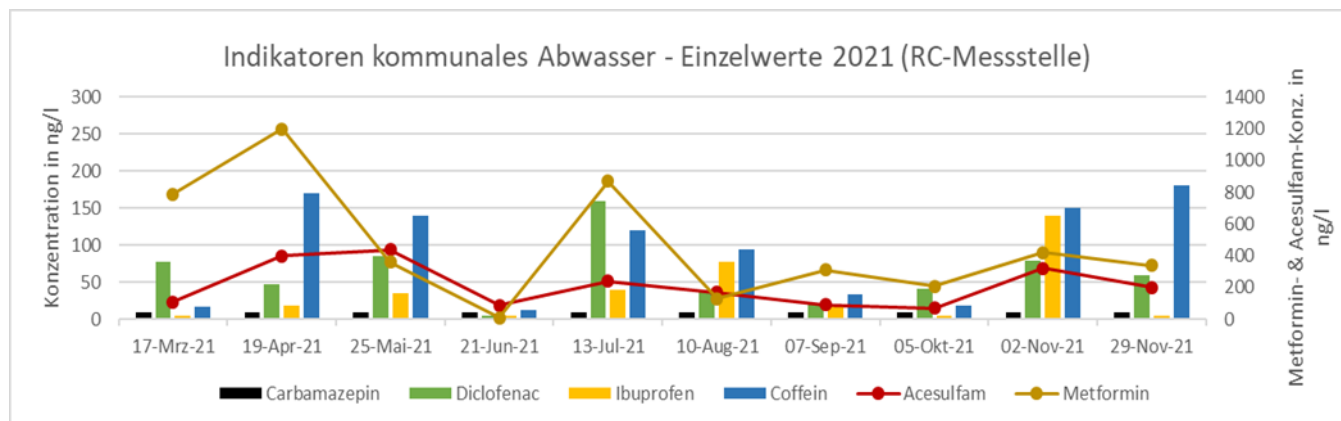


Abbildung 27: Einzelwerte der Indikatorsubstanzen für kommunales Abwasser den der RC-Messstelle im Keppritzbach-1 (2021)

Die folgenden 6 Diagramme stellen den Verlauf der Konzentrationen der ausgewählten und 2017 gemessenen Indikatorsubstanzen für kommunales Abwasser an den Messstellen im OWK Keppritzbach-1 dar. Zum Vergleich ist der Konzentrationsverlauf von Metformin im OWK für das Jahr 2018 in Abbildung 33 dargestellt.

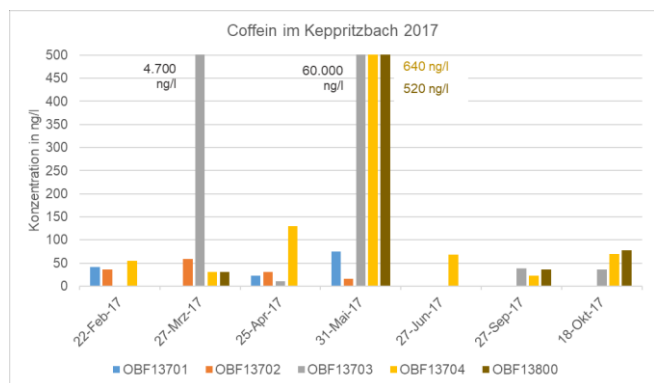


Abbildung 28: Coffein im Keppritzbach 2017

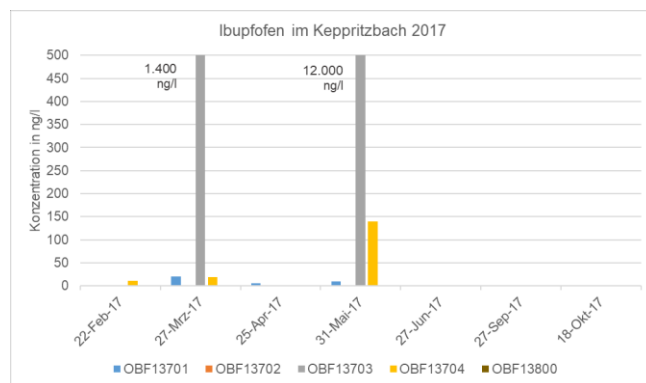


Abbildung 29: Ibuprofen im Keppritzbach 2017

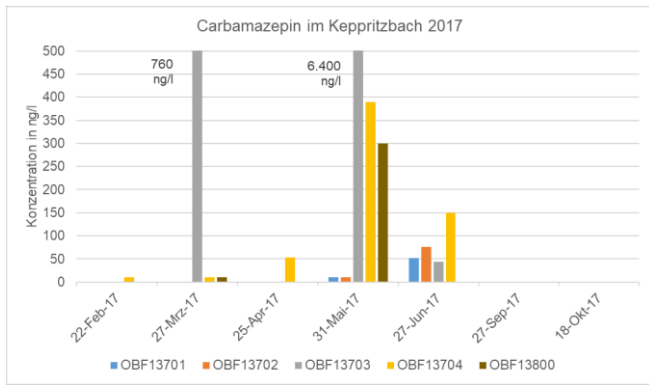


Abbildung 30: Carbamazepin im Keppritzbach 2017

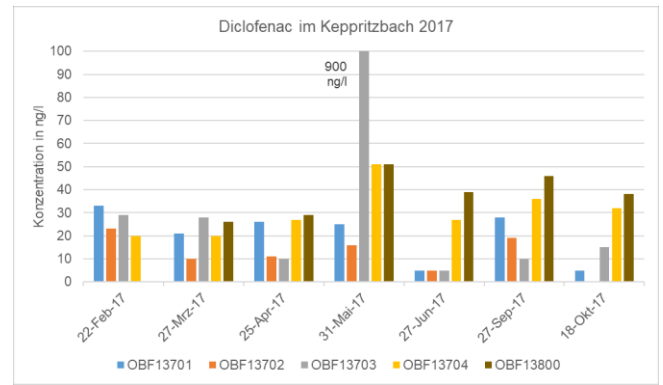


Abbildung 31: Diclofenac im Keppritzbach 2017

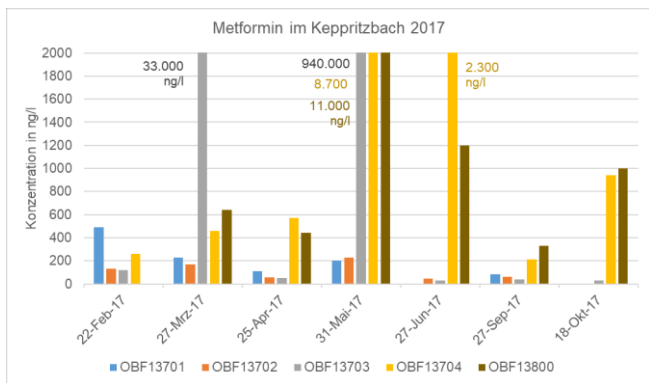


Abbildung 32: Metformin im Keppritzbach 2017

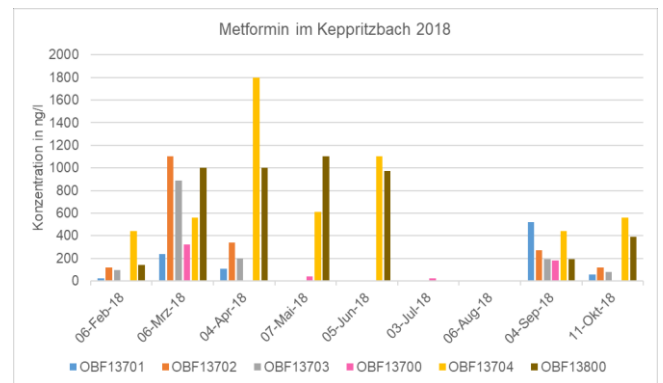


Abbildung 33: Metformin im Keppritzbach 2018

Die Diagramme zeigen deutliche Unterschiede zwischen den einzelnen Messstellen. Auffällig sind an der OBF13703 (grau) bei fast allen dargestellten Indikatorsubstanzen im Mai und März 2017 sehr hohe Konzentrationen, die sich meist noch auf die nachfolgende Messstelle auswirken. Diese Konzentrationsspitzen treten zeitgleich mit den mit den extrem hohen Konzentrationen der P-Fractionen und NH₄-N-Konzentration auf. Das zeigt, dass der P-Eintrag an diesen Tagen von häuslichem Abwasser stammt.

Die leicht abbaubaren Substanzen Ibuprofen und Coffein sowie die schwerer abbaubaren Indikatorsubstanzen Diclofenac und Carabamazepin sind (außer im März und Mai 2017 an der OBF13703) im gesamten Einzugsgebiet niedrig bzw. teilweise sogar unter der Nachweisgrenze. Metformin dagegen ist 2017 und 2018 insbesondere an den beiden Messstellen im Unterlauf mit Konzentrationen über 1.000 ng/l in sehr hohen Konzentrationen nachweisbar.

Um den Eintrag von Phosphor von landwirtschaftlichen Nutzflächen zu bewerten, werden nachfolgend die entsprechend ausgewählten Indikatorsubstanzen ausgewertet. Die Tabellen zeigen die Mittelwerte in den Messjahren zwischen 2012 bis 2021, sowie die Einzelmesswerte des Jahres 2021 an der RC-Messstelle.

Tabelle 5: Jahresmittelwerte der Indikatorsubstanzen für Landwirtschaft und Fluoranthen an der RC-Messstelle im Keppritzbach-1

Datum	BG	JD-UQN	2012	2015	2016	2017	2018	2021
Diflufenican ges_ng/l	3	9	7	331	11	39	17	23
Fluoranthen ges_ng/l	1	6,3	7	5	14	1		2
Metazachlor ges_ng/l	1	400	<10	57	<10	<10	11	4
Metazachlorsulfonsäure ges_ng/l	10	(1000)	130	325	320	225		147
Metolachlor ges_ng/l	5	200	<10	6	14	412	334	6
Metolachlorsulfonsäure ges_ng/l	10	(1000)	117	29	52	56		167
Nicosulfuron ges_ng/l	3	9	-	18	10	<3		<3
Terbutylazin ges_ng/l	7	500	43	7	42	370	180	17

Legende:

	<BG
	≤UQN/2
	≤ UQN
	≤ 2 * UQN
	≤ 4 * UQN
	≤ 8 * UQN
	≥8 * UQN

Tabelle 6: Indikatorsubstanzen für Landwirtschaft an der RC-Messstelle im Keppritzbach-1 (2021)

Datum	BG	JD-UQN	Mrz. 21	Apr. 21	Mai 21	Jun. 21	Jul. 21	Aug. 21	Sep. 21	Okt. 21	Nov. 21	Dez. 21
Diflufenican ges_ng/l	3	9	23	13	14	4	23	10	10	6	11	120
Metazachlor ges_ng/l	1	400	18	1	<1	<1	<1	<1	1	4	13	3
Metazachlorsulfonsäure ges_ng/l	10	(1000)	270	190	130	84	120	130	200	130	100	120
Metolachlor ges_ng/l	5	200	5	<5	6	8	27	<5	5	<5	<5	<5
Metolachlorsulfonsäure ges_ng/l	10	(1000)	270	150	110	15	220	280	250	140	96	140
Nicosulfuron ges_ng/l	3	9	<3	<3	<3	<3	11	5	<3	<3	<3	<3
Terbutylazin ges_ng/l	7	500	<7	<7	<7	38	79	<7	16	8	8	<7

Legende: UQN: Umweltqualitätsnorm der OGewV, JD: Jahresdurchschnittswert (entspr. Anlage 9 Nr. 3.2.2 OGewV zu berechnen); BG: Bestimmungsgrenze

An der RC-Messstelle lagen die Jahresmittelwerte und Einzelwerte im Jahr 2021 für Diflufenican fast immer über der Bestimmungsgrenze (BG), teilweise sogar deutlich über der in der OGewV festgelegten Umweltqualitätsnorm des Jahresdurchschnittswertes (JD-UQN). Sehr auffällig ist das Jahr 2015 mit einer mittleren jährlichen Konzentration von 331 ng/l Diflufenican an der RC-Messstelle.

Metolachlor und Metazachlor waren 2021 sehr häufig über der Bestimmungsgrenze nachweisbar. Nicosulfuron wurde im Juli und August 2021 im Keppritzbach nachgewiesen. Die Jahresdurchschnittskonzentrationen lagen fast immer unter der in Anlage 6 OGewV festgelegten JD-UQN für Nicosulfuron.

Die Jahresdurchschnittskonzentration von Fluoranthen war 2016 mehr als doppelt so hoch, als der in der Anlage 8 der OGewV festgelegte Wert von 6,3 ng/l. In den folgenden Messjahren 2017 und 2021 unterschritten die Mittelwerte jeweils diese UQN.

Um festzustellen, wo Diflufenican und auch die anderen Herbizide eingetragen werden, sind nachfolgend die Messwerte von 2018 für alle Messstellen im OWK dargestellt. Die 4 Diagramme zeigen, dass sich die Belastung des Keppritzbaches durch Herbizide auf die Messstellen im Unterlauf (OBF13704 und OBF13800) beschränkt. Im betrachteten Messjahr 2018 waren in den Monaten Februar bis Oktober sehr hohe Konzentrationen nachweisbar. Auffällig ist, dass Diflufenican an der Messstelle OBF13704 in Lommatzsch an 7 von 10 Messungen die JD-UQN nach Anlage 6 OGewV überschreitet. Diese hohen Konzentrationen wirken sich bis auf die folgende Messstelle aus und sind dort noch deutlich nachweisbar. Diese Konzentrationsspitzen der Indikatorsubstanzen für landwirtschaftliche Einträge deckt sich nicht mit den Konzentrationsspitzen von Phosphor in Abbildung 18 und Abbildung 19.

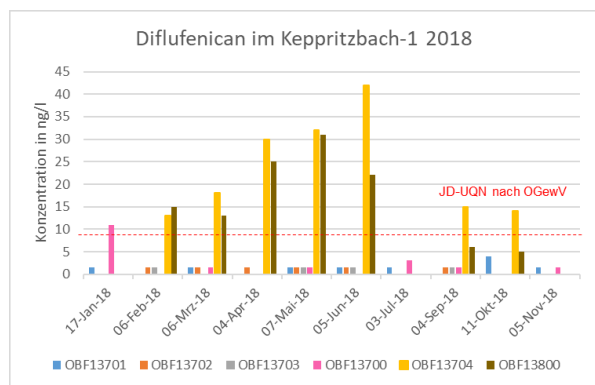


Abbildung 34: Diflufenican im Keppritzbach (2018)

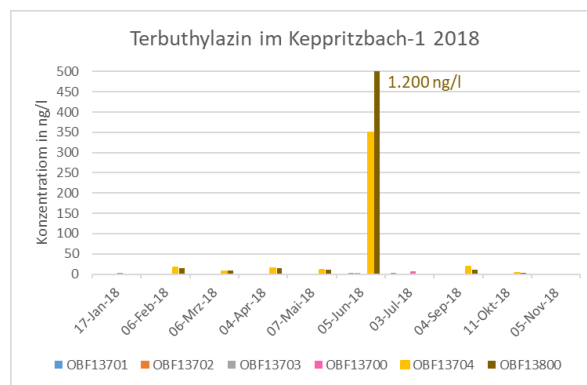


Abbildung 35: Terbutylazin im Keppritzbach (2018)

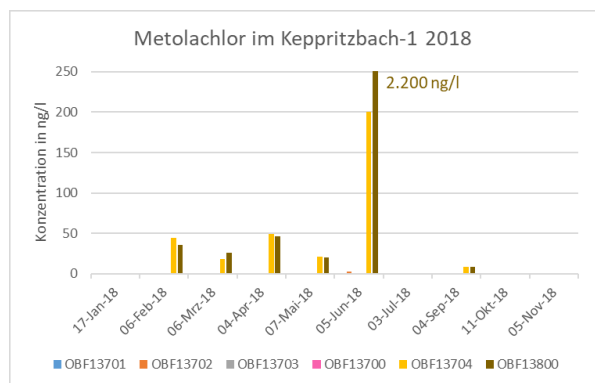


Abbildung 36: Metolachlor im Keppritzbach (2018)

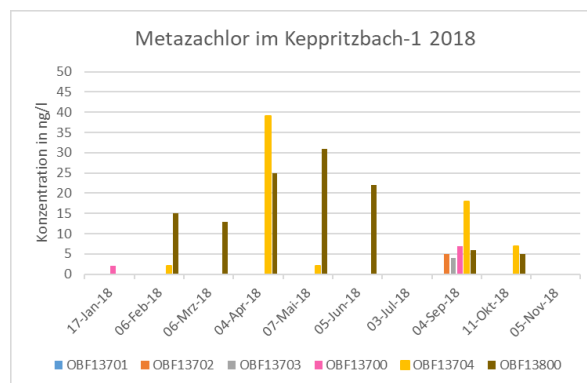


Abbildung 37: Metazachlor im Keppritzbach (2018)

Die nachfolgenden Diagramme der Metaboliten Metazachlorsulfonsäure und Metolachlorsulfonsäure des Jahres 2017 zeigen ein etwas anderes Bild als die oben dargestellten Substanzen.

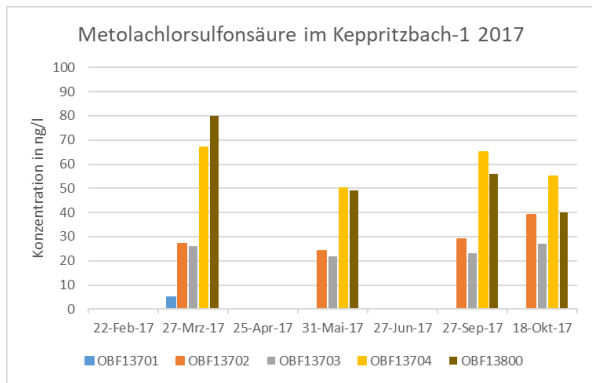


Abbildung 38: Metolachlorsulfonsäure im Keppritzbach 2017

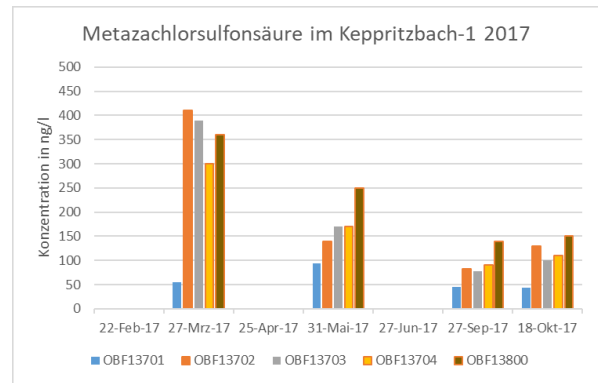


Abbildung 39: Metazachlorsulfonsäure im Keppritzbach 2017

Die Herbizide Metazachlor und Metolachlor selbst sind zwar oberhalb der Messstelle OBF13704 nicht nachweisbar (vgl. Abbildung 36 und Abbildung 37), aber deren schwerer abbaubare Metaboliten. An der Messstelle OBF13702 ist bereits ein landwirtschaftlicher Einfluss zu erkennen. Während der Metabolit von Metolachlor nur in sehr niedrigen Konzentrationen nachgewiesen wurde, liegen die Metazachlorsulfonsäure-Konzentrationen an der Messstelle bei bis zu 400 ng/l. Es fällt ebenfalls auf, dass an der OBF13704 und teilweise noch einmal an der RC-Messstelle OBF13800 deren Konzentrationen ansteigen. Das zeigt, wie bereits in Abbildung 37 ersichtlich, dass zwischen der Messstelle in Lommatzsch (OBF13704) und der RC-Messstelle Einträge aus landwirtschaftlichen Flächen erfolgen.

Die in Abbildung 18 und Abbildung 19 auffälligen hohen P-Konzentrationen an der OBF13701 lassen sich folglich nicht auf Einträge aus der Landwirtschaft zurückführen.

Messungen an den Ermittlungsmessstellen der Zuflüsse

Zur Abschätzung der Einträge aus den Zuflüssen des Keppritzbaches, werden jeweils die zwei Ermittlungsmessstellen im Bach aus Wuhnitz und im Graben aus Altlommatzsch ausgewertet. Der Bach aus Wuhnitz wurde 2017 und 2020 und der Graben aus Altlommatzsch ausschließlich 2018 beprobt. Aus diesem Grund beschränken sich die nachfolgenden Diagramme auf diese Jahre.

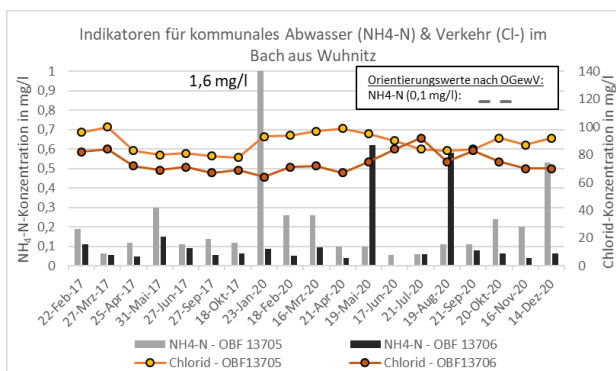


Abbildung 40: Indikatorsubstanzen für kommunales Abwasser im Bach aus Wuhnitz (2017-2020)

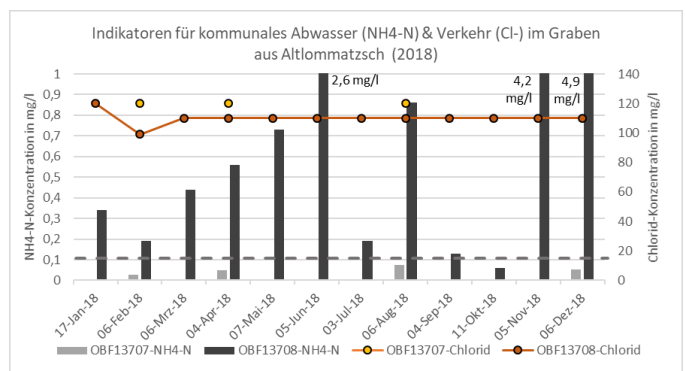


Abbildung 41: Indikatorsubstanzen für kommunales Abwasser im Graben aus Altlommatzsch (2018)

Im Bach aus Wuhnitz ist bei den meisten Messungen die NH₄-N-Konzentration im Oberlauf (OBF13705) deutlich höher als im Unterlauf. Ausnahmen stellen die Monate Mai und August 2020 dar. Bei diesen Messungen waren jeweils ca. 0,6 mg/l NH₄-N an der Messstelle im Unterlauf (OBF13706) vorhanden. Die Chlorid-Konzentrationen an beiden Messstellen im Bach aus Wuhnitz sind mit Werten zwischen 60 und 100 mg/l sehr hoch, wobei der Oberlauf meist höher belastet ist.

Im Graben aus Altlommatz sind die die Chlorid-Konzentrationen 2018 mit Werten bis zu 120 mg/l verglichen mit allen anderen Messstellen des Einzugsgebietes am höchsten. Das Gleiche gilt für die gemessenen NH₄-N-Konzentrationen. Diese liegen an der unteren Messstelle (OBF13708) zwischen 0,06 mg/l im Oktober und 4,9 mg/l im Dezember. An der Messstelle OBF13707 in der Ortslage Altlommatzsch war ganzjährig kaum Ammonium-Stickstoff nachweisbar (max. Konzentration: 0,074 mg/l). Der Eintrag muss demnach zwischen den beiden Messstellen erfolgen. Da die Ortslage abwassertechnisch noch nicht zentral erschlossen ist, befinden sich auch keine Mischwasserentlastungen in diesem Gebiet. Es sind zahlreiche Kleinkläranlagen mit Direkteinleitungen und Einleitungen aus Teilortskanalisierungen vorhanden.

Das nachfolgende Diagramm zeigt die Konzentrationen der Indikatorsubstanzen für kommunales Abwasser im Bach von Wuhnitz im Jahr 2017. Die kräftigen Farben stellen die Messungen im Unterlauf (OBF13706) und die halbtransparenten Farben die Messungen im Oberlauf dar.

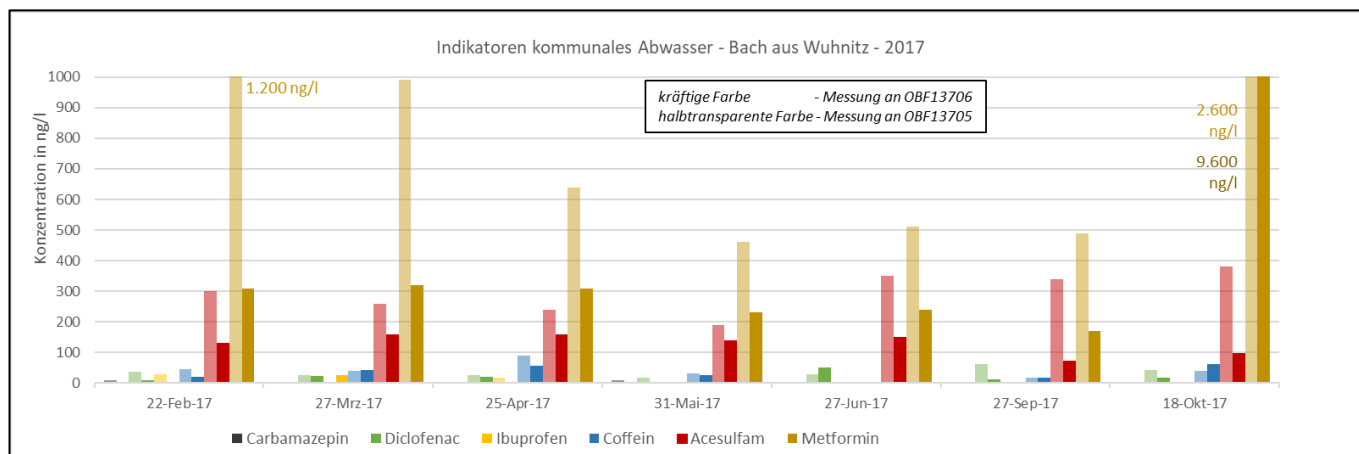


Abbildung 42: Indikatoren für kommunales Abwasser im Bach aus Wuhnitz (2017)

Ibuprofen, Coffein und Diclofenac sind im Oberlauf meist in deutlich höheren Konzentrationen vorhanden als an der Messstelle OBF13706. Auffällig sind die sehr hohen Messwerte für Metformin mit bis zu 9.600 ng/l. Der Süßstoff Acesulfam ist an der unteren Messstelle im Bach von Wuhnitz mit Konzentrationen zwischen 50 und 180 ng/l immer nachweisbar. Im Zusammenhang mit den hohen P- und NH₄-N-Konzentrationen im Oberlauf sprechen diese Werte für den Eintrag von unzureichend geklärtem häuslichem Abwasser im Oberlauf. Eine Ausnahme stellt die gemessene Konzentration an Metformin im Dezember dar. Hier ist der Wert im Unterlauf mit 9.600 ng/l deutlich höher als die Konzentration an der OBF13705 im Oberlauf (2.600 ng/l).

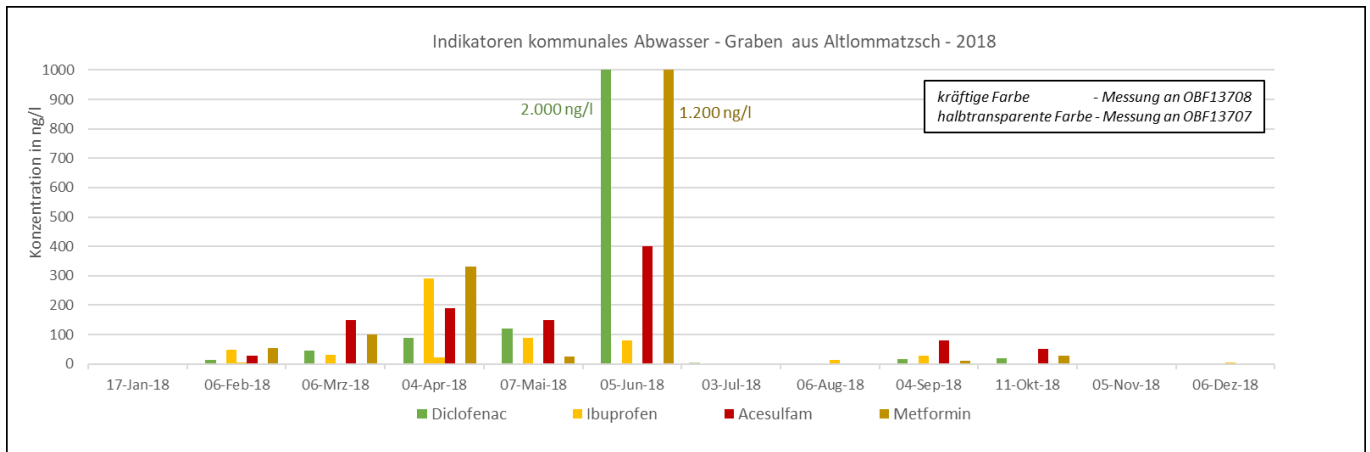


Abbildung 43: Indikatoren für kommunales Abwasser im Graben aus Altlommatzsch (2018)

Das Diagramm zeigt, dass 2018 die Konzentrationen der Schmerzmittel Ibuprofen und Diclofenac an der oberen Messstelle im Graben aus Altlommatzsch immer unter der Bestimmungsgrenze lagen. Im Unterlauf (OBF13708) sind insbesondere in den Monaten März bis Juni beide Stoffe mit sehr hohen Konzentrationen messbar. Diese Konzentrationsverläufe zeigen das gleiche Bild, wie die P- und NH₄-N-Konzentrationen. Dadurch wird deutlich, dass ein Eintrag von häuslichem Abwasser unterhalb der ersten Messstelle im Bach aus Altlommatzsch vorhanden ist. Dies wird durch die Messwerte von Metformin unterstrichen. Besonders fällt die Messung am 5. Juni 2018 auf bei der Diclofenac mit 2,0 µg/l, Metformin mit 1,2 µg/l und zum Vergleich Gesamt-P mit einer Konzentration von 0,7 mg/l messbar waren. Carbamazepin und Coffein wurden nicht gemessen.

Die nachfolgenden Tabellen zeigen die Messergebnisse der ausgewählten Indikatorparameter für landwirtschaftliche Einträge der beiden Zuflüsse zum OWK Keppritzbach-1.

Tabelle 7: Indikatoren für die Landwirtschaft im Bach aus Wuhnitz – OBF13706 (2017)

Datum	BG	JD-UQN	22-Feb-17	27-Mrz-17	25-Apr-17	31-Mai-17	27-Jun-17	27-Sep-17	18-Okt-17
Diflufenican ges_ng/l	3	9	nn	<3	<3	<3	nn	nn	<3
Fluoranthen ges_ng/l	1	6,3	2	2	2	2	3	5	4
Metazachlor ges_ng/l	1	400	nn	nn	nn	<10	nn	<10	nn
Metazachlorsulfonsäure ges_ng/l	10	(1000)		190		110		50	65
Metolachlor ges_ng/l	5	200	nn	nn	nn	15	nn	nn	nn
Metolachlorsulfonsäure ges_ng/l	10	(1000)		110		43		97	69
Nicosulfuron ges_ng/l	3	9	6	<3	<3	<3	nn	nn	nn
Terbutylazin ges_ng/l	7	500	10	nn	nn	21	10	nn	nn

Tabelle 8: Indikatoren für die Landwirtschaft im Graben aus Altlommatzsch – OBF13708 (2018)

Datum	BG	JD-UQN	06-Feb-18	06-Mrz-18	04-Apr-18	07-Mai-18	05-Jun-18	04-Sept-18	11-Okt-18
Diflufenican ges_ng/l	3	9	nn	nn	nn	nn	4	nn	nn
Metazachlor ges_ng/l	1	400	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Metazachlorsulfonsäure ges_ng/l	10	(1000)							
Metolachlor ges_ng/l	5	200	nn	nn	nn	nn	450	nn	nn
Metolachlorsulfonsäure ges_ng/l	10	(1000)							
Nicosulfuron ges_ng/l	3	9							
Terbutylazin ges_ng/l	7	500	nn	nn	nn	nn	400	nn	nn

Legende: UQN: Umweltqualitätsnorm der OGewV, JD: Jahresdurchschnittswert (entspr. Anlage 9, Nr. 3.2.2 OGweV zu berechnen); BG: Bestimmungsgrenze

Im gesamten Jahr 2018 waren an beiden Messstellen im Graben aus Altlommatzsch wenige Pflanzenschutzmittel messbar. Eine Ausnahme ist die Messung im Juni 2018 bei der 450 ng/l Metolachlor und 400 ng/l Terbuthylazin nachgewiesen wurden.

V. Analyse der Abflüsse und Niederschläge

Der OWK Keppritzbach-1 hat eine Pegelmessstelle in Paltzschen. An der Abflussganglinie ist ein deutlicher Jahresgang erkennbar. Während in den Wintermonaten Durchflüsse häufig zwischen 0,3 bis 0,06 m³/s zu beobachten sind, liegt der Durchfluss in den Sommermonaten oft lange Zeit unter 0,01 m³/s (vgl. Abbildung 44). Von Mitte Juni bis Ende August 2020 war fast nie ein Abfluss messbar.

Abbildung 45 zeigt einen deutlichen Zusammenhang zwischen der TP-Konzentration an der OBF13800 (RC) und dem Durchfluss am Pegel Paltzschen. Die Einzelmesswerte der Jahre 2018 - 2020 wurden mit den am Pegel Paltzschen gemessenen Durchflüssen korreliert. Deutlich erkennbar sind die zahlreichen Konzentrationsmessungen bei Durchflüssen kleiner 10 l/s. Trotz dieser schwierigen Messbedingungen wird ein statistischer Zusammenhang mit $R^2=0,337$ erkennbar. Das spricht für kontinuierliche P-Einträge, welche je nach Durchfluss mehr oder weniger verdünnt werden. Keine der Konzentrationsspitzen der P-Konzentrationen konnte mit Niederschlagsereignissen in Zusammenhang gebracht werden. Für die Auswertung verwendet wurden die Stationen Hirschstein (ID: 7334) und Garsebach (ID: 3234) des DWD.

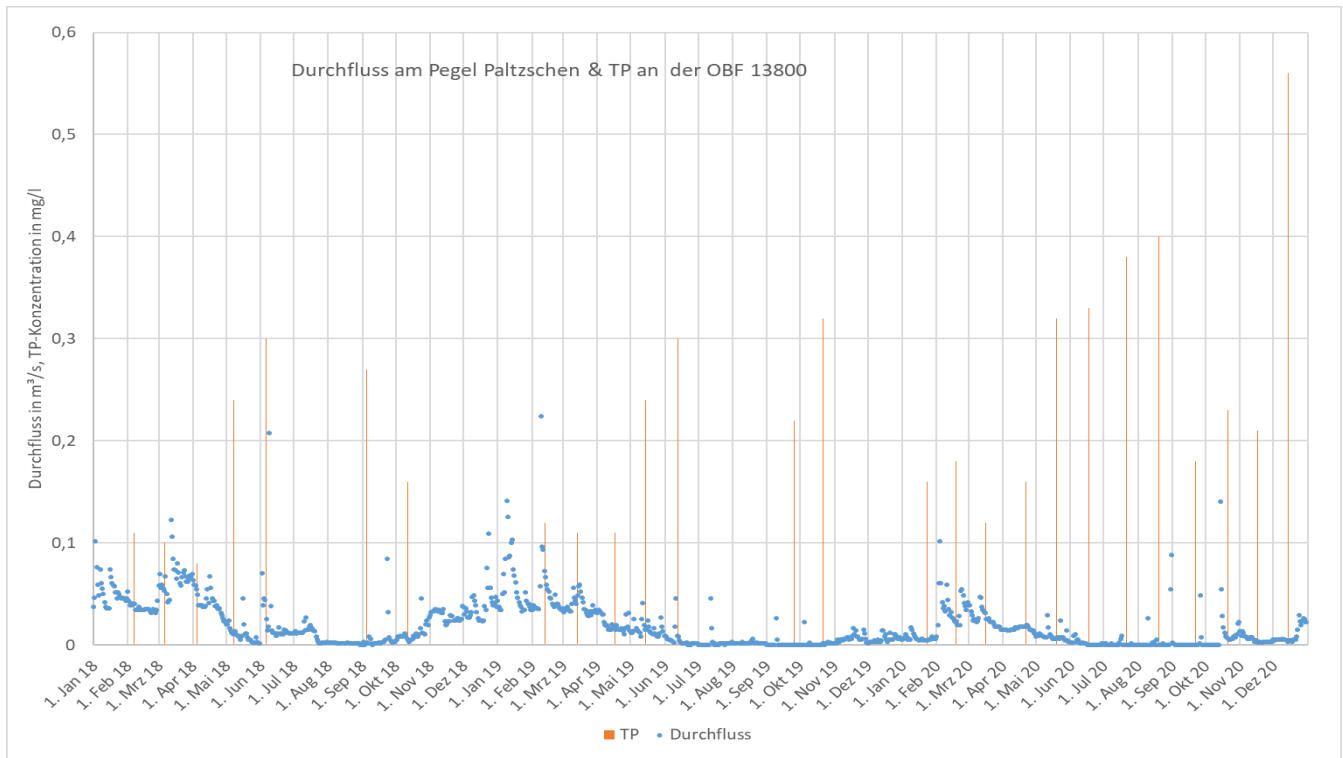


Abbildung 44: Durchfluss am Pegel Paltzschen und Gesamt-P-Konzentration an der OBF 13800 (2018-2020)

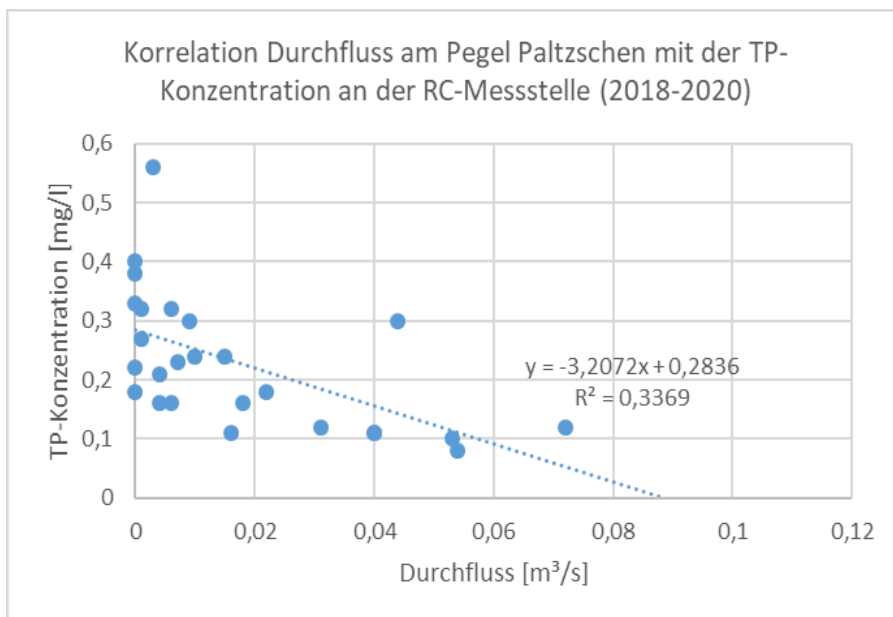


Abbildung 45: Korrelation der Durchflusswerte mit den Gesamt-P-Konzentrationen an der RC-Messstelle (2018-2020)

Bei den Auswertungen der Indikatorsubstanzen war der 31. Mai 2017 an der Messstelle OBF13703 auffällig. Entsprechend der registrierten Niederschläge lag die Tagessumme am 30.5.2017 an der Station Hirschstein-Heyda bei 21,8 mm. Die Abflussmenge verdoppelte sich dadurch am Pegel Paltzschen im Vergleich zum Vortag.

VI. Abwasseranlagen im urbanen Wassersystem

Der Oberlauf des Baches aus Wuhnitz ist, wie oben beschrieben, stark geprägt durch häusliches Abwasser. Die Ortslagen Neckanitz und Poitz sind vollständig an die Ortskläranlage Neckanitz angeschlossen, welche über eine P-Eliminierung verfügt (Ausbaugrad: 300 EW, Auslastung 88 EW, mechanisch-biologische Reinigung mit P-Elimination). Die Kläranlage wurde 1994 errichtet (Informationen aus FIS WrV).

Zwischen den Messstellen OBF13702 und OBF13703 befindet sich eine Stallanlage (Ortslage Pitschütz) und die Einleitstelle einer Kleinkläranlage (24 EW), welche auch Niederschlagswasser ableitet (Informationen aus FIS WrV).

Die OBF13705 in der Ortslage Wuhnitz liegt in direkter Nähe zur Einleitstelle einer Kleinkläranlage (20 EW, vollbiologisch). Somit ist es möglich, dass die Werte dieser Messstelle nur ein Bild des sehr lokalen Zustandes nicht aber des gesamten Oberlaufes sind. Das würde die deutlich niedrigeren Ammonium-Stickstoff und P-Konzentrationen an der Messstelle im Unterlauf im Bach aus Wuhnitz erklären.

Wie bereits mehrfach gezeigt ist insbesondere der Graben aus Altlommatzsch deutlich durch häusliches Abwasser geprägt. Die Ortslage ist nicht zentral erschlossen. Es gibt eine Vielzahl an Kleinkläranlagen mit Direkteinleitung in das Fließgewässer. Darüber hinaus gelangt das Abwasser von ca. 60 EW über Teilortskanalisierungen in den Graben aus Altlommatzsch. Zwischen der OBF13704 in Lommatzsch und OBF13800 in Paltzsch erfolgt entsprechend der Eintragungen im FIS WrV keine Einleitung häuslicher Abwässer in den Keppritzbach.

Handlungsanalyse

VII. Fazit und Ableitung von Maßnahmen

Der Keppritzbach-1 weist seit vielen Jahren hohe P-Konzentrationen auf. In den Sommermonaten verschärft sich die Situation im Keppritzbach-1 bezüglich ansteigender P-Konzentrationen immer wieder infolge stark sinkender Durchflüsse.

Bereits an der ersten Messstelle im Oberlauf des OWK Keppritzbach-1 werden seit vielen Jahren dauerhaft hohe P- und $\text{NH}_4\text{-N}$ -Konzentrationen nachgewiesen. In diesem Gebiet sind keine Kleinkläranlagen mehr vorhanden. Pflanzenschutzmittel waren in den Messjahren 2017 und 2018 sehr selten und wenn dann nur in sehr geringen Konzentrationen nachweisbar. Aus diesem Grund sollte die Ortskläranlage Neckanitz als Belastungsquelle in Betracht gezogen, deren Ablaufwerte überprüft und ggf. eine Optimierung der Reinigungseffizienz angestrebt werden (LAWA Maßnahme Nr. 5). Kann die Kläranlage als Ursache für die hohen P-Messwerte an der OBF13701 ausgeschlossen werden, dann muss nach anderen Einleitern kommunaler Abwässer oberhalb der Messstelle recherchiert werden.

Weiterhin wird aufgrund der oben dargestellten Ergebnisse empfohlen, den Bereich zwischen OBF13702 und OBF13703 aufgrund der nachgewiesenen hohen Konzentrationsanstiege vieler Indikatorsubstanzen für häusliches Abwasser genauer auf Einleitungen zu untersuchen. Bekannt ist in diesem Abschnitt die Stallanlage in Pitschütz, die jedoch nicht als Quelle der genannten Substanzen in Frage kommt. Entsprechend den Eintragungen im FIS WrV befindet sich direkt oberhalb der Messstelle die Einleitstelle einer Kleinkläranlage (Mehrfamilienhaus, 24 EW) mit Niederschlagswasserableitung. Anhand der vorliegenden Daten ist das die mögliche Quelle für die nachgewiesenen Indikatorsubstanzen und sollte daher überprüft werden.

Bei den Messungen 2018 fielen die OBF13704 (an der Mündung des Grabens aus Altlommatzsch) und die RC-Messstelle in Paltzschen (OBF13800) über mehrere Monate mit sehr hohen Konzentrationen vieler Indikatorsubstanzen für landwirtschaftliche Einträge auf. Diese Eintragungsspitzen treten zeitgleich mit ansteigenden P-Konzentrationen an den genannten Messstellen auf. In den besonders durch landwirtschaftliche Einträge betroffenen Bereichen (zwischen OBF13703 und OBF 13800) sollten alle Möglichkeiten für Maßnahmen zur Minderung der Einträge geprüft werden (LAWA Maßnahmen Nr. 27-32). Weiterhin sollte der Einfluss der ggf. eingeleiteten Abwässer der Fa. Frosta und der Gärtnerei in Lommatzsch (Kornstraße) untersucht werden.

Der Einfluss des Grabens aus Jessen kann nicht bewertet werden, da keine Messstellen vorhanden sind. Eine Beeinträchtigung der Gewässerqualität des Keppritzbaches durch die Direkteinleitungen aus Kleinkläranlagen in der Ortschaft Jessen kann jedoch nicht ausgeschlossen werden.

Der Bach aus Wuhnitz weist insbesondere im Oberlauf sehr hohe P-Einträge offensichtlich verstärkt aus häuslichem Abwasser auf. Die Direkteinleitungen aus Kleinkläranlagen oberhalb der Messstelle sollten überprüft werden.

Der Graben aus Altlommatzsch zeigt eine sehr hohe P-Belastung durch unzureichend geklärte häusliche Abwässer, was die Substanzen Ibuprofen, Metformin und Acesulfam an der Messstelle im Unterlauf verdeutlichen. Langfristig sollte nach alternativen Möglichkeiten der Entsorgung der häuslichen Abwässer gesucht werden.

Insgesamt macht die Auswertung anhand der ausgewählten Indikatorsubstanzen deutlich, dass der größte Teil der P-Einträge in den OWK Keppritzbach-1 offensichtlich aus häuslichem Abwasser stammt.

Herausgeber:

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und
Geologie (LfULG)
Pillnitzer Platz 3, 01326 Dresden
Telefon: + 49 351 2612-0; Telefax: + 49 351 2612-1099
E-Mail: Poststelle.LfULG@smekul.sachsen.de
www.lfulg.sachsen.de

Autor:

Claudia Lindner
Abteilung Wasser, Boden, Kreislaufwirtschaft /
Referat Oberflächenwasser, WRRL
Zur Wetterwarte 11, 01109 Dresden
Telefon: + 49 351 8929-4406; Telefax: + 49 351 89284099
E-Mail: claudia.lindner@smekul.sachsen.de

Sylvia Rohde

Abt. Wasser, Boden, Kreislaufwirtschaft / Ref. Oberflächen-
wasser, WRRL
Zur Wetterwarte 11, 01109 Dresden
Telefon: + 49 351 8928-4401; Telefax: + 49 351 8928-4099
E-Mail: sylvia.rohde@smekul.sachsen.de

Redaktion:

Claudia Lindner
Abt. Wasser, Boden, Kreislaufwirtschaft / Ref. Oberflächen-
wasser, WRRL
Zur Wetterwarte 11, 01109 Dresden
Telefon: + 49 351 8929-4406; Telefax: + 49 351 89284099
E-Mail: claudia.lindner@smekul.sachsen.de

Fotos:

Lindner, LfULG

Auflage:

1. Auflage

Redaktionsschluss:

01.05.2023

ISSN:

1867-2868

Hinweis:

Die Broschüre steht nicht als Printmedium zur Verfügung, kann
aber als PDF-Datei unter <https://publikationen.sachsen.de>
heruntergeladen werden.

Verteilerhinweis

Diese Informationsschrift wird von der Sächsischen Staatsregie-
rung im Rahmen ihrer verfassungsmäßigen Verpflichtung zur
Information der Öffentlichkeit herausgegeben. Sie darf weder
von Parteien noch von deren Kandidaten oder Helfern zum Zwe-
cke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für alle Wah-
len. Missbräuchlich ist insbesondere die Verteilung auf Wahlver-
anstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das
Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informa-
tionen oder Werbemittel. Untersagt ist auch die Weitergabe an
Dritte zur Verwendung bei der Wahlwerbung.

*Täglich für
ein gutes Leben.*

www.lfulg.sachsen.de