

Wirkung und Kosten von ausgewählten Maßnahmen zur Reduzierung von Phosphoreinträgen aus Kläranlagen

 Ergebnisse der landesweiten Studie SLoPE zum Handlungskonzept Abwasser



Wirkung und Kosten von ausgewählten Maßnahmen zur Reduzierung von Phosphoreinträgen aus Kläranlagen

 Ergebnisse der landesweiten Studie SLoPE zum Handlungskonzept Abwasser

HERAUSGEBER	LUBW Landesanstalt für Umwelt, Baden-Württemberg Postfach 10 01 63, 76231 Karlsruhe, www.lubw.de
BEARBEITUNG	LUBW Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg Referat 41 Fließgewässerökologie
BEZUG	kostenfrei zum Download unter pudi.lubw.de
STAND	Mai 2019
ZITIERVORSCHLAG	LUBW Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (Hrsg., 2019): Wirkung und Kosten von ausgewählten Maßnahmen zur Reduzierung von Phosphoreinträgen aus Kläranlagen, Karlsruhe

Nachdruck – auch auszugsweise – nur mit Zustimmung des Herausgebers unter Quellenangabe und Überlassung von Belegexemplaren gestattet.



1	EINLEITUNG	6
2	VORGEHENSWEISE	7
2.1	Modellprinzip	7
2.2	Datengrundlage	7
2.3	Ausbauvarianten	9
2.4	Ausbaukulissen	9
3	MODELLIERUNGSERGEBNISSE	10
3.1	Betroffene Kläranlagen und Frachtreduzierung für die Varianten P_{ges} und $O-PO_4-P$	10
3.2	Auswirkungen auf die ortho-Phosphat-Phosphorbelastung in den Gewässerstrecken	11
3.3	Auswirkungen auf die ortho-Phosphat-Phosphorbelastung in den Wasserkörpern	13
3.4	Interpretation der Ergebnisse	14
4	KOSTENSCHÄTZUNG	15
5	AUSBLICK	16
6	LITERATURVERZEICHNIS	16
	ANLAGE 1: KULISSE SLOPE 2	17
	ANLAGE 2: AUSWIRKUNGEN DER VARIANTEN P_{GES} UND $O-PO_4-P$ AUF DIE GEWÄSSER	18
	ANLAGE 3: AUSWIRKUNGEN DER VARIANTEN P_{GES} UND $O-PO_4-P$ AUF DIE WASSERKÖRPER	20
	ANLAGE 4: GRUNDLAGEN UND DETAILS ZUR KOSTENSCHÄTZUNG	22

1 Einleitung

Im Jahr 2009 wurden im Rahmen der Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie für die baden-württembergischen Bearbeitungsgebiete Bewirtschaftungspläne erstellt und im Jahr 2015 aktualisiert. Dabei wurde festgestellt, dass in weiten Landesteilen die Phosphoreinträge in die Fließgewässer reduziert werden müssen, um den guten ökologischen Zustand für die Qualitätskomponente Makrophyten und Phytobenthos gemäß Wasserrahmenrichtlinie zu erreichen. Phosphoreinträge stammen überwiegend aus der Abwasserbeseitigung (Punktquellen) und aus landwirtschaftlichen Quellen (diffuse Quellen). Fast zwei Drittel der Einträge aus der Abwasserbeseitigung stammen aus kommunalen Kläranlagen [LUBW, KIT 2015]. Als Maßnahme zur Eintragsreduzierung aus Kläranlagen wurden in defizitären Wasserkörpern in einem ersten Schritt schärfere Anforderungen hinsichtlich des Phosphoreintrags für Kläranlagen festgelegt (1. Stufe Handlungskonzept Abwasser). Parallel dazu wurde die LUBW Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg mit der Erstellung der landesweiten Studie SLoPE (Studie zur verbesserten Lokalisierung von PhosphorEmissionen) beauftragt, die ein stufenweises

Vorgehen vorsieht. Im ersten Schritt der Studie wurde im Oktober 2014 die „Standardkarten für die Maßnahmenableitung zur Phosphor-Reduzierung“ vorgelegt [LUBW 2014]. Als Weiterentwicklung wurde in Phase 2 der Studie im Jahr 2016 basierend auf einer Modellierung eine Risikobewertung der Gewässer bei mittlerem Abfluss infolge der Belastungen aus Kläranlagen durchgeführt. Es wurden verschiedene Ausbauvarianten und Maßnahmenkulissen betrachtet und diskutiert. Das vorliegende Dokument beschreibt als Ergebnis des Abstimmungsprozesses die Varianten, die geeignet sind, den Defiziten angemessen zu begegnen und zur Umsetzung anstehen.

Die Durchführung der Arbeiten erfolgte durch die LUBW und wurde von Seiten der Regierungspräsidien und dem Umweltministerium begleitet.

Diese Arbeit soll als internes Planungsinstrument der Wasserbehörden für die Maßnahmenplanung an Kläranlagen dienen.

2 Vorgehensweise

Die Modellierung der Phosphoreinträge in Baden-Württemberg erfolgt bislang mit MONERIS-BW (**MO**delling **N**utrient **E**missions in **R**iver **S**ystems). MONERIS-BW bilanziert die Einträge aus punktuellen und diffusen Belastungsquellen **auf Wasserkörperenebene**. Zu den Punktquellen zählen Kläranlagen, urbane Flächen (Mischwasserentlastungen und Einleitungen über Regenwasserkanäle), industrielle Direkteinleiter und die dezentrale Abwasserentsorgung. Zu den diffusen Quellen zählen Einträge über die Pfade Grundwasser, Interflow, Drainagen, Abschwemmung, Erosion und atmosphärische Deposition auf Wasserflächen. Ein räumlich höher aufgelöstes Modell, mit dem Belastungen und Konzentration für Gewässerstrecken innerhalb eines Wasserkörpers berechnet werden können, ist in Arbeit (SLoPE Phase 3) und soll für die Maßnahmenplanung zur nächsten Aktualisierung der Bewirtschaftungspläne zur Verfügung stehen. Die Hauptschwierigkeit besteht dabei in der detaillierteren Modellierung der diffusen Einträge und der Einträge aus Regenwasseranlagen. Für die Einträge aus Kläranlagen besteht hingegen eine vergleichsweise gute Datenbasis, weshalb die LUBW gebeten wurde, dafür in Phase 2 von SLoPE detaillierte Modellierungen mit Variantenberechnungen durchzuführen, um daraus möglichst schon vor der nächsten Aktualisierung der Bewirtschaftungspläne weitere Maßnahmen ableiten zu können.

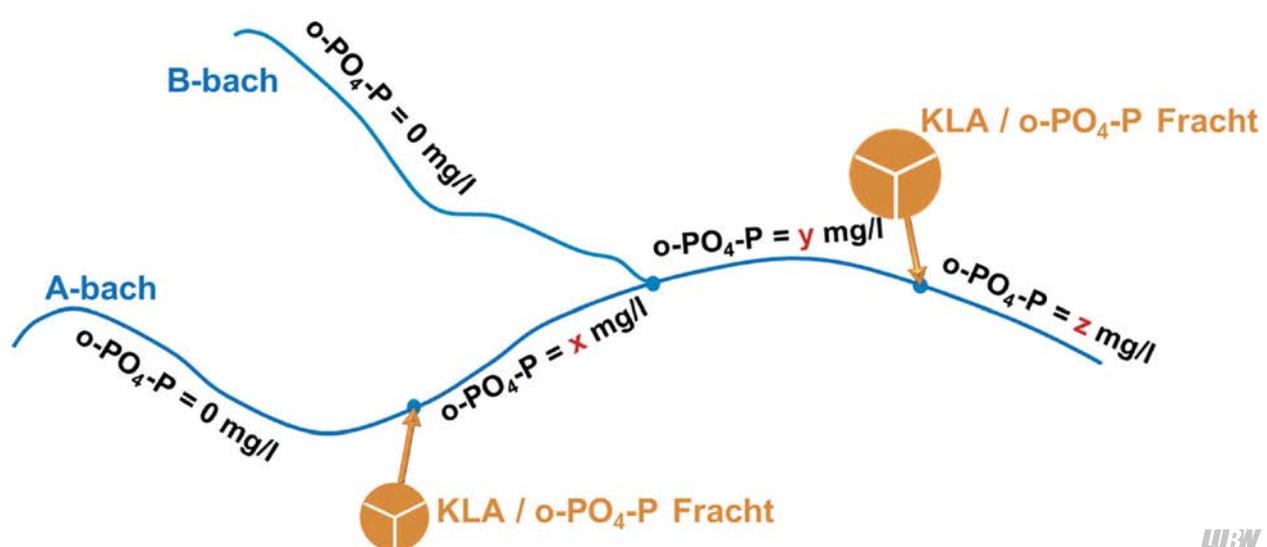
2.1 Modellprinzip

Das Modell berücksichtigt ausschließlich Phosphoreinträge aus kommunalen Kläranlagen! Es berechnet die theoretische Konzentration im Gewässer für Gesamtphosphor (P_{ges}) und für den pflanzenverfügbaren Anteil ortho-Phosphat-Phosphor ($o\text{-PO}_4\text{-P}$). Das Berechnungsprinzip ist einfach und am Beispiel $o\text{-PO}_4\text{-P}$ in Abbildung 2.1 dargestellt. Von der Quelle eines Baches bis zur ersten Kläranlageneinleitung wird die Konzentration auf den Wert 0 gesetzt. Für den auf die Kläranlageneinleitung folgenden Gewässerabschnitt wird aus der eingetragenen $o\text{-PO}_4\text{-P}$ -Fracht und dem mittleren Jahresabfluss, der auch den Abfluss aus der Kläranlage beinhaltet, eine mittlere Konzentration errechnet (Mischrechnung). Diese Konzentration bleibt bis zur nächsten Kläranlageneinleitung oder dem nächsten Seitengewässer konstant. Dort erfolgt eine neue Mischrechnung für den nachfolgenden Gewässerabschnitt.

2.2 Datengrundlage

In das Modell gehen folgende Daten der derzeitigen Situation ein:

- die Jahresmittelwerte der Ablaufkonzentrationen aus 2011–2015 für Gesamtphosphor und ortho-Phosphat-Phosphor aus allen, Ende des Jahre 2015 in Betrieb befindlichen Kläranlagen,



LUBW

Abbildung 2.1: Modellprinzip am Beispiel ortho-Phosphat-Phosphor (Vorgehensweise Gesamtphosphor analog)

- die Jahresabwassermengen (2011–2015) aus allen, Ende des Jahre 2015 in Betrieb befindlichen Kläranlagen und
- die mittleren Jahresabflüsse (MQ 1981–2010) an den Gewässerknöten aus dem Modell ABFLUSS-BW [LUBW 2015]. Gewässerknöten befinden sich an der Stelle einer Kläranlageneinleitung und an Gewässermündungen.

Die mittleren Ablaufkonzentrationen für Gesamtphosphor und die Jahresabwassermengen werden aus nach der Eigenkontrollverordnung vorgeschriebenen Messungen des Betreibers ermittelt und entstammen dem WIBAS-Modul „Anlagenbezogener Gewässerschutz“ (AGS). Um jährliche Schwankungen zu berücksichtigen, wurden sowohl für die Jahresabwassermengen als auch für die Ablaufkonzentrationen in der Regel die Mittelwerte aus den Jahren 2011 bis 2015 herangezogen. Wenn in diesem Zeitraum ein Ausbau oder der Anschluss einer stillgelegten Kläranlage stattfand, wurden nur die Werte ab dem Folgejahr berücksichtigt.

Für die Ablaufkonzentrationen von ortho-Phosphat-Phosphor gibt es für den Betrachtungszeitraum (2011–2015) in der Regel keinen Überwachungswert und daher auch keine Werte im AGS. In früheren Untersuchungen wurde

die Konzentration mit einem konstanten Faktor aus den Gesamtphosphorkonzentrationen berechnet, der in Phase 1 von SLoPE insgesamt 0,77 betrug. Dieser Ansatz ist aber ein bedeutender Schwachpunkt bei der Ermittlung verlässlicher ortho-Phosphat-Phosphor-Konzentrationen im Gewässer. Daher wurden die Kläranlagenbetreiber in den vergangenen Jahren auf freiwilliger Basis um die Erfassung der Ablaufkonzentrationen gebeten. Etwa 160 Betreiber folgten diesem Aufruf, sodass für diese Kläranlagen die gemessenen Konzentrationen angesetzt werden konnten. Eine statistische Analyse der Daten ergab, dass für die restlichen Kläranlagen mit einem von der Ablaufkonzentration von P_{ges} abhängigen Verhältnis $o-PO_4-P/P_{ges}$ eine bessere Anpassung an die gemessenen Werte möglich ist, als mit dem konstanten Faktor von 0,77. Tabelle 2.1 zeigt die im Modell verwendeten Faktoren und die Anzahl der verwendeten Datensätze aus denen sie abgeleitet wurden.

Die statistische Analyse der verwendeten Datengrundlage zeigte, dass die Streuung der Einzelwerte bzgl. des Medianwerts relativ groß ist. Weitere Messungen an möglichst vielen Kläranlagen würden für künftige Modellierungen wesentlich zur Verbesserung der Modellergebnisse beitragen.

Tabelle 2.1: Im Modell verwendetes Verhältnis $o-PO_4-P/P_{ges}$ zur Ermittlung der Ablaufkonzentrationen von ortho-Phosphat-Phosphor

Gruppe	Kriterium	Anzahl der Datensätze mit $o-PO_4-P$ -Ablaufkonzentrationen	Verhältnis $o-PO_4-P/P_{ges}$
1	Ablaufkonzentration $P_{ges} \leq 0,3$ mg/l	43	0,63
2	$0,3$ mg/l < Ablaufkonzentration $P_{ges} \leq 0,5$ mg/l	77	0,71
3	$0,5$ mg/l < Ablaufkonzentration $P_{ges} \leq 1$ mg/l	58	0,77
4	Ablaufkonzentration $P_{ges} > 1$ mg/l	18	0,88



2.3 Ausbauvarianten

Um Schlussfolgerungen für einen notwendigen künftigen Ausbau von Kläranlagen ziehen zu können, sollten von der LUBW die Auswirkungen mehrerer möglicher Ausbauvarianten auf die Gewässerfrachten und Konzentrationen modelliert und dargestellt werden. In Tabelle 2.2 sind die drei maßgeblichen Varianten dargestellt. Bei der Variante 1 handelt es sich hierbei um die Anforderungen nach der 1. Stufe Handlungskonzept Abwasser. Die Varianten P_{ges} (Filtervariante) und $o\text{-PO}_4\text{-P}$ (Fällungsvariante) beinhalten deutlich weitergehende Anforderungen an die P-Elimination der Kläranlagen.

Bei den Anforderungen der Größenklassen 3 bis 5 der Variante $o\text{-PO}_4\text{-P}$ wird davon ausgegangen, dass diese bei einer sehr gut funktionierenden Fällung und Feststoffabtrennung auch ohne eine Filtration erreicht werden können. Für die Anforderungen der Größenklassen 3 bis 5 der Variante P_{ges} wird von der Notwendigkeit einer Filtration (Tuchfilter) ausgegangen.

Bei der Berechnung der einzelnen Varianten wurden die Ablaufwerte jeder einzelnen Kläranlage auf den in Tabelle 2.2 enthaltenen größenklassenabhängigen Wert gesetzt und somit eine entsprechende Maßnahme (betriebliche

Optimierung oder Ausbau) simuliert. Sofern eine Kläranlage diesen Wert bereits im Istzustand unterschreitet, wurde der Wert des Istzustands beibehalten.

2.4 Ausbukulissen

Die zur Umsetzung anstehenden Varianten sollen nicht landesweit durchgeführt werden, sondern sich auf Wasserkörper beschränken, die nach Umsetzung der 1. Stufe des Handlungskonzeptes Abwasser (Variante P_{ges}) eine hohe Belastung (Belastungsquotient > 0,5) durch Kläranlagenemissionen aufweisen.

Die Kulisse „SLoPE 2“ umfasst dabei mit rd. 52 % der Landesfläche alle Wasserkörper, bei denen 50 % des Orientierungswertes für ortho-Phosphat-Phosphor nach Oberflächengewässerverordnung [OGewV 2016] rechnerisch überschritten wird.

In Anlage 1 ist die Kulisse SLoPE 2 in Kartenform dargestellt. Eine tabellarische Auflistung aller Kläranlagen, die innerhalb der Kulisse liegen, kann im UIS-Landesintranet/Abwasser heruntergeladen werden. Dort ist ebenfalls eine Shape-Datei der Kulisse SLoPE 2 enthalten.

Tabelle 2.2: Übersicht über die relevanten Ausbauvarianten mit den Vorgaben für die Ablaufkonzentrationen für P_{ges} und $o\text{-PO}_4\text{-P}$

Kläranlagen		Einzuhaltende Ablaufkonzentration für P_{ges} und $o\text{-PO}_4\text{-P}$ -Konzentrationen* in mg/l					
GK	Einwohnerwerte	Variante 1		Variante P_{ges}		Variante $o\text{-PO}_4\text{-P}$	
		P_{ges}	$o\text{-PO}_4\text{-P}$	P_{ges}	$o\text{-PO}_4\text{-P}$	P_{ges}	$o\text{-PO}_4\text{-P}$
1	≤ 1000						
2	>1000 - ≤ 5.000			0,5	(0,36)	0,5	(0,36)
3	>5.000 - ≤ 10.000	0,8	(0,62)	0,2	(0,13)	0,3	0,16
4	>10.000 - ≤ 100.000	0,5	(0,36)	0,2	(0,13)	0,3	0,16
5	> 100.000	0,5	(0,36)	0,2	(0,13)	0,3	0,16

* In Klammer gesetzte $o\text{-PO}_4\text{-P}$ -Konzentrationen sind keine einzuhaltenden Ablaufkonzentrationen. $o\text{-PO}_4\text{-P}$ -Werte ergeben sich rechnerisch aus Tabelle 2.1



3 Modellierungsergebnisse

In den nachfolgenden Abschnitten sind die Berechnungsergebnisse hinsichtlich Frachtreduzierung (Abschnitt 3.1) und den Auswirkungen auf die Gewässer (Abschnitt 3.2) und die Wasserkörper (Abschnitt 3.3) dargestellt. Bei den Auswirkungen auf die Gewässer bzw. die Wasserkörper wurden die Auswertungen auf ortho-Phosphat-Phosphor beschränkt, weil dieser pflanzenverfügbare Phosphoranteil

für die baden-württembergischen Fließgewässertypen als relevantere Größe anzusehen ist und Auswertungen zum Gesamtphosphor keine grundlegend anderen Ergebnisse erwarten lassen. Um die Ergebnisse grafisch anschaulich darstellen zu können, wurde ein Belastungsquotient BQ definiert.

$$\text{Belastungsquotient BQ} = \frac{\text{modellierte o-PO}_4\text{-P-Konzentration im Gewässerabschnitt}}{\text{o-PO}_4\text{-P-Orientierungswert}}$$

Die Orientierungswerte sind aus Anlage 7 der Oberflächengewässerverordnung entnommen. Im größten Teil des Landes liegt er, abhängig vom vorliegenden Fließgewässertyp, bei 0,07 mg/l o-PO₄-P. Nur im Alpenvorland liegt er bei 0,05 mg/l o-PO₄-P. Vereinfacht wird dabei für alle Gewässer eines Wasserkörpers der am Wasserkörperausgang vorliegende Fließgewässertyp angesetzt.

Ein Belastungsquotient von 1 oder höher (rot dargestellt in Abbildung 3.2 sowie Anlagen 2 und 3) bedeutet, dass der Orientierungswert für ortho-Phosphat-Phosphor in einem Gewässerabschnitt (bzw. Wasserkörper) allein durch die eingeleiteten Frachten aus den oberhalb liegenden Kläranlagen überschritten wird.

3.1 Betroffene Kläranlagen und Frachtreduzierung für die Varianten P_{ges} und O-PO₄-P

Tabelle 3.2 enthält folgende Berechnungsergebnisse:

- Die Anzahl der Kläranlagen – differenziert nach Größenklassen (GK), die die in den dargestellten Varianten definierten Anforderungen nach Umsetzung der Variante 1 nicht einhalten und bei denen daher eine betriebliche Optimierung oder ein Ausbau notwendig ist. Es wurde unterschieden zwischen der Gesamtzahl der Anlagen, bei denen Maßnahmen (Ausbau oder betriebliche Optimierung) erforderlich sind und Anzahl der Anlagen, bei denen ein Ausbau erforderlich ist. Die Anzahl der Anlagen, bei denen eine betriebliche Optimierung ausreicht, ergibt sich aus der Differenz. Die Unterscheidung, ob an einer Kläranlage zur Erfüllung der in einer Variante definierten Anforderungen

eine betriebliche Optimierung ausreicht oder ob ein Ausbau erforderlich ist, wurde wie folgt getroffen:

- Die Erreichung der Zielgröße für P_{ges} von 0,8 mg/l ist durch Betriebsoptimierungen möglich, wenn 0,8 mg/l im Jahresmittel in 2011–2015 mindestens einmal eingehalten wurde oder eine chemische Phosphorelimination auf der Anlage vorhanden ist. Ansonsten ist ein Ausbau erforderlich.
- Die Erreichung der Zielgröße für P_{ges} von 0,5 mg/l ist durch Betriebsoptimierungen möglich, wenn 0,5 mg/l im Jahresmittel in 2011–2015 mindestens einmal eingehalten wurde oder eine chemische Phosphorelimination auf der Anlage vorhanden ist. Ansonsten ist ein Ausbau erforderlich.
- Die Erreichung der Zielgröße für P_{ges} von 0,3 mg/l ist durch Betriebsoptimierungen möglich, wenn 0,3 mg/l im Jahresmittel in 2011–2015 mindestens einmal eingehalten wurde oder eine Filtration auf der Anlage vorhanden ist. Ansonsten ist ein Ausbau erforderlich.
- Die Erreichung der Zielgröße für P_{ges} von 0,2 mg/l ist durch Betriebsoptimierungen möglich, wenn 0,2 mg/l im Jahresmittel in 2011–2015 mindestens einmal eingehalten wurde oder eine Filtration auf der Anlage vorhanden ist. Ansonsten ist ein Ausbau erforderlich.
- Die im Vergleich nach Umsetzung der Variante 1 erreichte Frachtreduzierung für Gesamtphosphor und ortho-Phosphat-Phosphor für die beiden Varianten. Auch hier wurde nach Größenklassen differenziert. Außerdem wurde unterschieden, ob die Reduzierung durch Ausbau oder durch betriebliche Optimierung erreicht wird. Die Spalte „Gesamt“ enthält dabei alle Kläranlagen, an denen eine Maßnahme, also ein Ausbau **oder** eine betriebliche Optimierung erforderlich

ist, die Spalte „Ausbau“ die Kläranlagen, an denen ein Ausbau erforderlich ist (weil eine betriebliche Optimierung nicht ausreicht). Für die Varianten P_{ges} und $o\text{-}PO_4\text{-}P$ wurde die in Abschnitt 2.4 definierten Kulisse („SLoPE 2“) betrachtet.

Für alle Varianten wurde eine Kostenschätzung durchgeführt. Die Ergebnisse liegen in Kapitel 4 vor.

3.2 Auswirkungen auf die ortho-Phosphat-Phosphorbelastung in den Gewässerstrecken

Abbildung 3.1 stellt beispielhaft die Belastungsquotienten der Gewässer nach Umsetzung der Variante 1 dar. Die Ergebnisse für Varianten P_{ges} und $o\text{-}PO_4\text{-}P$ als Einzelkarten finden sich in Anlage 2. Die Variante P_{ges} stellt dabei die höchsten Anforderungen an die P-Elimination. Die Ge-

samtphosphorkonzentrationen im Ablauf der Kläranlagen der Größenklasse 2 müssen 0,5 mg/l einhalten, bei den Größenklasse 3 bis 5 0,2 mg/l. Dazu müssten von den 924 in Betrieb befindlichen Kläranlagen (Datenstand Dezember 2015) 409 oder rund 44 % ausgebaut und 68 bzw. 7 % betrieblich optimiert werden. Die Gesamtfracht an ortho-Phosphat-Phosphor würde dabei von 551 Tonnen pro Jahr um 237 Tonnen (43 %) auf 314 Tonnen pro Jahr reduziert werden (Tabelle 3.1).

Entsprechend deutlich reduziert sich auch der Belastungsquotient der Gewässerstrecken. Trotzdem verbleiben auch bei den Varianten P_{ges} und $o\text{-}PO_4\text{-}P$ vereinzelt hochbelastete Gewässerstrecken mit Belastungsquotienten von größer als 1 (rote Strecken, z. B. Körsch und Glems) und stark belastete Strecken, in denen die Belastungen aus den Kläranlagen ortho-Phosphat-Phosphorkonzentrationen von

Tabelle 3.1: Anzahl betroffener Kläranlagen mit der Erforderlichkeit betrieblicher Optimierungsmaßnahmen oder eines Ausbaus und mögliche Frachtreduzierung für die Varianten

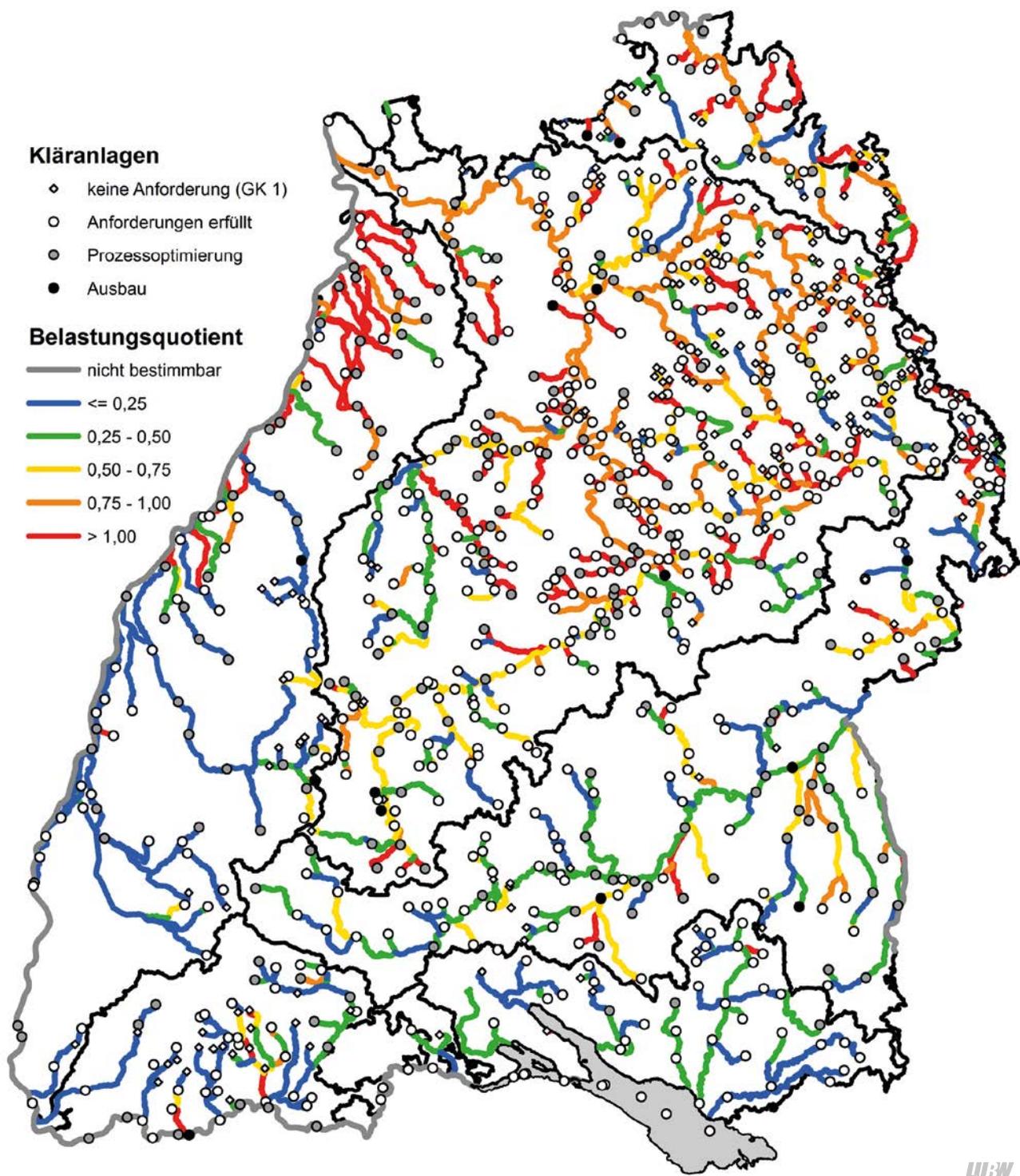
Anzahl der Kläranlagen, bei denen zur Einhaltung der Ablaufkonzentrationsvorgaben für die Varianten Maßnahmen erforderlich sind Gesamt: Anlagen, bei denen betriebliche Optimierungsmaßnahmen oder ein Ausbau erforderlich ist Ausbau: Anlagen, bei denen ein Ausbau erforderlich ist								
Kulisse		Variante 1		Variante $o\text{-}PO_4\text{-}P$		Variante P_{ges}		Gesamtzahl Kläranlagen in BW (zum Vergleich)
		BW		SLoPE 2		SLoPE 2		
		Gesamt	Ausbau	Gesamt	Ausbau	Gesamt	Ausbau	
Anzahl der Kläranlagen	GK-1	0	0	0	0	0	0	208
	GK-2	0	0	146	108	146	108	229
	GK-3	32	15	94	85	98	94	148
	GK-4	89	1	190	157	205	185	303
	GK-5	3	0	25	17	28	22	36
	Summe	124	16	455	367	477	409	924

Höhe der Frachtreduzierung für Gesamtphosphor Ausgangsfracht nach Umsetzung der Variante 1: 729 t/a

reduzierte Fracht Gesamtphosphor [t/a]								
reduzierte Fracht Gesamtphosphor [t/a]	GK-1			0	0	0	0	
	GK-2			70	61	70	61	
	GK-3			27	26	34	34	
	GK-4			76	71	125	121	
	GK-5			44	38	80	67	
	Summe			217	197	309	283	

Höhe der Frachtreduzierung für ortho-Phosphat-Phosphor Ausgangsfracht nach Umsetzung der Variante 1: 551 t/a

reduzierte Fracht $o\text{-}PO_4\text{-}P$ [t/a]								
reduzierte Fracht $o\text{-}PO_4\text{-}P$ [t/a]	GK-1			0	0	0	0	
	GK-2			19	14	61	54	
	GK-3			11	10	27	27	
	GK-4			76	63	92	89	
	GK-5			56	36	56	47	
	Summe			162	123	237	217	



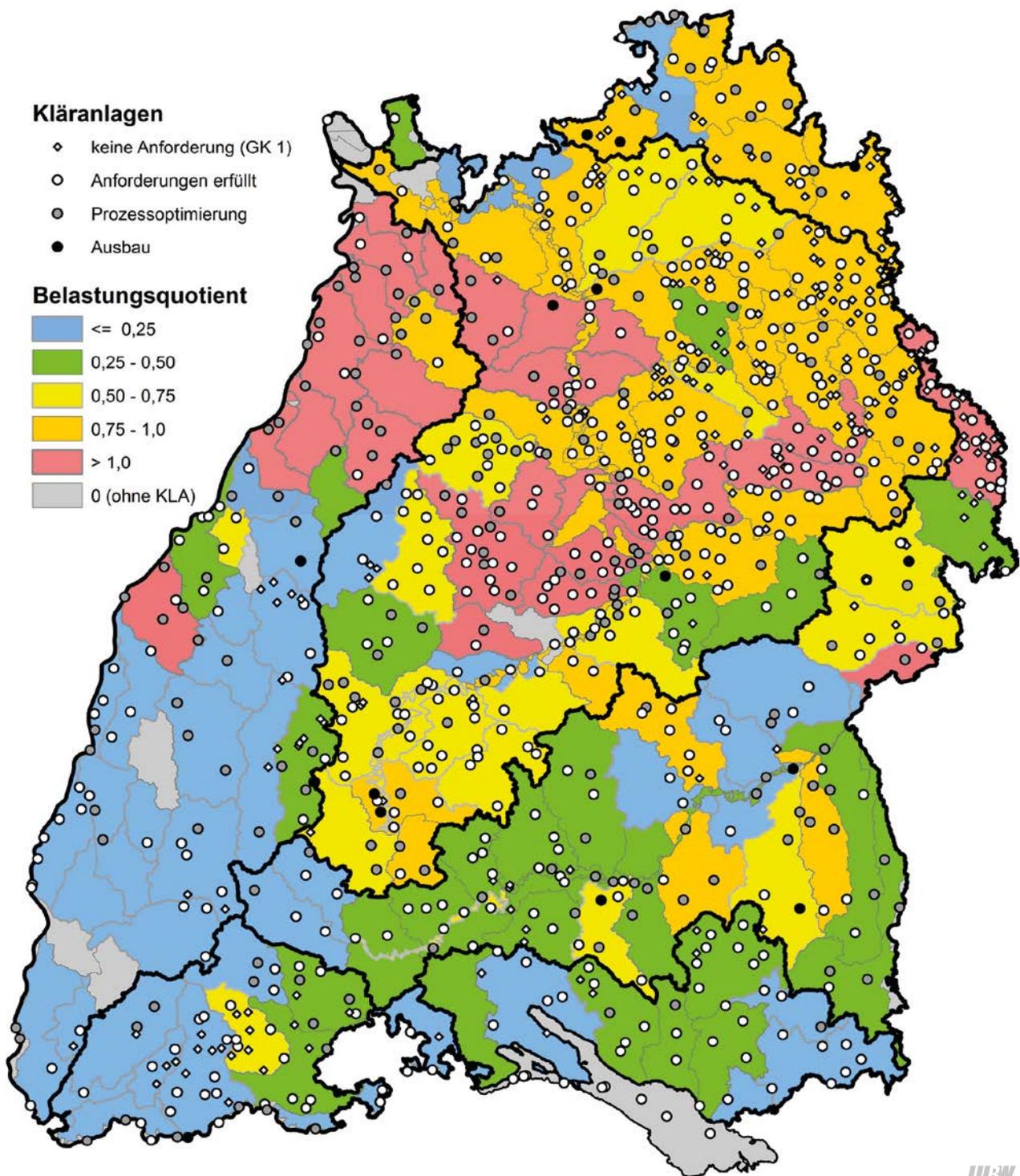
LUBW

Abbildung 3.1: Belastungsquotient der Gewässer für ortho-Phosphat-Phosphor nach Umsetzung der Variante 1

mehr als 50 % (gelb) bzw. 75 % (orange) des Orientierungswertes hervorruft. Insgesamt werden aus den Karten die Belastungsschwerpunkte (Neckareinzugsgebiet und nördliche Oberrheinebene) erkennbar.

aufgrund fehlender Kläranlagenfrachten kein Belastungsquotient ermittelt werden. Oberläufe ohne Kläranlagen-einfluss sind in Abbildung 3.2 und in den Abbildungen in Anlage 2 nicht dargestellt.

In den Fällen, in denen große Anteile des Einzugsgebietes außerhalb des Landes liegen (Rhein, Main, Iller), konnte



U:W

Abbildung 3.2: Belastungsquotient der Wasserkörper für ortho-Phosphat-Phosphor für die Varianten 1

Hinweis: Obwohl bei der Darstellung in Abbildung 3.1 die gleichen Farben wie bei der Wasserkörperbewertung verwendet werden, sind sie nicht mit einer Wasserkörperbewertung gleichzusetzen. Grüne oder blaue Wasserkörper bedeuten nicht, dass der gute Zustand erreicht wird! Dargestellt ist der rechnerische Belastungsquotient für ortho-Phosphat-Phosphor, der aus Kläranlageneinleitungen resultiert.

3.3 Auswirkungen auf die ortho-Phosphat-Phosphorbelastung in den Wasserkörpern

Neben den Auswirkungen auf die Gewässer wurden auch die Auswirkungen auf die Wasserkörper ermittelt. Abbildung 3.2 zeigt beispielhaft die Ergebnisse nach der Umsetzung der Variante 1. Die Ergebnisse der Variantenberechnungen finden sich jeweils als Einzelkarte in Anlage 3. Es handelt sich dabei im Prinzip um eine vereinfachte

Auswertung der Berechnungen aus Abschnitt 3.2, indem der Belastungsquotient nicht für jeden Gewässerabschnitt, sondern nur für den Gewässerabschnitt am Ausgang jedes Wasserkörpers ermittelt und auf den Wasserkörper übertragen wird. Für Wasserkörper, aus denen mehrere Gewässer herausfließen, wird der Belastungsquotient abflussgewichtet gemittelt. Entsprechend ergibt sich ein sehr ähnliches Belastungsbild wie in Abbildung 3.1.

3.4 Interpretation der Ergebnisse

Ein Belastungsquotient (Definition siehe Abschnitt 3.1) von 1 oder höher (rot dargestellt in Abbildung 3.2 sowie Anlagen 2 und 3) bedeutet, dass der Orientierungswert für ortho-Phosphat-Phosphor in einem Gewässerabschnitt (bzw. Wasserkörper) allein durch die eingeleiteten Frachten aus den oberhalb liegenden Kläranlagen überschritten wird. Da die jeweiligen Orientierungswerte die Anforderungen für den guten ökologischen Zustand darstellen, ist in diesen Fällen davon auszugehen, dass schon allein die Belastungen aus den Kläranlagen das Erreichen des guten ökologischen Zustands verhindern und Minderungsmaßnahmen an Kläranlagen daher unumgänglich sind. In welchem Umfang diese Minderungsmaßnahmen durchgeführt werden müssen, also welcher Belastungsquotient für die Belastungen aus Kläranlagen tolerabel ist, ist mit dem derzeitigen Wissensstand allerdings kaum zu beantworten.

Ziel ist es, den Belastungsquotienten für alle ortho-Phosphat-Phosphoreinträge auf Werte kleiner als 1 zu senken. Kläranlagen stellen mit landesweit durchschnittlich knapp 36 % zwar einen maßgeblichen Anteil am Gesamteintrag dar [LUBW, KIT 2015].

Unter der hypothetischen Annahme, dass alle Eintragspfade entsprechend ihrem derzeitigen Belastungsanteil zur erforderlichen Eintragsminderung zum Erreichen eines Belastungsquotienten von kleiner 1 beitragen müssen, müsste der Belastungsquotient für Kläranlagen auf 0,36 reduziert werden. Dazu wäre also zumindest weitgehende Reduzierung entsprechend der Anforderungen nach den Varianten P_{ges} oder $o\text{-PO}_4\text{-P}$ erforderlich, da nur hier die Belastungsquotienten nicht mehr verbreitet die Klasse „0,25 bis 0,5“ überschreiten. Diese Betrachtung zeigt, dass sehr weitgehende Anstrengungen zur Minderung der Einträge aus Kläranlagen erforderlich sind.

4 Kostenschätzung

Tabelle 4.1 enthält die Ergebnisse der Kostenschätzungen für alle in Kapitel 3 betrachteten Varianten der Kulisse SLoPE 2. Die zugrundeliegenden Annahmen sind in Anlage 4 ausführlich dargestellt. Es ist darauf hinzuweisen, dass nur Investitionskosten für den Ausbau der Kläranlagen betrachtet wurden, die die entsprechenden Anforderungen nicht durch betriebliche Optimierungsmaßnahmen einhalten können. Eine eventuelle Erhöhung der laufenden Kosten z. B. durch erhöhten Betriebsmittelbedarf blieb unberücksichtigt.

Die in Tabelle 4.1 dargestellten Kostenschätzungen für das Erreichen eines Ablaufwertes von 0,2 mg P_{ges}/l gehen von der Annahme aus, dass für die Zielerreichung ein Tuchfilter ausreicht. Anlage 4 enthält die Grundlagen für die Kostenschätzungen für die Varianten P_{ges} und o-PO₄-P. Die Kostensteigerungen für die Zieljahre 2018 und 2024 sind durch die Preisindizes des Statistischen Landesamtes entsprechend abgeschätzt worden.

Tabelle 4.1: Abschätzung der Investitionskosten für den Kläranlagenausbau bei den einzelnen Varianten

			Anzahl auszubauender Kläranlagen [-] und für den Ausbau erforderliche Investitionskosten [Mio. €] nach Größenklassen									
			GK 2		GK 3		GK 4		GK 5		Summe	
	Anforderungen	Kulisse	Anzahl	Kosten	Anzahl	Kosten	Anzahl	Kosten	Anzahl	Kosten	Anzahl	Kosten
Variante 1	GK 3 = 0,8 mg P _{ges} /l GK 4 = 0,5 mg P _{ges} /l GK 5 = 0,5 mg P _{ges} /l	landesweit	–	–	15	1,0	1	0,2	0	0	16	1,2
Variante P _{ges}	GK 2 = 0,5 mg P _{ges} /l GK 3 = 0,2 mg P _{ges} /l GK 4 = 0,2 mg P _{ges} /l GK 5 = 0,2 mg P _{ges} /l	SLoPE 2	108	12	94	25	185	129	22	56	409	222
Variante o-PO ₄ -P	GK 2 = 0,5 mg P _{ges} /l GK 3 = 0,3 mg P _{ges} /l / 0,16 mg o-PO ₄ -P/l GK 4 = 0,3 mg P _{ges} /l / 0,16 mg o-PO ₄ -P/l GK 5 = 0,3 mg P _{ges} /l / 0,16 mg o-PO ₄ -P/l	SLoPE 2	108	12	85	19	157	54	17	15	367	100

LUBW

5 Ausblick

Im Dezember 2021 sind die aktualisierten Bewirtschaftungspläne zu veröffentlichen. Im Rahmen der Bestandsaufnahme 2019 sind u. a. die Belastungen zu überprüfen. Hierfür soll bis Mitte 2019 im Rahmen der landesweiten Studie die Stoffeintragsmodellierung für Phosphor so weiterentwickelt werden, dass damit die vorliegenden Arbeiten von den Kläranlageneinträgen auf alle relevanten Phosphoreinträge bzw. Eintragspfade, insbesondere aus Regenwasserbehandlungsanlagen und diffusen Quellen, erweitert und somit ermittelt werden können.

Dafür wird MONERIS BW wesentlich weiterentwickelt, um die bisher durch dieses Modell lediglich auf die Wasserkörper beschränkten Aussagen jeweils auf die Gewässer ausweiten zu können. Neben deutlichen Verbesserungen bei den Eingangsdaten werden die Modellansätze vor dem Hintergrund der aktuellen Datenlage und des aktuellen Wissensstandes überprüft und gegebenenfalls optimiert.

Durch diese Funktionalität kann in Zukunft z. B. an jeder Gütemessstelle eine Gegenüberstellung von berechneten Gewässerfrachten (aus Pegeldaten und Gütemessungen)

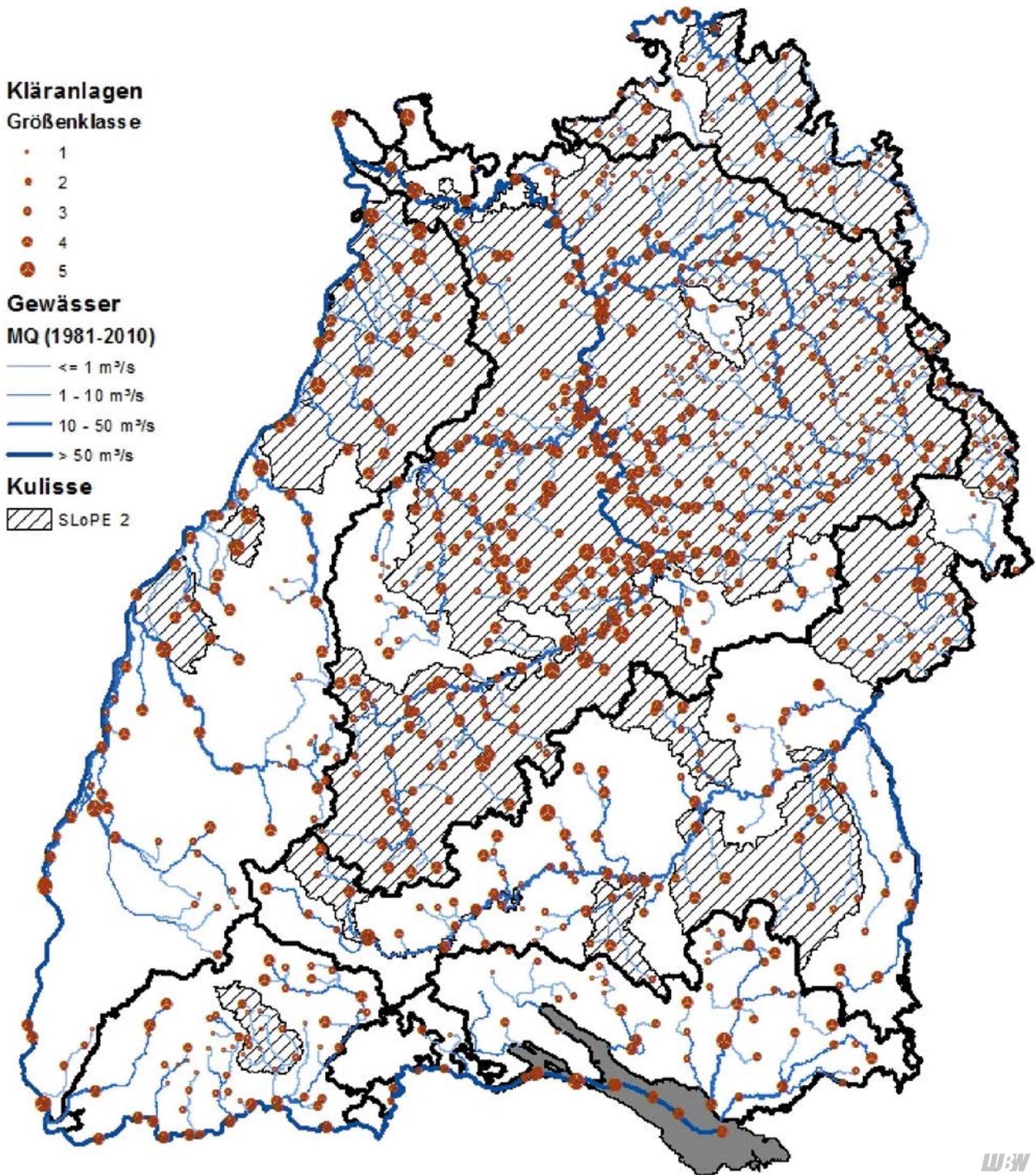
und modellierten Gewässerfrachten erfolgen – und damit eine Plausibilisierung des Modells. Außerdem kann an jeder Stelle im Gewässer abgeschätzt werden, welche Quellen im Einzugsgebiet welchen Anteil an der Phosphorfracht oder an der Phosphorkonzentration haben und welchen Effekt Minderungsmaßnahmen erzielen. Wenn eine ausreichende Modellqualität erreicht werden kann, ist dadurch eine erheblich weitergehende Unterstützung der Maßnahmenableitung zu erwarten.

Das Gesamtmodell mit den genannten Verbesserungen und Erweiterungen wird in Baden-Württemberg in Zukunft unter dem Namen METRIS BW (Modelling of Emissions and Transport in River Systems für Baden-Württemberg) betrieben. Die Entwicklung von METRIS BW ist wesentlicher Bestandteil der landesweiten Studie SLoPE (Phase 3). Der zweite Baustein von SLoPE ist die Entwicklung eines auf Kieselalgenuntersuchungen basierenden Indikators, der im Zusammenspiel mit METRIS BW die Ableitung von Verbesserungsmaßnahmen weiter optimieren soll.

6 Literaturverzeichnis

- LUBW (2015):
Abfluss-BW – regionalisierte Abfluss-Kennwerte Baden-Württemberg. [Online] 2015. [Zitat vom: 15.11.2016.] <https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/wasser/regionalisierte-abflusskennwerte>.
- LUBW (2014):
Standardkarte für die Maßnahmenableitung zur Phosphor-Reduzierung. UIS-Intranet. [Online] 2014. <http://www.lubw.bwl.de/servlet/is/90030/>.
- LUBW, KIT (2015):
Modellierung der Nährstoffeinträge in die Fließgewässer Baden-Württembergs für die Bestandsaufnahme der Belastungen 2013 gemäß Wasserrahmenrichtlinie. s. l.: Karlsruher Institut für Technologie im Auftrag und in Zusammenarbeit mit der LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, 2015.
- OGewV (2016):
Verordnung zu Schutz von Oberflächengewässern. Bonn: s. n., 2016.

Anlage 1: Kulisse SLoPE 2



U:W

Abbildung A1.1: Kulisse SLoPE 2 Wasserkörper mit hoher Phosphorbelastung (siehe Abschnitt 2.4)

Anlage 2: Auswirkungen der Varianten P_{ges} und $o\text{-PO}_4\text{-P}$ auf die Gewässer

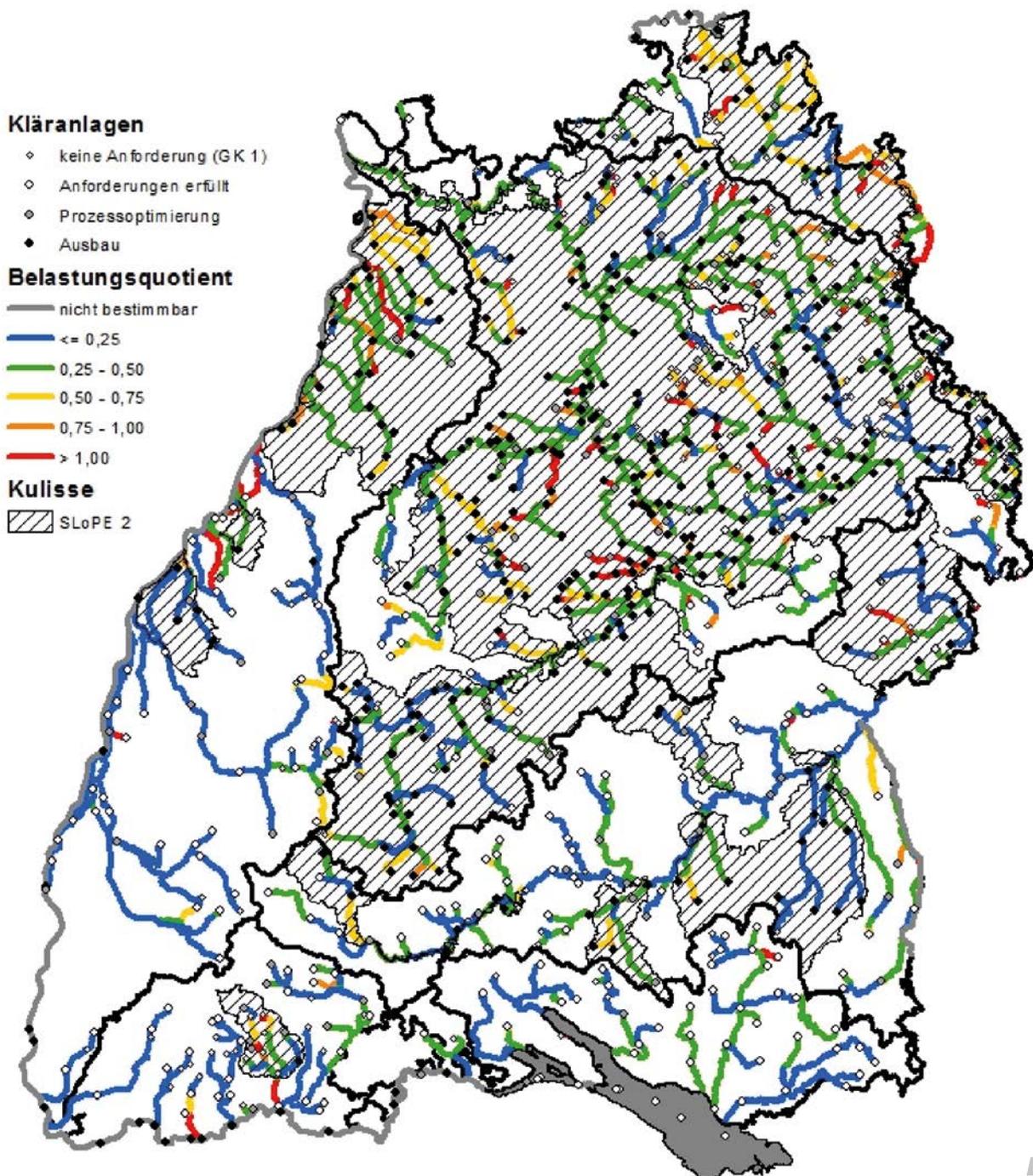
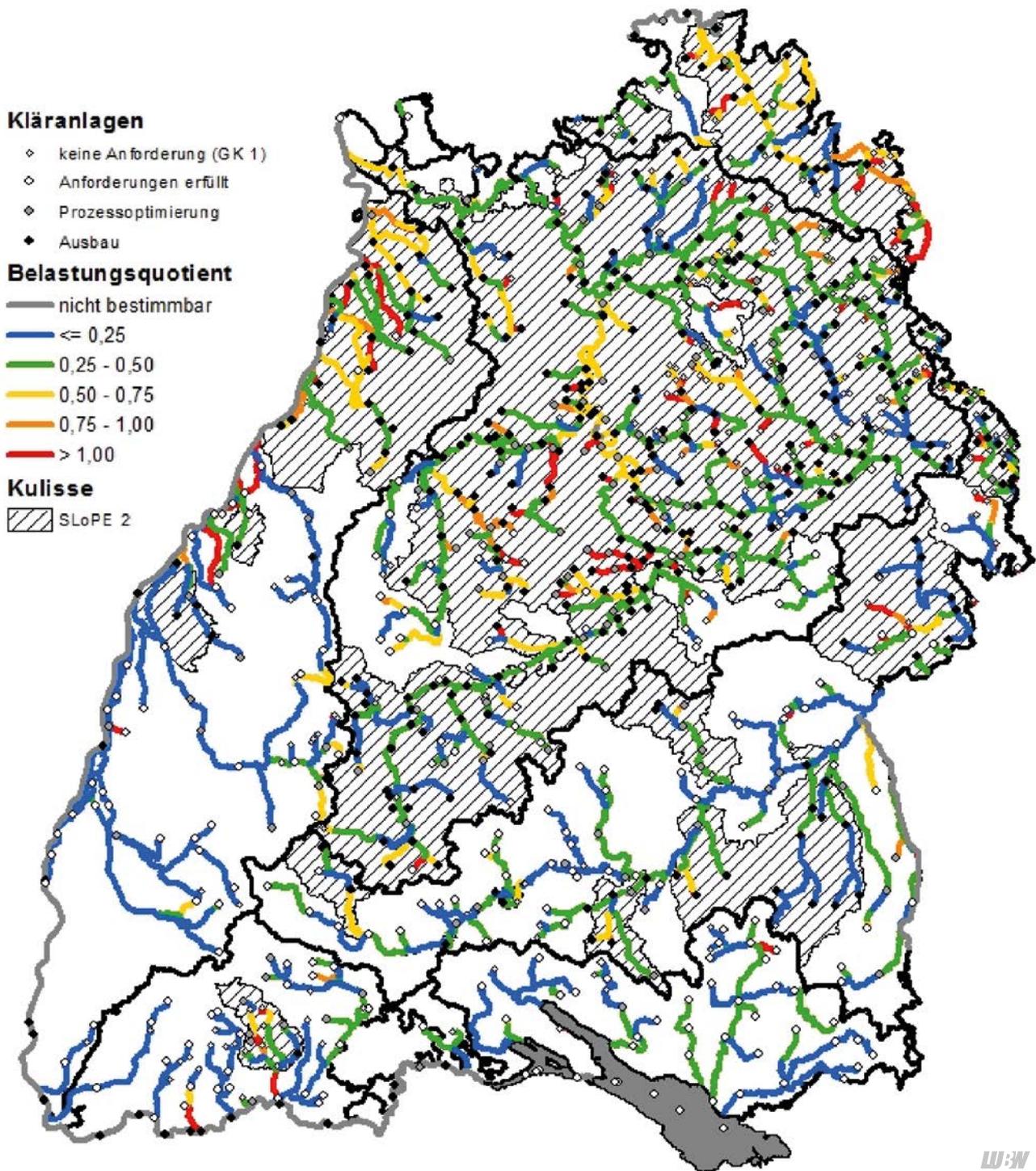


Abbildung A2.1: Belastungsquotient der Gewässer für ortho-Phosphat-Phosphor für Variante P_{ges}

Hinweis: Bei Kläranlagen, die sich außerhalb der Kulisse SLoPE 2 befinden und mit Prozessoptimierung oder Ausbau gekennzeichnet sind, handelt es sich um die Anforderungen nach der 1. Stufe des Handlungskonzeptes Abwasser.



U:W

Abbildung A2.2: Belastungsquotient der Gewässer für ortho-Phosphat-Phosphor für Variante-PO₄-P

Hinweis: Bei Kläranlagen, die sich außerhalb der Kulisse SLoPE 2 befinden und mit Prozessoptimierung oder Ausbau gekennzeichnet sind, handelt es sich um die Anforderungen nach der 1. Stufe des Handlungskonzeptes Abwasser.

Anlage 3: Auswirkungen der Varianten P_{ges} und $o\text{-PO}_4\text{-P}$ auf die Wasserkörper

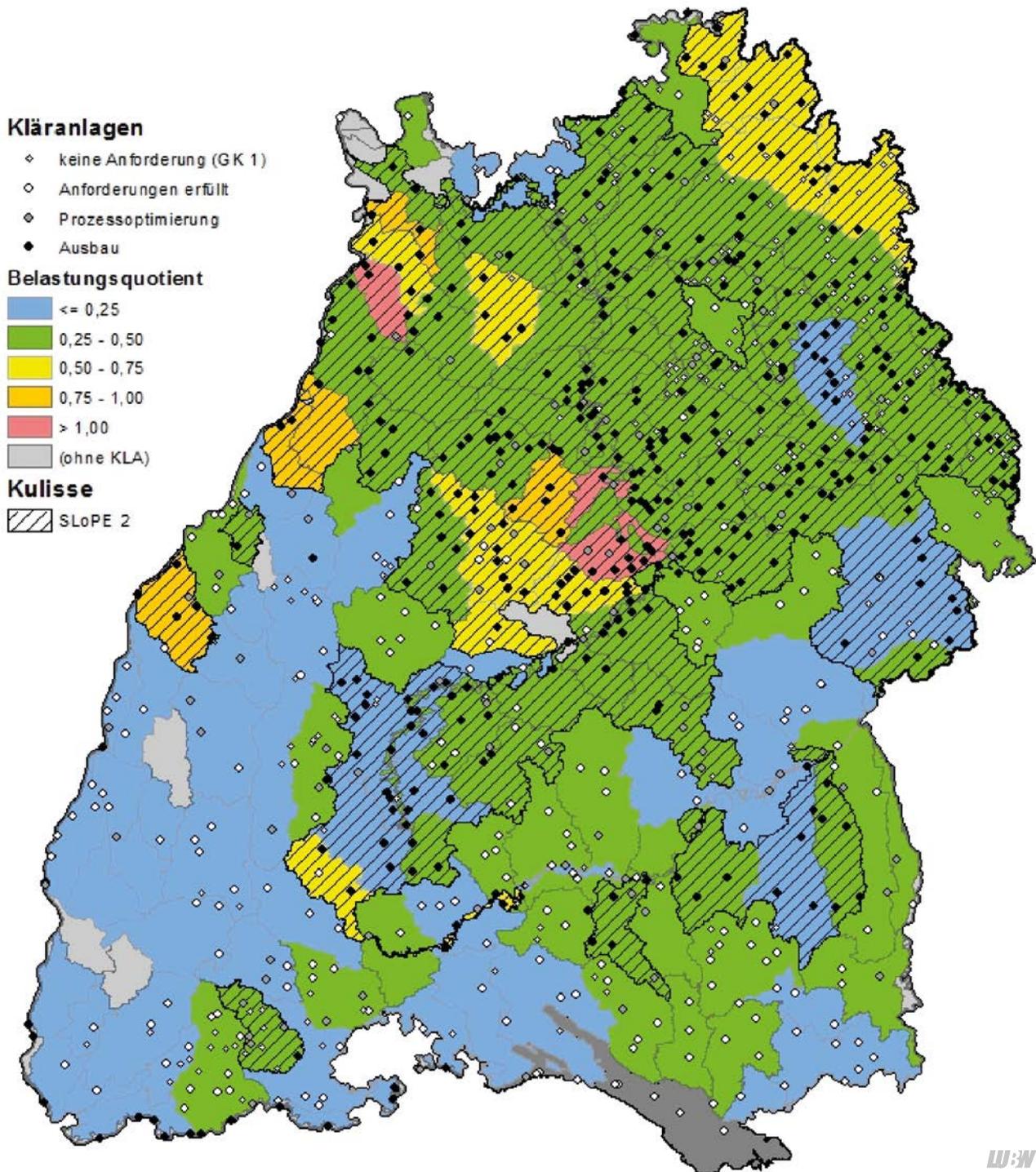
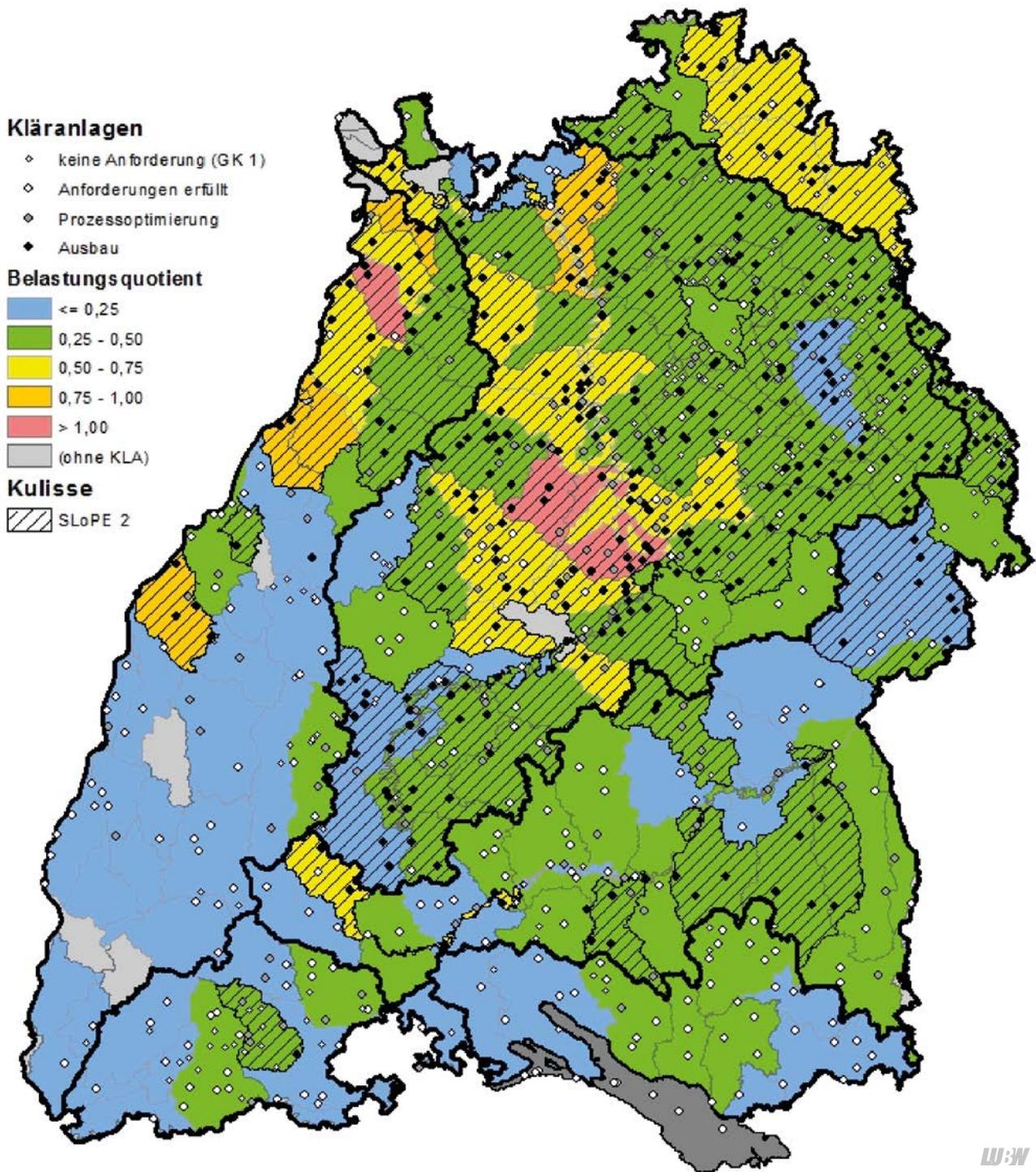


Abbildung A3.1: Belastungsquotient der Wasserkörper für ortho-Phosphat-Phosphor nach Umsetzung der Variante P_{ges}

Hinweis: Bei Kläranlagen, die sich außerhalb der Kulisse SLoPE 2 befinden und mit Prozessoptimierung oder Ausbau gekennzeichnet sind, handelt es sich um die Anforderungen nach der 1. Stufe des Handlungskonzeptes Abwasser.



LUBW

Abbildung A3.2: Belastungsquotient der Wasserkörper für ortho-Phosphat-Phosphor nach Umsetzung der Variante o-PO₄-P

Hinweis: Bei Kläranlagen, die sich außerhalb der Kulisse SLoPE 2 befinden und mit Prozessoptimierung oder Ausbau gekennzeichnet sind, handelt es sich um die Anforderungen nach der 1. Stufe des Handlungskonzeptes Abwasser.

Anlage 4: Grundlagen und Details zur Kostenschätzung

Anlage 4.1: Annahmen für die Kostenschätzung

Zur Abschätzung der Kosten werden anhand von Literaturwerten bzw. anhand von Kostenschätzungen in Machbarkeitsstudien für die 4. Reinigungsstufe im folgenden nur Investitionskosten für den Ausbau betrachtet und auf eine finanzmathematische Aufbereitung zur Kostenbarwerten oder Jahreskosten verzichtet. Dieser Ansatz erscheint für eine Variantenbewertung und die Beurteilung der finanziellen Belastungen vertretbar.

Im Folgenden werden die Grundlagen der Kostenabschätzung dargestellt:

1. Ansatz zur Erreichung der Zielgröße 0,8 bzw. 0,5 mg P_{ges}/l

Anlagen ohne Phosphorelimination müssen nachgerüstet werden. Für diese Betrachtung wird von einer chemischen Fällung ausgegangen. Dabei wird differenziert dem Zielwert von 0,5 und 0,8 mg/l, da bei den Kläranlagen der GK 2 und GK 3 bei einem Zielwert von 0,8 mg/l eine günstigere Fällmittellagerung mit IBC (Intermediate Bulk Container) gewählt werden kann.

- a. Zielgröße 0,8 mg/l: Pauschal: 65.000 €/Anlage
- b. Zielgröße 0,5 mg/l: Pauschal: 100.000 €/Anlage

Dies beinhaltet:

- Fällmittellagerung (a: IBC; b: Fällmitteltank: 20 m³)
- Dosierstation (b: 2 Punktfällung)
- Automatisierung
- Leitungen/Flächenbefestigung

Plausibilisierung:

- Literaturwerte liegen je nach GK, Größe der Lagerbehälter und MSR-Technik Investitionskosten zwischen ca. 21.000 € (bis 5.000 EW) und 173.000 € (> 50.000 EW) [Hessen 2011] bzw. bei 20.000 € (bis 10.000 EW) [Thüringen 2009]. Der Ansatz von 65.000 € deckt einen erhöhten Aufwand bei der MSR-Technik ab.

- Bezogen auf die Ausbaugröße liefern Literaturwerte von 6–10 € (netto)/EW (bis 10.000 EW [nach Baumann 2014]). Mit einem Ansatz von 10 €/EW ergeben sich bei für die Varianten 2 und 3 danach höhere Kosten (bis ~ 30%) als mit dem vorgeschlagenen pauschalen Ansatz. Der gewählte Ansatz erscheint jedoch aufgrund der großen Streuung der EW-spezifischen Werte zielführender und vertretbar.

2. Ansatz zur Erreichung der Zielgröße 0,2 mg P_{ges}/l

Auch hier existieren nur wenig neuere Daten für die Investitionskosten von Filtrationen. In der Regel sind diese Kosten auch in Studien zur 4. Reinigungsstufe vorhanden, aber nicht separat ausgewiesen [Antakyali 2016] oder die Daten sind zu Jahreskosten aufbereitet [Hildenbrand et al. 2012].

Belastbare Daten sind hier für Raumfilter aus der Schweiz verfügbar [Bafu 2012].

Seit einigen Jahren geht die Entwicklung weg von den mit hohen Investitionskosten verbundenen Raumfiltern hin zu Tuchfiltern bzw. Polstofffiltern. Hier sind inzwischen auch großtechnische Erfahrungen in Baden-Württemberg vorhanden. Sowohl die Anlage in Lahr (GK 5) und Laichingen (GK 4) sind seit 2015 in Betrieb. Neuere Planungen, Projektierungen und Machbarkeitsstudien enthalten auch Informationen zu Investitionskosten. Auf dieser Grundlage und mit einem Datensatz aus Hessen [Hessen 2011], die Kosten für 3 Anlagen unterschiedlicher Größenklassen umfasst, wurde eine Kostenfunktion abgeleitet.

3. Ansatz zur Erreichung der Zielgröße 0,3 mg P_{ges}/l

Durch eine Optimierung der Sedimentation kann der Rückhalt der partikulären Anteile des Phosphors optimiert werden. Zusammen mit einer geregelten chemischen Phosphorelimination lassen sich dann Ablaufwerte in einer Größenordnung von 0,3 mg P_{ges}/l einhalten.

Investitionskosten Raumfiltration

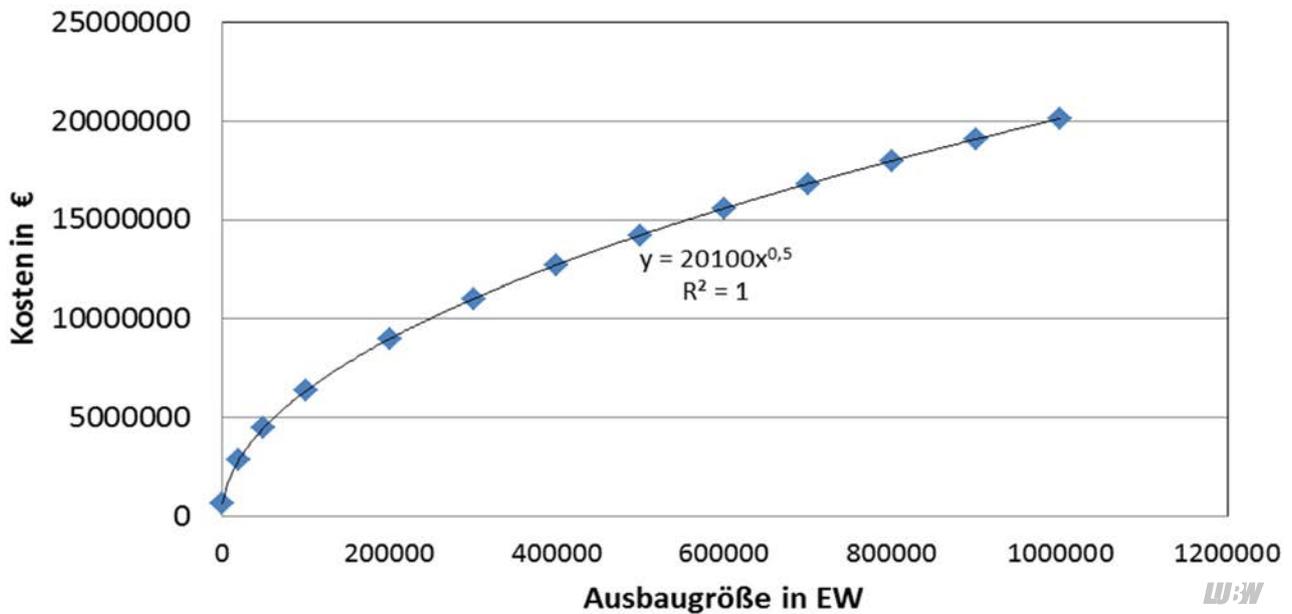


Abbildung A4.1: Investitionskosten für Raumfilter [nach Bafu, 2012]

Investitionskosten Tuchfilter

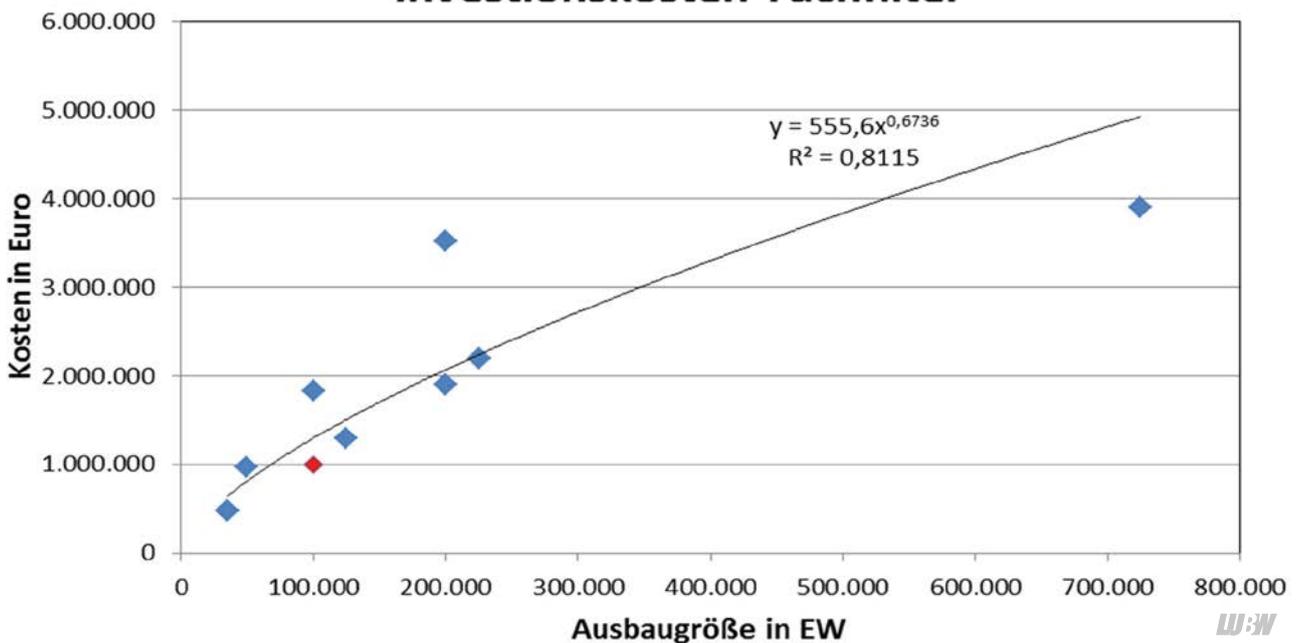


Abbildung A4.2: Investitionskosten für Tuchfilter

Hier wird von einer Nachrüstung vorhandener Anlagen ausgegangen. Diese ist auch unter Betriebsbedingungen mit entsprechender Vorbereitung möglich.

Dazu existieren mehrere Möglichkeiten. Neben dem Umbau des Mittelbauwerks und der Integration eines höhenverstellbaren Einlaufbauwerk (hydrograv, Patentschutz), sind auch Einbauten zur Verbesserung der Sedimentationsleistung denkbar [Thiel, Dammann 1999].

Zur Abschätzung wurde auch hier aus bekannten Einzelprojekten eine Kostenfunktion abgeleitet.

4. Bewertung

Die aufgeführten Ansätze zur Kostenabschätzung dienen der Auswahl von verschiedenen Varianten zur Reduzierung des P-Frachteintrages in die Gewässer in Baden-Württemberg. Sie kann nicht herangezogen werden, um die konkreten Kosten im Einzelfall festzulegen.

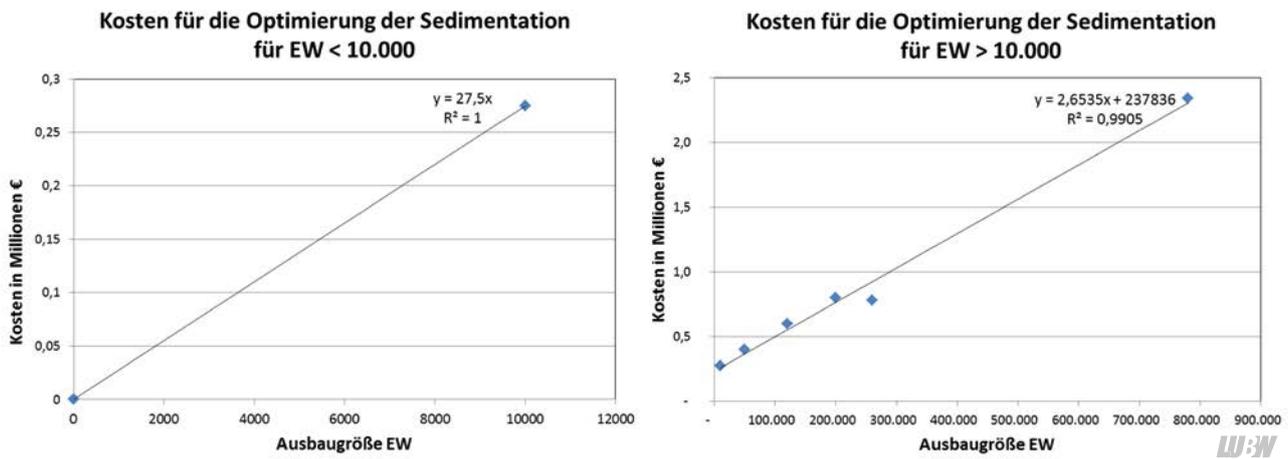


Abbildung A4.3: Investitionskosten für die Optimierung der Nachklärung für Kläranlagen mit Ausbaugrößen unter und über 10.000 EW

So zeigt sich in der Praxis, dass neben der eigentlichen Baumaßnahme zur Verbesserung der Phosphorelimination in aller Regel weitere Ertüchtigungen durchgeführt werden und sich in der Regel höhere Kosten ergeben. Auch werden aus betrieblichem Interessen verstärkt Maßnahmen zur Ertüchtigung der Sedimentation und der Tuchfiltration zusammen umgesetzt, so dass in der Praxis damit zu rechnen ist, dass hier höhere Kosten entstehen werden.

Nach der Auswahl der favorisierten Variante wird deshalb empfohlen, für den Zielwert von 0,2 mg P_{ges}/l die Kostenfunktion der Abbildungen A4.2 und A4.3 zu addieren und so eine bessere Abschätzung der tatsächlich auftretenden Investitionskosten zu erhalten. Dies erscheint u.a. auch sinnvoll um ein ggf. bereitzustellendes erhöhtes Sonderfördervolumen abschätzen zu können.

Anlage 4.2: Kostenschätzungen

Tabelle A4.1: Abschätzung der Investitionskosten für den Kläranlagenausbau für die Variante P_{ges}

		GK-1	GK-2	GK-3	GK-4	GK-5	BW
	Investition	0	108	94	185	22	409
	KA-Gesamt	208	229	148	303	36	924
Variante P_{ges} GK 2 < 0,5 GK 3-5 < 0,2 innerhalb Kulisse SLoPE	Kosten IST-Zustand	0	10.800.000	21.113.853	106.752.979	46.069.480	184.736.312
	Kosten für das Zieljahr 2018	0	11.648.016	25.461.269	128.733.794	55.555.349	221.398.428
	Kosten für das Zieljahr 2024	0	13.666.968	29.869.489	151.022.033	65.173.887	259.732.377

LUBW

Tabelle A4.2: Abschätzung der Investitionskosten für die Variante o-PO₄-P

		GK-1	GK-2	GK-3	GK-4	GK-5	BW
	Investition	0	108	85	157	17	364
	KA-Gesamt	208	229	148	303	36	924
Variante o-PO₄-P GK 2 < 0,5 GK 3-5 < 0,3 innerhalb Kulisse SLoPE 2	Kosten IST-Zustand	0	10.800.000	17.404.750	50.310.069	14.295.574	92.810.394
	Kosten für das Zieljahr 2018	0	11.648.016	18.771.181	54.260.019	15.417.844	100.097.060
	Kosten für das Zieljahr 2024	0	13.666.968	22.024.920	63.665.555	18.090.503	117.447.946

LUBW

