

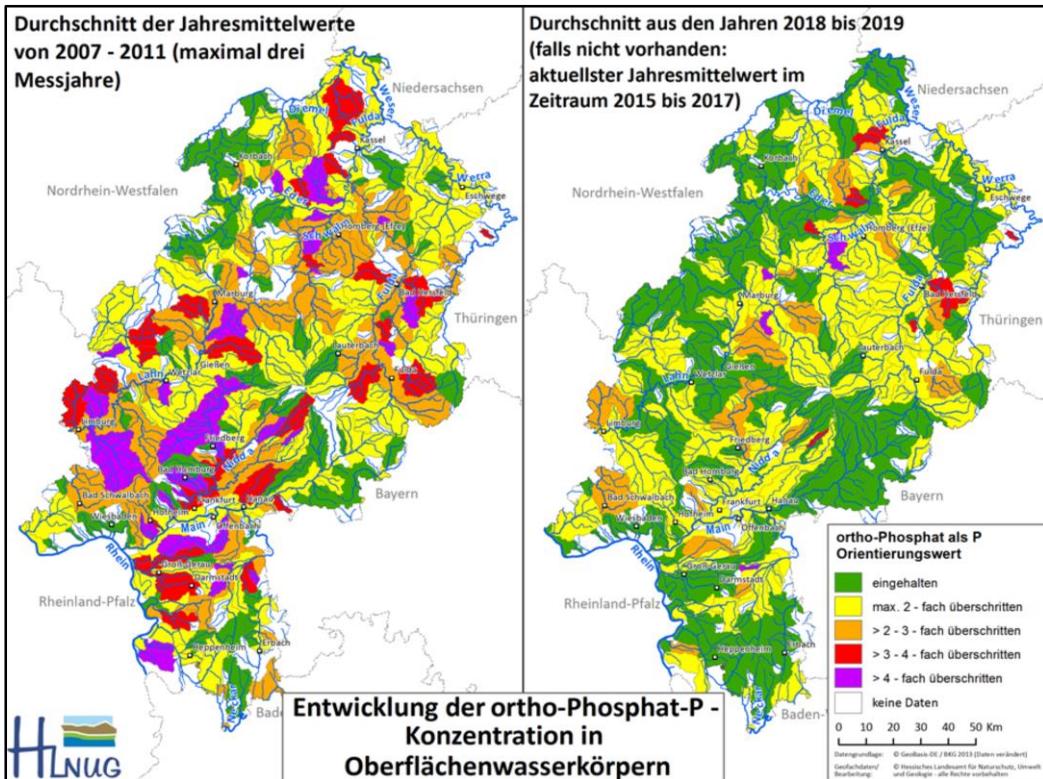


# Ergebnisse der Auswertungen zur Reduzierung von Phosphoreinträgen in Hessen

Stand: Oktober 2020

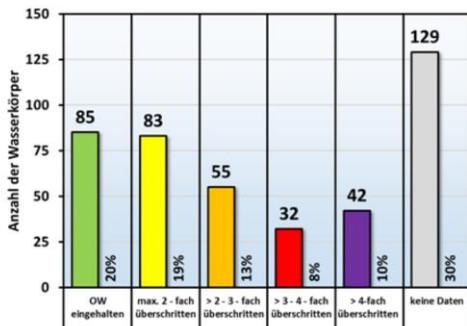
Dezernat W2 – Gewässergüte

Bearbeiter: Dr. Björn Michaelis, Katharina Rückle, Andreas Burmeister, Anne Ries

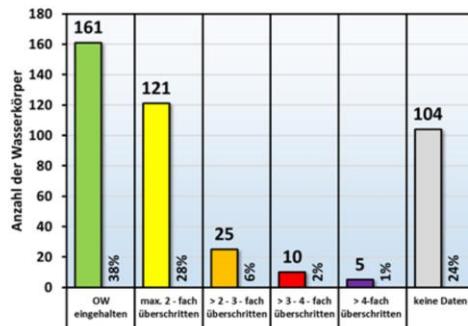


Die Karte stellt die Oberflächenwasserkörper hinsichtlich der Entwicklung von ortho-Phosphat-P aus dem Untersuchungszeitraum 2015 bis 2019 im Vergleich zum Untersuchungszeitraum 2007 bis 2011 dar. Die dargestellten Ergebnisse des Untersuchungszeitraums 2015 bis 2019 beziehen sich auf einen Durchschnitt aus den Jahresdurchschnitten 2018 und 2019 (basierend in der Regel, außer an den Messstationen und Überblicksüberwachungsmessstellen, auf 12 Stichproben pro Jahr). In den wenigen Oberflächenwasserkörpern mit keinen Messungen der Jahre 2018 und 2019 wurde der aktuellste Jahresmittelwert im Zeitraum von 2015 bis 2017 genommen. Für den Untersuchungszeitraum 2007 bis 2011 wurde ein Durchschnitt der Jahresmittelwerte von 2007 bis 2011, maximal drei Messjahre, genommen. Im Vergleich zum Untersuchungszeitraum 2007 bis 2011 ist der Anteil der untersuchten Wasserkörper mit Einhaltung des Orientierungswerts ortho-Phosphat-P gestiegen.

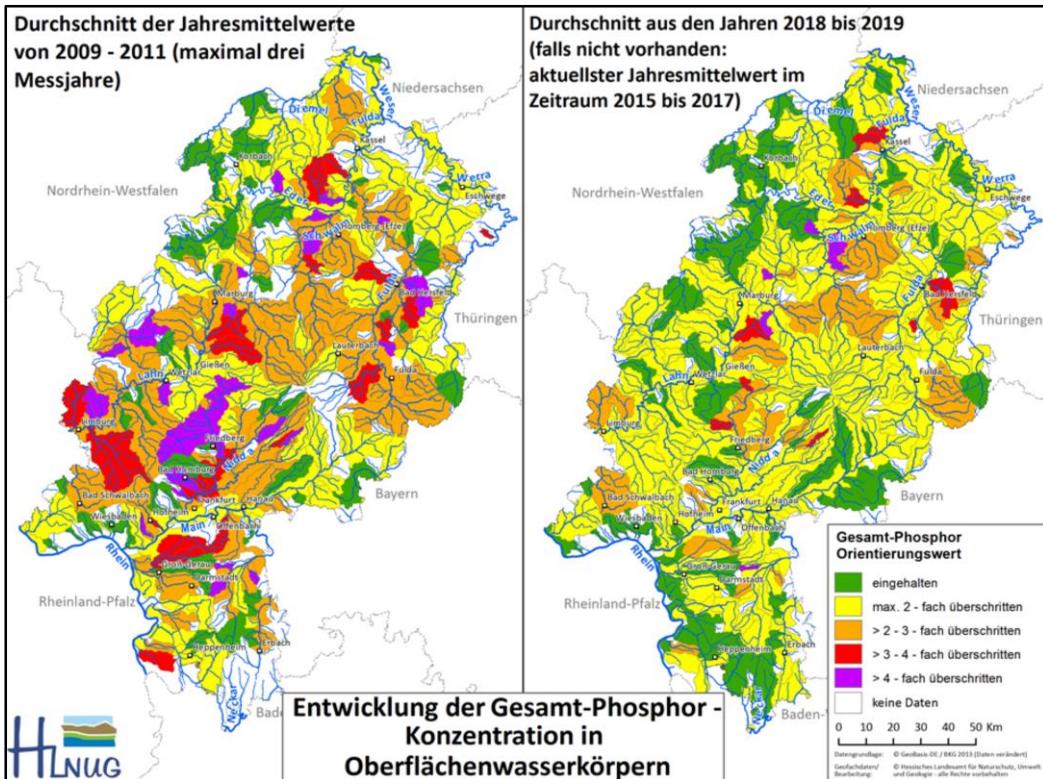
ortho-Phosphat-P (Durchschnitt der Jahresmittelwerte von 2007 – 2011 (maximal drei Messjahre))



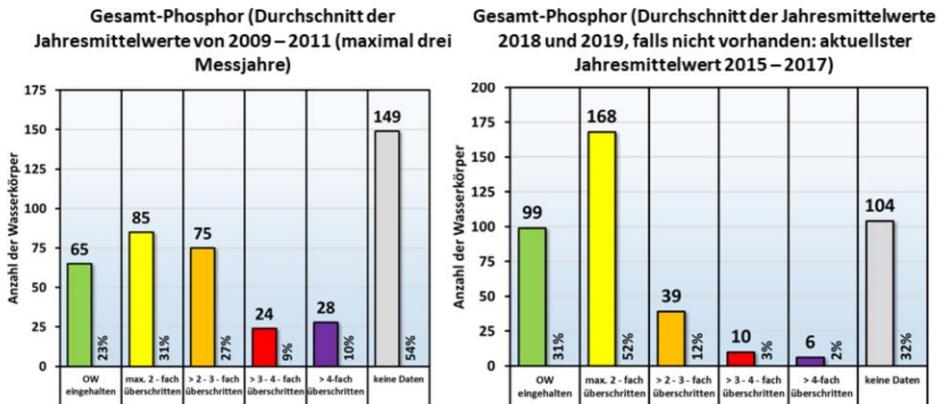
ortho-Phosphat-P (Durchschnitt der Jahresmittelwerte 2018 und 2019, falls nicht vorhanden: aktuellster Jahresmittelwert 2015 – 2017)



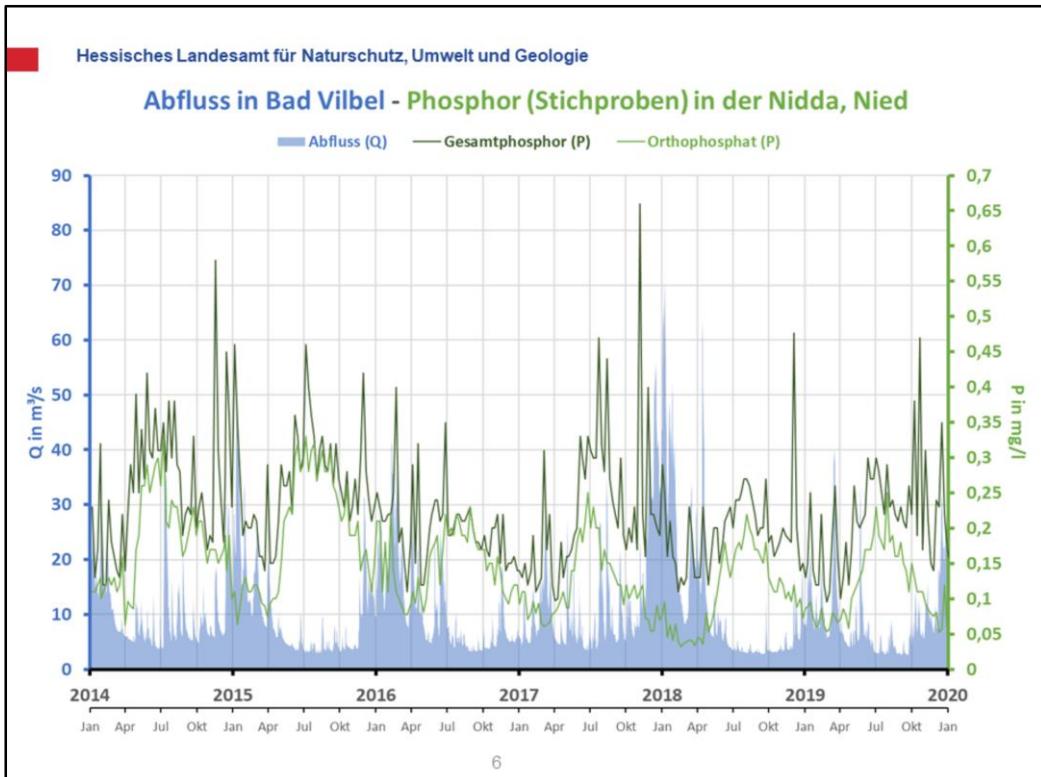
Dies wird an den Häufigkeitsverteilungen für beide Untersuchungszeiträume nochmal deutlich und konkretisiert. Um beide Zeiträume vergleichen zu können, wurden Häufigkeiten basierend auf der gleichen Anzahl von Oberflächenwasserkörpern (OWK) der Fließgewässer, insgesamt 426 OWK, berechnet. Der Anteil der Oberflächenwasserkörper mit Einhaltung des Orientierungswerts ortho-Phosphat-P ist von 20 % auf 38 % gestiegen (bezogen nur auf die untersuchten Oberflächenwasserkörper steigt der Anteil von 30 auf 50 %). Gleichzeitig hat sich auch der Anteil der Oberflächenwasserkörper mit sehr hohen Überschreitungen (2-3-fach, 3-4-fach und > 4-fach) um 70 % verringert.



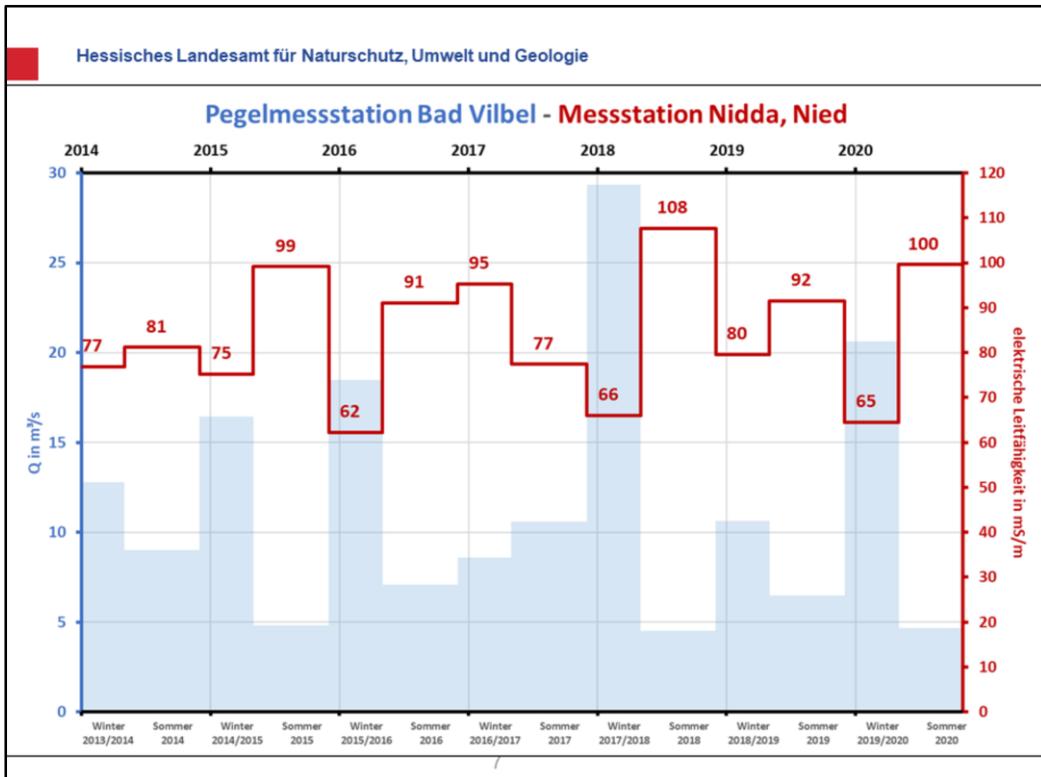
Die Karte stellt die Oberflächenwasserkörper hinsichtlich der Entwicklung von Gesamt-Phosphor aus dem Untersuchungszeitraum 2015 bis 2019 (meist Durchschnitt aus den Jahreswerten 2018 und 2019) im Vergleich zum Durchschnitt von maximal drei Messjahren aus dem Untersuchungszeitraum 2009 bis 2011 dar. Im Vergleich zum Untersuchungszeitraum 2009 bis 2011 ist der Anteil der untersuchten Wasserkörper mit Einhaltung des Orientierungswerts Gesamt-Phosphor gestiegen. Die Effekte der Kläranlagen-Maßnahmen sind weniger ausgeprägt als bei ortho-Phosphat-P, da hier andere Einträge (zum Beispiel aus der Landwirtschaft) eine Rolle spielen.



Die Häufigkeitsverteilungen zeigen, dass der Anteil der Oberflächenwasserkörper mit Einhaltung des Orientierungswerts für Gesamt-Phosphor ebenfalls gestiegen ist, von 23 % auf 31 %. Gleichzeitig verringerte sich der Anteil der Oberflächenwasserkörper mit mehr als 2-facher Überschreitung des Orientierungswerts von 46 auf 17 %.

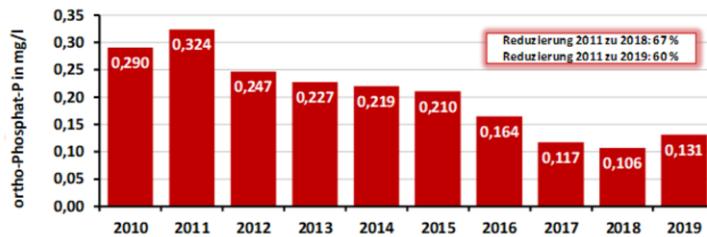


Die Abbildung zeigt beispielhaft an der Messstation Nidda, Nied die jahreszeitlichen Schwankungen beim Abfluss (kontinuierliche Messungen) und bei der Phosphorkonzentration (Gesamt-Phosphor und ortho-Phosphat-P als wöchentliche Stichprobe). Die Spitzen beim Gesamt-Phosphor sind in der Regel durch Hochwasserereignisse verursacht. In den Winterhalbjahren werden die ortho-Phosphat Konzentrationen durch erhöhte Abflüsse aufgrund von Niederschlägen verdünnt, wo hingegen im Sommer und teilweise im Herbst die Konzentrationen aufgrund der geringeren Verdünnung ansteigen. Diese Entwicklung war besonders deutlich im Winterhalbjahr 2017/2018 und im Sommer des Jahres 2019. Ebenso deutlich wird, dass die Konzentrationen von ortho-Phosphat trotz weiterer Phosphor-Reduzierungen bei den kommunalen Kläranlagen im Jahr 2019 aufgrund der geringeren Gesamtabflüsse gestiegen sind.

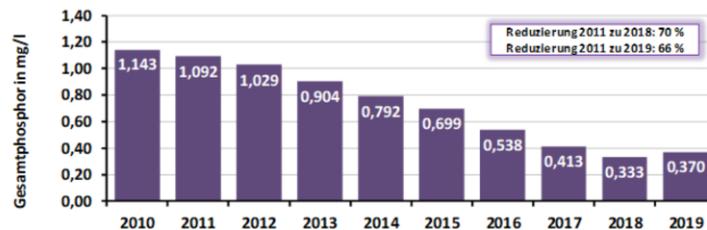


Bezogen auf die Jahreszeiten werden in dieser Abbildung am Beispiel der Messtation Nidda, Nied, die großen Unterschiede insbesondere zwischen den Jahren 2018 und 2019 verdeutlicht: Sehr hohe Abflüsse im Winter 2017/2018 im Vergleich zum Winter 2018/2019 und geringere Abflüsse im Jahr 2018 als im Sommer 2019. Die Verdünnungseffekte bei hohen Abflussverhältnissen (vorwiegend im Winter) zeigen sich auch bei Betrachtung der elektrischen Leitfähigkeit. Bei hohen Abflüssen verringert sich die Ionenkonzentration im Gewässer. Dagegen werden bei Niedrigwasser höhere Konzentrationen erreicht.

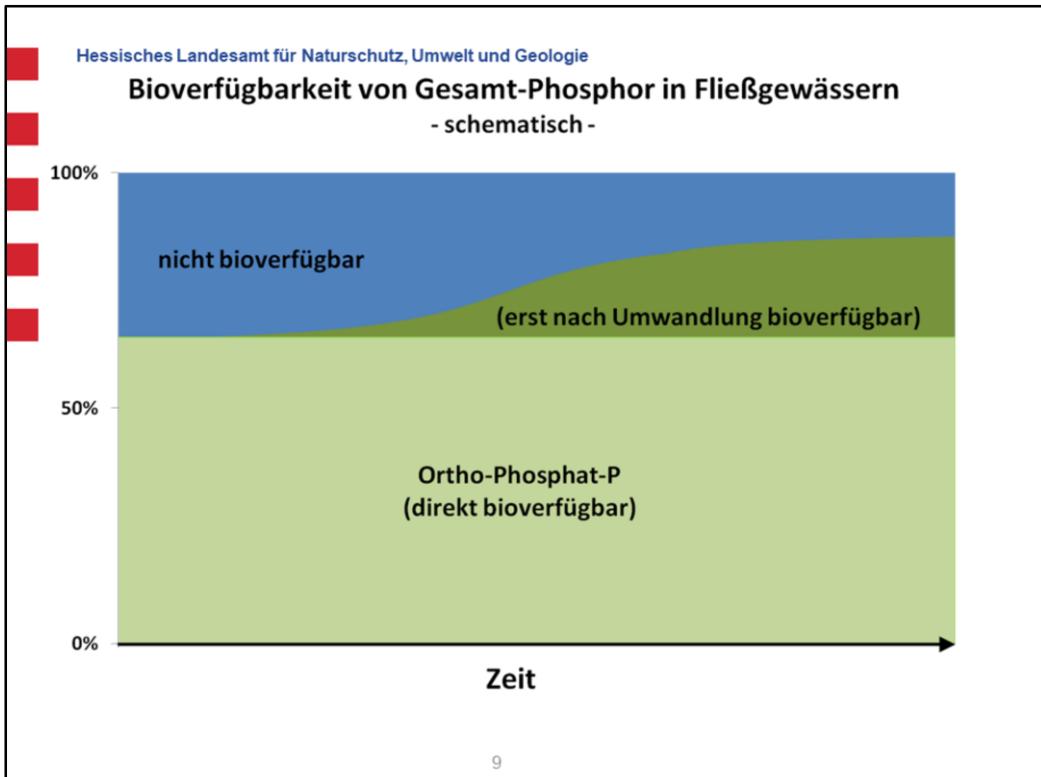
**mittlere Jahreskonzentration ortho-Phosphat-P  
(an der Messstelle Wetter, Assenheim)**



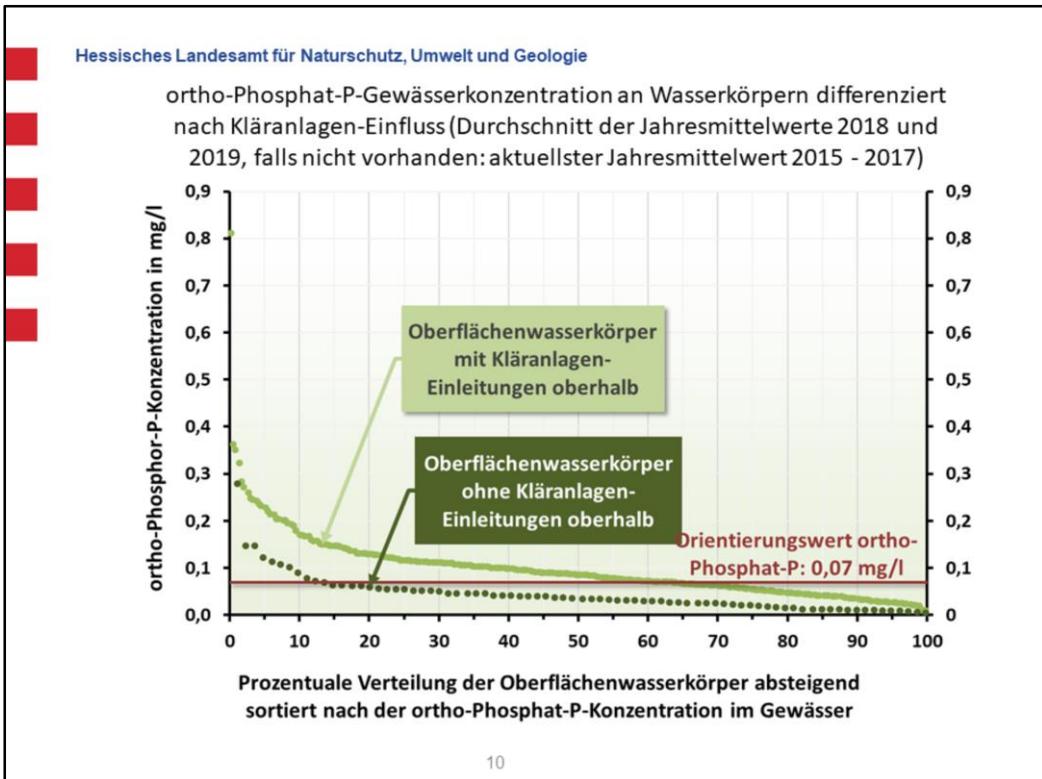
**abflussgewichtete Gesamtposphor-Ablaufkonzentration aller Kläranlagen  
(oberhalb der Wettermündung bei Assenheim)**



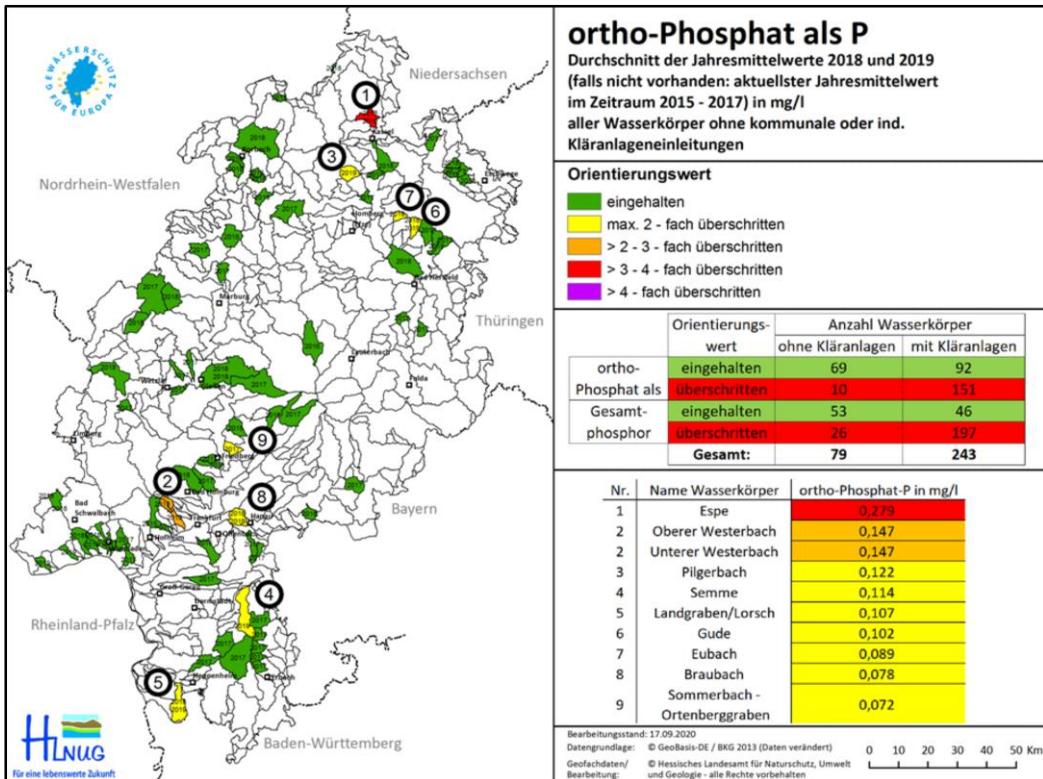
Die Verringerung der Gesamt-Phosphor-Ablaufkonzentrationen kommunaler Kläranlagen führte zu deutlich niedrigeren Konzentrationen in vielen Fließgewässern, das vorwiegend aufgrund der konsequenten Umsetzung von Phosphorreduktionsmaßnahmen in den kommunalen Kläranlagen (zum großen Teil durch die Einrichtung bzw. Optimierung der Phosphatfällung, also der Reduktion von ortho-Phosphat-P) erfolgte. Dieser Zusammenhang ist auch am Beispiel des Wetter-Einzugsgebiet zu erkennen. Die durch die Trockenheit im Jahr 2019 verminderten Abflüsse (besonders im Winter und Frühjahr) führten zu höheren Abwasseranteilen in Fließgewässern, sodass im Jahr 2019 leicht erhöhte ortho-Phosphat-Konzentrationen auftraten. Dennoch reduzierten sich die Konzentrationen im Fließgewässer um 60 % im Vergleich zum Jahr 2011. Die abflussgewichteten Gesamt-Phosphorkonzentrationen (Ablauf) der Kläranlagen im Wetter-Einzugsgebiet verringerten sich von 2011 auf 2019 um 66 %.



In Fließgewässern mit Überschreitung des Orientierungswerts für Gesamt-Phosphor liegt der Großteil der Phosphorverbindungen als direkt bioverfügbares ortho-Phosphat-P vor und kann z.B. von Algen (benthische Diatomeen und Phytoplankton) und Makrophyten als Nährstoffquelle genutzt werden. Der nicht direkt bioverfügbare Anteil ist mineralisch so fest gebunden, dass er gar nicht genutzt werden kann oder erst mit der Zeit durch Umwandlungsprozesse bioverfügbar wird.



Die Abbildung zeigt, dass in den untersuchten Oberflächenwasserkörpern (OWK) ohne Kläranlageneinfluss, insgesamt 79 OWKs, fast 90 % den Orientierungswert für ortho-Phosphat-P einhalten. Dagegen weisen von den Oberflächenwasserkörpern mit Kläranlagen-Einfluss noch ca. 60 % Überschreitungen des Orientierungswerts und insgesamt auch ein höheres Konzentrationsniveau mit Überschreitung des Orientierungswerts für ortho-Phosphat-P auf.



Insgesamt betrachtet sind die Kläranlagen immer noch hauptverantwortlich für die erhöhten Phosphorkonzentrationen in den Fließgewässern. Auch tritt der Großteil der Überschreitungen für ortho-Phosphat-P in Wasserkörpern mit Einleitungen aus Kläranlagen auf. Von den 79 Oberflächenwasserkörpern (OWK), in denen keine Kläranlagen einleiten, gibt es zehn OWK mit Überschreitungen des Orientierungswerts für ortho-Phosphat-P. Im Rahmen eines Sonderprogramms wird bei diesen OWK über ein Ermittlungsmonitoring potenzielle Belastungsquellen nachgegangen. Im Rahmen dieser Untersuchungen konnten für ein paar Oberflächenwasserkörper bereits Ursachen für die Überschreitung des Orientierungswerts ausfindig gemacht werden. Beispiele waren u.a. marode Mischwasserentlastungen, Rohreinleitungen oder auch ein Abwasserrohrbruch sowie auch unbekannte Kläranlageneinträge aufgrund z. B. Bachableitungen aus einem benachbarten OWK, in die im Oberlauf eine kommunale Kläranlage einleitete, oder eine zuvor nicht verortete industrielle Kläranlage im Oberlauf des OWK.

<b>Hessische Anforderungen zur P-Elimination an kommunalen Kläranlagen [KA]</b>			
<b>Größenklasse</b>	<b>Anzahl betroffener KA (neue Bescheidswerte)</b>	<b>Anzahl KA, die neue Anforderungen wahrscheinlich schon einhalten (2014)</b>	<b>Anforderungen gemäß Maßnahmenprogramm 2015-2021</b>
<b>5</b>	<b>8</b>	<b>0</b>	<b>P<sub>ges</sub> (2 h-Probe), Überwachungswert (abgaberelevant): 0,4 mg/l</b>
<b>4</b>	<b>16</b> Sonderfälle bei hochbelasteten Bächen, empfindlichen Talsperren	<b>1</b>	<b>Arithm. Monatsmittel P<sub>ges</sub> aus allen 24h-Proben der Eigenkontrolle: 0,2 mg/l</b>
	<b>140</b> Alle übrigen Anlagen der Größenklasse 4	<b>29</b>	<b>P<sub>ges</sub> (2 h-Probe), Überwachungswert (abgaberelevant): 0,7 mg/l</b>
			<b>Arithm. Monatsmittel P<sub>ges</sub> aus allen 24h-Proben der Eigenkontrolle: 0,5 mg/l</b>
<b>2 und 3</b>	<b>292</b>	<b>80</b>	<b>Grenzwert für ortho-Phosphat-P (24 h-Probe): 0,2 mg/l</b>
			<b>P<sub>ges</sub> (2 h-Probe), Überwachungswert (abgaberelevant): 2,0 mg/l</b>
			<b>Ziel P<sub>ges</sub>: Jahresmittelwert von 1,0 mg/l</b>

Zur Verringerung der Phosphorbelastung in hessischen Fließgewässern wurden im Rahmen des Maßnahmenprogramms 2015-2021 Maßnahmen zur Reduzierung von Phosphoreinleitungen aus kommunalen Kläranlagen für die Größenklassen 2 bis 5 festgesetzt. Die Tabelle fasst die Vorgaben an die Ablaufkonzentrationen für Phosphor zusammen. Diese sind nach Größenklasse abgestuft, wobei Kläranlagen der Größenklasse 5 und einzelne Kläranlagen der Größenklasse 4 (Sonderfälle) die strengsten Anforderungen erhalten.

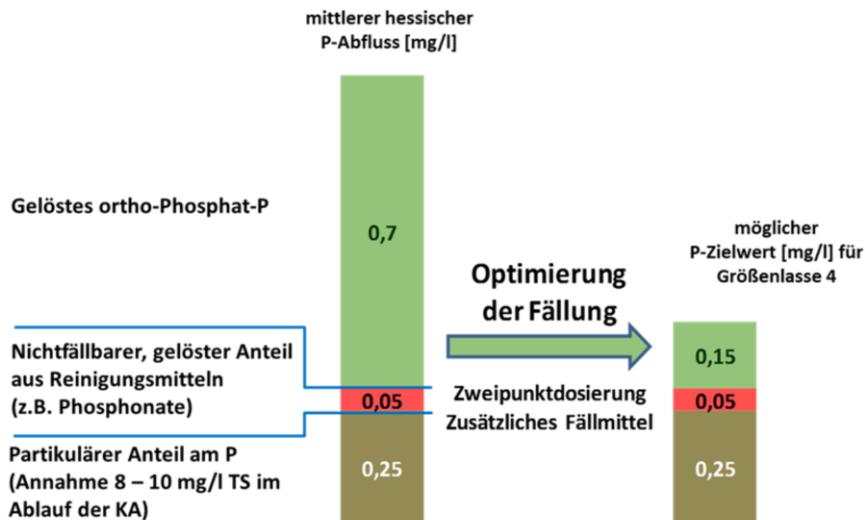
## Zusatzkosten an Kläranlagen durch P-Maßnahmen gemäß Maßnahmenprogramm

Größe	Bestand		Zukünftig		Spezifische Mehr-oder Minderkosten	
	Überwachungs-wert	Betriebs-Mittelwert	Überwachungs-wert	Betriebs-Mittelwert		
	Pges	Pges	Pges/o-P	Pges		
EW	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	€/m³	€/(EW*a)
4.000	(10,0)	7,0	2,0 Pges in 2h-MP	1,0	0,025	1,09
20.000	2,0 in 2h-MP	1,5	0,7 Pges 0,2 o-P in 24h-MP	0,4	-0,010	-0,51
50.000	2,0 in 2h-MP	1,5	0,7 Pges 0,2 o-P in 24h-MP	0,4	-0,006	-0,37
200.000	1,0 in 2h-MP	0,5	0,2 Pges in 24h-MP	0,15	0,025	1,85

Prof. Dr.-Ing. Theilen, Technische Hochschule Mittelhessen

Nach Berechnung von Herrn Prof. Theilen (Technische Hochschule Mittelhessen) sind die Zusatzkosten für die Betreiber durch die Maßnahmen einwohnerspezifisch relativ gering. So sind bei großen Anlagen der Größenklasse 5 aufgrund der hohen Jahresabwassermengen die Zusatzkosten absolut gesehen sehr hoch, bezogen auf die Einwohnerwerte aber moderat. Bei Größenklasse 4 lassen sich in vielen Fällen kostenneutrale Verbesserungen erreichen. Für kleinere Anlagen steigen die spezifischen Kosten gegenüber der Größenklasse 4 an, falls hier zunächst eine Investition in eine Fällungsanlage unternommen wird.

## Optimierung der Phosphor-Fällung in Kläranlagen (nach Boehler und Siegrist, EAWAG, 2008)



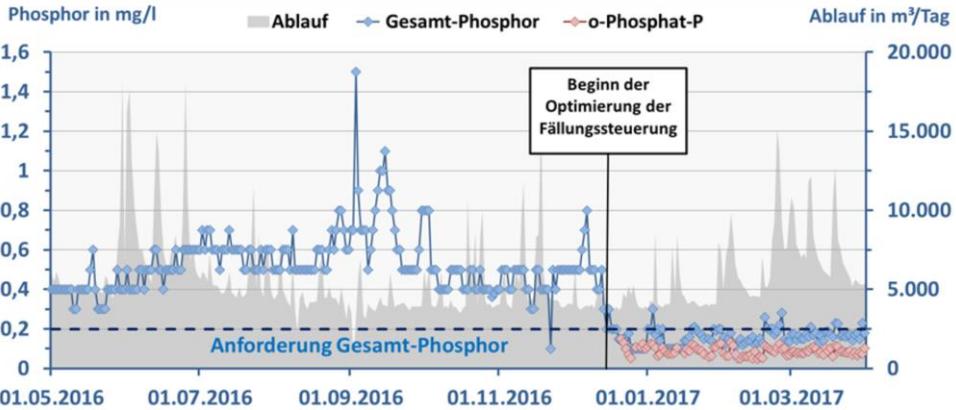
14

Die Abbildung zeigt die möglichen Effekte im Rahmen der Reduktion der Phosphoremissionen an hessischen Kläranlagen. Durch die Fällungsoptimierung an Kläranlagen kann die Konzentration von gelöstem ortho-Phosphat-P erheblich reduziert werden. Allerdings verbleibt ein Restanteil an nicht fällbaren, gelösten Phosphorverbindungen (z.B. Phosphonate) und partikulären Phosphor, welche von der Fällung unberührt bleiben. Eine weitere Reduktion kann in der Kläranlage nur beim partikulären Phosphor durch die Optimierung des Nachklärbeckens und/oder durch Anbau einer Filtration (ggf. im Teilstrom) erfolgen. Liegt die Vermutung nahe, dass hohe Anteile des gelösten nicht fällbaren Phosphors vorliegen, sollten diese zunächst über ein Untersuchungsprogramm in der Kläranlage gemessen werden. Hat sich dies durch das Untersuchungsprogramm bestätigt, sollte die Quelle (z. B. indirekte Einleiter) herausgefunden und Lösungen zur Reduktion gefunden werden, da ansonsten ggf. der Grenzwert im Ablauf nicht eingehalten werden kann und dadurch es erforderlich ist, zusätzliche und teure Phosphormaßnahmen für die Reduktion des partikulären Phosphors, z. B. über eine Filtration, zu installieren. Dabei kann es passieren, dass bei hohen Anteilen des gelösten, nicht fällbaren Phosphors trotz der Installation einer relativ teuren Filtration der Grenzwert nicht erreicht wird. Auch gibt es Untersuchungen, dass Phosphonate aufgrund der ähnlichen molekularen Struktur zu Glyphosat toxisch auf Organismen im Fließgewässer wirken.

## Gesamt-Phosphor- und o-Phosphat-P-Konzentrationen im Ablauf der Kläranlage Vöhl / Thalitter (50.000 EW)

### 2-Punkt-P-Fällung:

1. Dosierung im Ablauf der Vorklärung
2. Dosierung in den Abläufen der Belebungsbecken

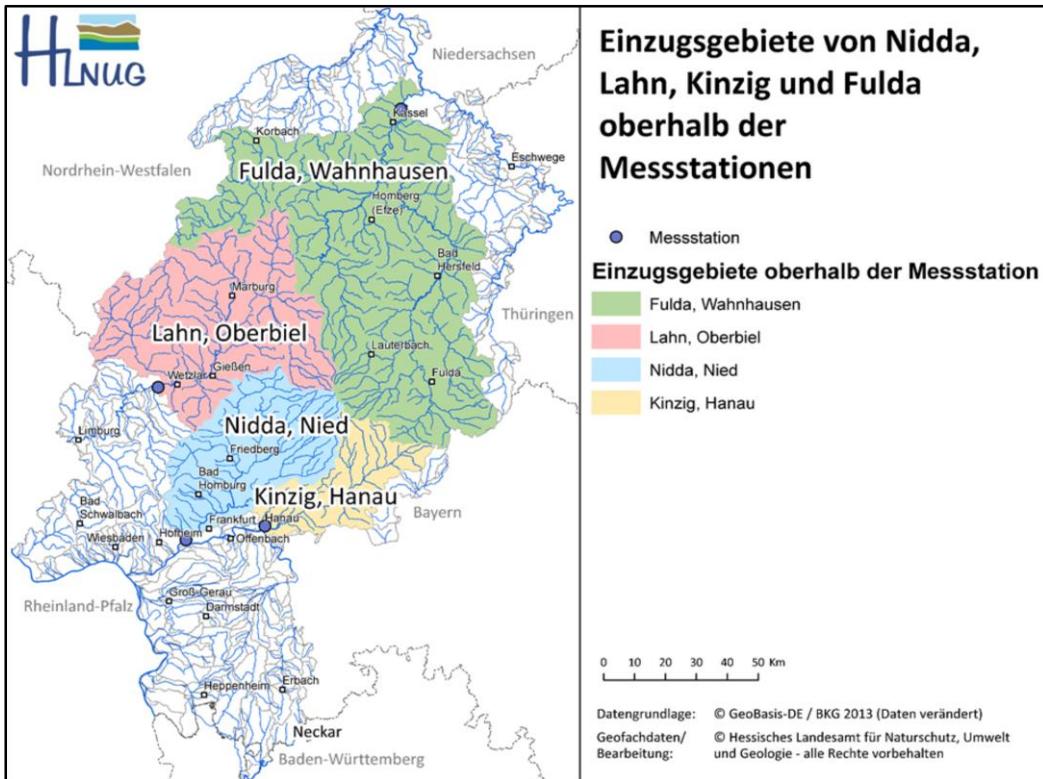


Das Beispiel zeigt, dass die Anforderungen von 0,2 mg/l an die Gesamt-Phosphor Ablaufkonzentration auch ohne Filtration eingehalten werden kann. Durch den Beginn der Fällungsoptimierung Ende 2016 durch eine 2-Punkt-P-Fällung konnte das Konzentrationsniveau deutlich verringert werden.

## Gesamt-Phosphor- und o-Phosphatkonz. im Ablauf der KA Vöhl / Thalitter

	Gesamt-Phosphor		ortho-Phosphat-P			
	Anzahl	Mittelw. mg/L	Anzahl	Mittelw. mg/L	80 Perz. mg/L	Max. mg/L
<b>2016</b>						
Mai	31	<b>0,394</b>	-	-	-	-
Jun	30	<b>0,513</b>	-	-	-	-
Jul	31	<b>0,587</b>	-	-	-	-
Aug	31	<b>0,577</b>	-	-	-	-
Sep	30	<b>0,730</b>	-	-	-	-
Okt	31	<b>0,472</b>	-	-	-	-
Nov	30	<b>0,440</b>	-	-	-	-
Dez	31	<b>0,314</b>	9	0,105	-	0,150
<b>2017</b>						
Jan	30	<b>0,161</b>	28	0,094	<b>0,113</b>	0,126
Feb	27	<b>0,161</b>	28	0,079	<b>0,104</b>	0,132
Mrz	31	<b>0,172</b>	31	0,086	<b>0,101</b>	0,112

Dies ist auch an den Monatsmittelwerten erkennbar. 2016 lagen die Monatsmittelwerte noch zwischen 0,314 mg/l bis 0,730 mg/l für Gesamt-Phosphor im Ablauf. Im ersten Quartal von 2017 verringerten sich die Monatsmittelwerte auf 0,161 bis 0,172 mg/l.



Basierend auf intensiven Messungen und Frachtbilanzierungen des HLNUG stellte sich heraus, dass die kommunalen Kläranlagen den größten Anteil zur Phosphorbelastung in hessischen Fließgewässern beitragen. Für die Frachtbilanzierungen wurden aufgrund der intensiven Messungen die Messstationen an Fulda, Lahn, Nidda und Kinzig herangezogen, da deren Einzugsgebiete nahezu vollständig in Hessen liegen und gute Abflusspegel zur Frachtabschätzung vorhanden sind. Anhand der Karte ist ersichtlich, dass die ausgewählten Einzugsgebiete ca. 60 % der hessischen Landesfläche umfassen.

## Bilanzierung von P-Einträgen in hessischen Gewässern

- Gewässer-P-Frachten aus Daten von Messstationen:
  - pro Jahr 52 Einwochenmischproben (Probenahme alle 8 Minuten) + Abflusspegel
- P-Frachten aller kommunalen Kläranlagen oberhalb:
  - mittlere P-Jahresablaufkonzentration aus Eigenkontrolle
  - Gesamtabwassermenge eines Jahres aus Eigenkontrolle

### Beispiel Fulda:

Messstation	Jahr	Gewässerfracht Pges an der Messstation in t/a	Fracht Pges komm. hess. Kläranlagen oberhalb der Messstation in t/a	Anteil kommunaler hess. Kläranlagen an Gewässerfracht
Fulda, Wahnhausen EZG: 6946 km <sup>2</sup>	2010	314	197	63%
	2011	296	181	61%
	2012	310	184	59%
	2013	337	186	55%
	2014	281	178	64%
	2015	254	156	61%
	2016	229	127	56%
	2017	239	106	44%
	2018	209	90	43%
	2019	170	82	48%

Im Zuge der intensiven Messungen an den Stationen werden für Gesamt-Phosphor alle 8 Minuten Gewässerproben entnommen und in einem gekühlten Gefäß als Einwochenmischprobe gesammelt. Aus den Mischproben wird die mittlere Konzentration eines Kalenderjahres berechnet. Die Jahresfracht im Gewässer ergibt sich durch die Addition der Tagesfrachten (Multiplikation der Konzentration der Mischprobe mit dem auf die Messstation übertragenen Tagesabfluss des jeweils zugeordneten in der Nähe liegenden Pegels). Diesen Gesamt-Phosphorfrachten werden die Frachten aller kommunalen Kläranlagen-Einleitungen im Einzugsgebiet oberhalb der Messstation gegenübergestellt. Als Grundlage zur Berechnung der Gesamt-Phosphorfracht aus Kläranlagen dienen die im Rahmen der Eigenkontrolle jährlich gemeldeten mittleren Ablaufkonzentrationen und die Jahresabwassermenge der kommunalen Kläranlagen. Daraus wurde der Anteil der kommunalen Kläranlagen an der Gesamt-Phosphorfracht für die Jahre 2010 – 2019 ermittelt.

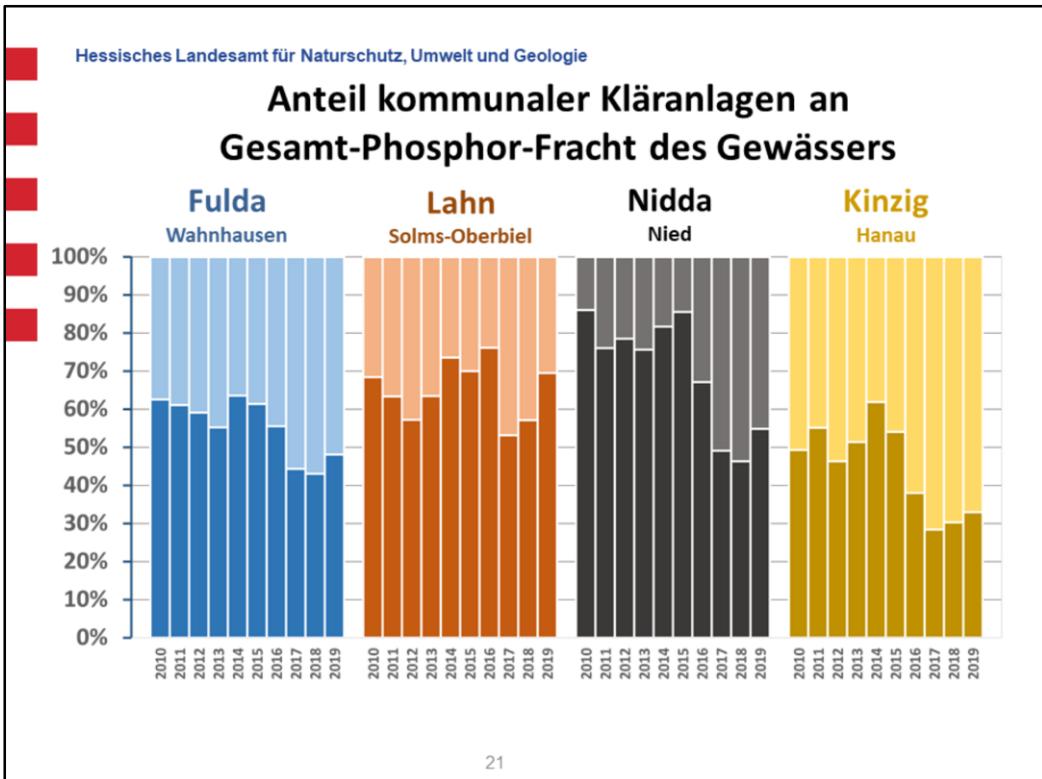
Hessisches Landesamt für N		Messtation	Jahr	Gewässerfracht Pges an der Messtation in t/a	Fracht Pges komm. hess. Kläranlagen oberhalb der Messtation in t/a	Anteil kommunaler hess. Kläranlagen an Gewässer- fracht
Fuß	Fuß	Fuß	2010	314	197	63%
			2011	296	181	61%
			2012	310	184	59%
			2013	337	186	55%
			2014	281	178	64%
			2015	254	156	61%
			2016	229	127	56%
			2017	239	106	44%
			2018	209	90	43%
			2019	170	82	48%
Fuß	Fuß	Fuß	2010	163	112	68%
			2011	175	111	63%
			2012	177	101	57%
			2013	162	103	63%
			2014	131	97	74%
			2015	126	88	70%
			2016	109	83	76%
			2017	137	73	53%
			2018	110	63	57%
			2019	85	59	69%
Fuß	Fuß	Fuß	2010	95	82	86%
			2011	102	77	76%
			2012	107	84	78%
			2013	106	80	76%
			2014	83	68	82%
			2015	67	57	86%
			2016	68	46	67%
			2017	76	37	49%
			2018	63	29	46%
			2019	49	27	55%
Fuß	Fuß	Fuß	2010	60	30	49%
			2011	49	27	55%
			2012	59	27	46%
			2013	53	27	51%
			2014	37	23	62%
			2015	38	21	54%
			2016	45	17	38%
			2017	46	13	28%
			2018	32	10	30%
			2019	32	10	33%

Die Frachtbilanzierung zeigt, dass sich die Frachten kommunaler Kläranlagen durch die im Maßnahmenprogramm 2015-2021 beschlossenen Anforderungen an die Gesamt-Phosphorablaufkonzentrationen immer weiter reduzierten. Gleichzeitig sank auch die Gesamt-Phosphorfracht im Gewässer (bei der Kinzig ergab sich allerdings eine geringfügige Erhöhung der Kläranlagenfracht zwischen 2018 und 2019). An der Kinzig erhöhte sich der Frachtanteil von 2018 auf 2019 von 30 auf 33%. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Kläranlagen etwas mehr einleiteten als im Vorjahr und die Gewässerfracht etwas niedriger war. Aufgrund der gerundeten Darstellung der Werte (ohne Nachkommastellen) ist dieser Unterschied in der Tabelle nicht direkt ersichtlich. Die Anteile werden auf Grundlage der nicht gerundeten Werte berechnet, sodass hierdurch ein Unterschied von 3 % resultiert.

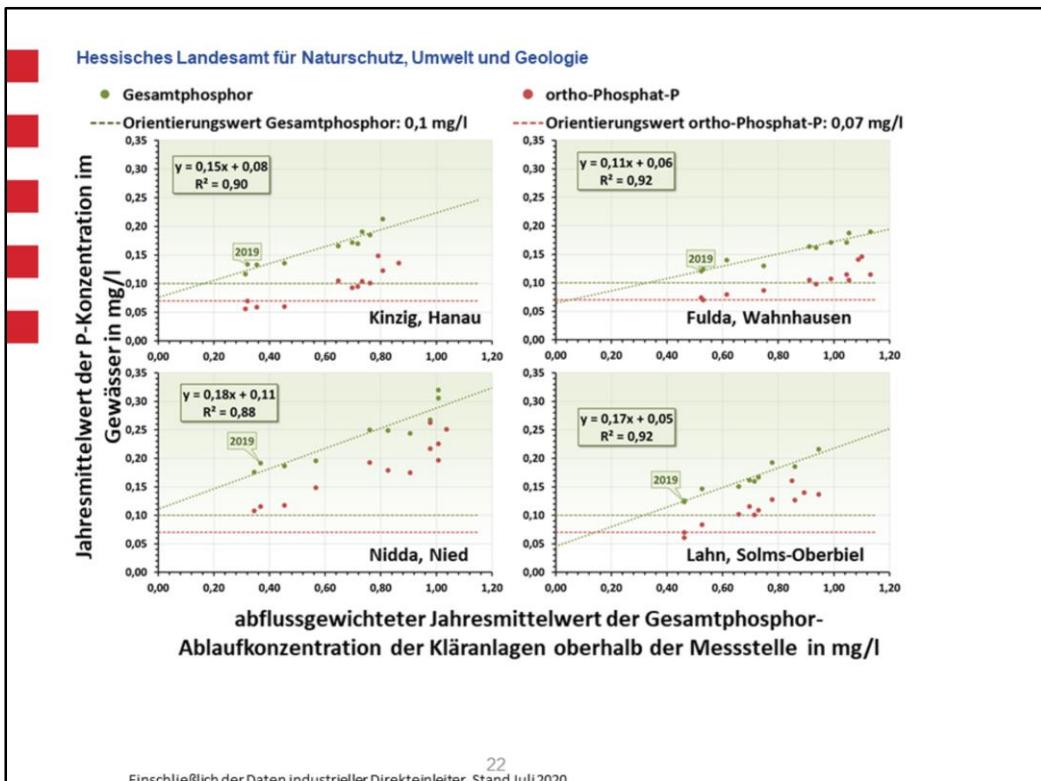
Hessisches Landesam		Messstation	Jahr	Gewässer- konzentration Pges in mg/l	Gewässer- konzentration ortho-Phosphat in mg/l	Gewässerfracht Pges an der Messstation in t/a	Fracht Pges komm. hess. Kläranlagen oberhalb der Messstation in t/a	Anteil kommunaler hess. Kläranlagen an Gewässer- fracht
	Fulda, Wahnhausen EZG: 6946 km²	2010	0,171	0,115	314	197	63%	
		2011	0,190	0,115	296	181	61%	
		2012	0,188	0,105	310	184	59%	
		2013	0,162	0,098	337	186	55%	
		2014	0,171	0,107	281	178	64%	
		2015	0,164	0,105	254	156	61%	
		2016	0,130	0,087	229	127	56%	
		2017	0,140	0,080	239	106	44%	
		2018	0,124	0,070	209	90	43%	
	2019	0,121	0,074	170	82	48%		
	Lahn, Solms Oberbiel EZG: 3407 km²	2010	0,186	0,127	163	112	68%	
		2011	0,216	0,137	175	111	63%	
		2012	0,193	0,128	177	101	57%	
		2013	0,167	0,109	162	103	63%	
		2014	0,160	0,101	131	97	74%	
		2015	0,162	0,116	126	88	70%	
		2016	0,151	0,102	109	83	76%	
		2017	0,147	0,084	137	73	53%	
		2018	0,126	0,061	110	63	57%	
	2019	0,124	0,070	85	59	69%		
Nidda, Nied EZG: 1942 km²	2010	0,268	0,217	95	82	86%		
	2011	0,320	0,226	102	77	76%		
	2012	0,306	0,197	107	84	78%		
	2013	0,244	0,175	106	80	76%		
	2014	0,249	0,179	83	68	82%		
	2015	0,250	0,193	67	57	86%		
	2016	0,196	0,149	68	46	67%		
	2017	0,187	0,118	76	37	49%		
	2018	0,176	0,108	63	29	46%		
2019	0,192	0,116	49	27	55%			
Kinzig, Hanau EZG: 925 km²	2010	0,185	0,101	60	30	49%		
	2011	0,213	0,123	49	27	55%		
	2012	0,191	0,104	59	27	46%		
	2013	0,170	0,095	53	27	51%		
	2014	0,172	0,093	37	23	62%		
	2015	0,166	0,105	38	21	54%		
	2016	0,136	0,060	45	17	38%		
	2017	0,133	0,059	46	13	28%		
	2018	0,117	0,056	32	10	30%		
2019	0,134	0,070	32	10	33%			

20

Auch bei den Gewässerkonzentrationen lässt sich ein abnehmender Trend erkennen. Für ortho-Phosphat-P wird bei zwei der vier Einzugsgebiete der Orientierungswert für ortho-Phosphat-P eingehalten, bei einem ist er nur knapp überschritten. Die Trockenheit im Jahr 2019 führte allerdings durch geringere Verdünnungseffekte trotz sinkender Kläranlageneinträge zu etwas höheren Konzentrationen als 2018.



Die Abbildung fasst die Inhalte der Frachtbilanzierung grafisch zusammen. Neben der in den Tabellen gezeigten Reduktion der absoluten Gesamt-Phosphorfracht sanken im Zuge der Maßnahmen an Kläranlagen ca. ab dem Jahr 2015 auch die Anteile der Kläranlagen an der Gesamt-Phosphorfracht.



Dargestellt sind die Jahresmittelwerte für Gesamt-Phosphor in grün und ortho-Phosphat-P in rot von 2010 bis 2019 bzw. bei ortho-Phosphat-P von 2008 bis 2019 in Abhängigkeit zu den abflussgewichteten Jahresmittelwert der Gesamt-Phosphor-Ablaufkonzentrationen der oberhalb einleitenden Kläranlagen. Hierbei ergibt sich für die vier zur Phosphorbilanzierung genutzten Einzugsgebiete eine lineare Abhängigkeit mit Bestimmtheitsmaßen von 0,88 bis 0,92. D.h. die Verringerung der abflussgewichteten Kläranlagenkonzentrationen wirkt sich direkt auf die Phosphorkonzentration im Gewässer aus. Je niedriger die Konzentration der Kläranlagen durch Umsetzung der Maßnahmen wird, desto niedriger ist tendenziell auch die ortho-Phosphat-Konzentration im Fließgewässer. Der y-Achsenabschnitt entspricht dabei dem Eintrag aus anderen Eintrags-Quellen (z.B. Landwirtschaft, Mischwasserentlastungen, etc.).

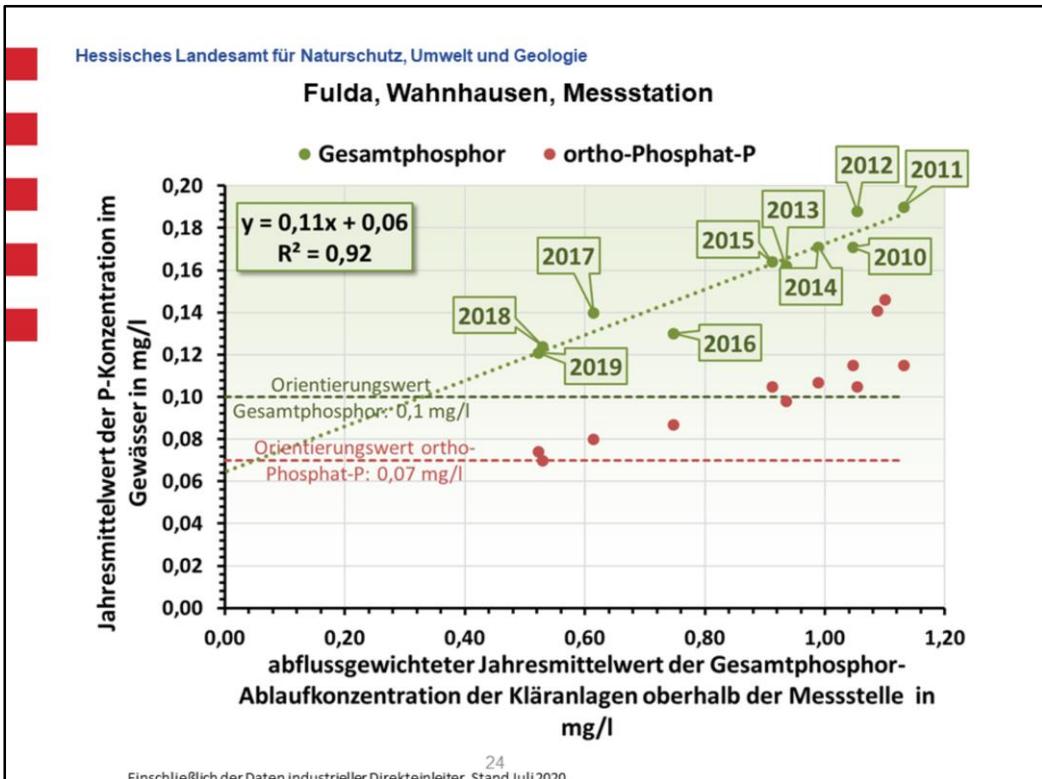
Geraden-Steigung: mittlerer Abwasseranteil an  
Messstation

Fulda:	$y=0,11x + 0,06$	$R^2= 0,92$
Kinzig:	$y=0,15x + 0,08$	$R^2=0,90$
Lahn:	$y=0,17x + 0,05$	$R^2=0,92$
Nidda:	$y=0,18x + 0,11$	$R^2=0,88$
Schwarzbach:	$y=0,48x + 0,08$	$R^2=0,97$

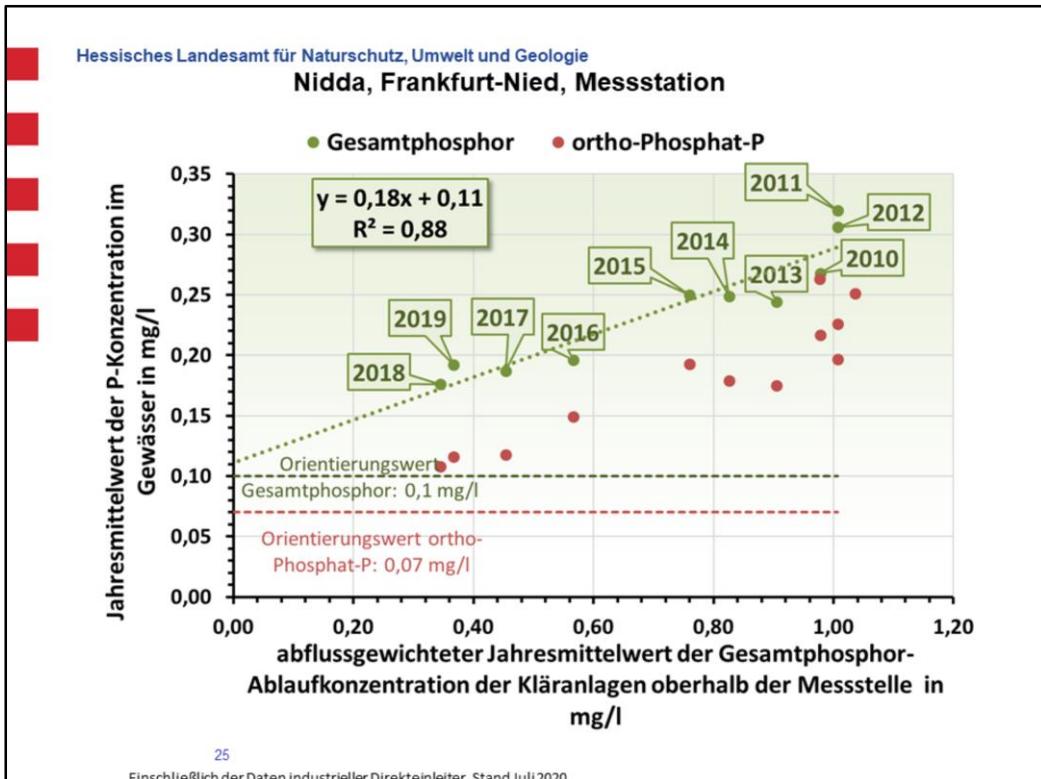
Abwasseranteil steigt

Y-Achsenabschnitt = Beitrag aller  
anderen Phosphor-Einträge

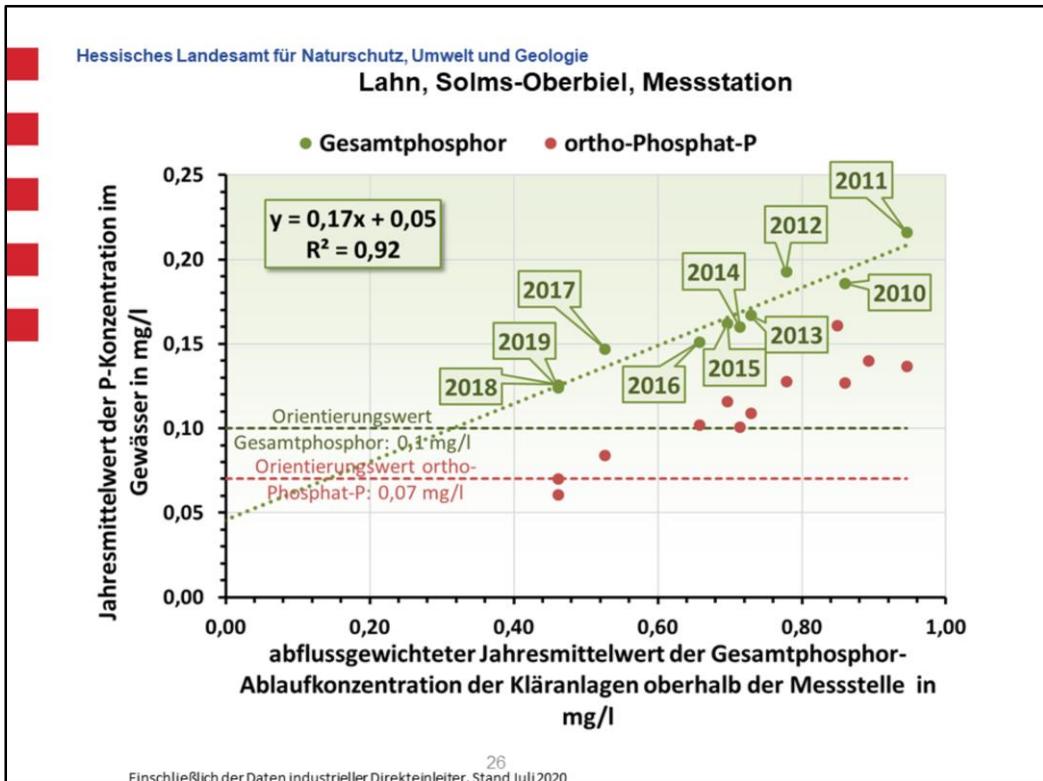
Die Übersicht zeigt die Gleichung der Trendlinie mit Bestimmtheitsmaßen für die vier großen Einzugsgebiete geordnet nach Abwasseranteil. Je höher der Abwasseranteil ist, desto steiler ist tendenziell die Geraden-Steigung, da sich durch die geringere Verdünnung Maßnahmen an Kläranlagen viel stärker auf das Fließgewässer auswirken.



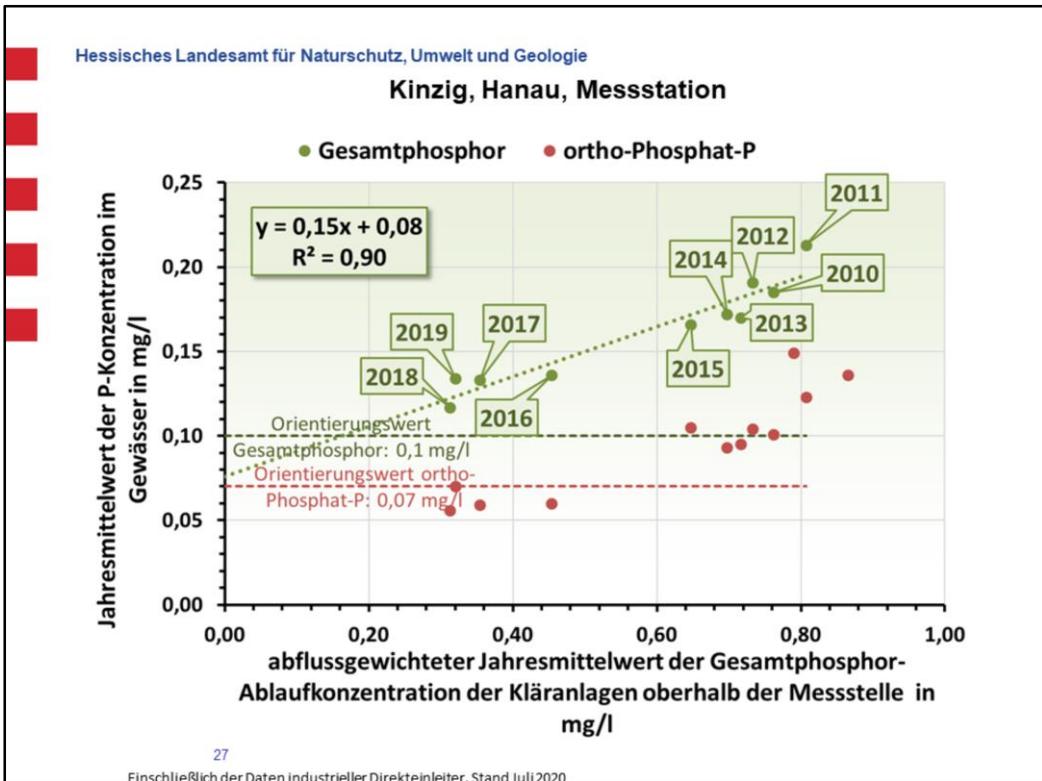
Darstellung zur Messstation Fulda, Wahnhausen mit Jahreskennzeichnung. Die Umsetzung der Maßnahmen seit 2015 führte zu einer deutlichen Verbesserung, die schrittweise an immer mehr Kläranlagen durchgeführt wurde. 2018 wurde der Orientierungswert für ortho-Phosphat-P bereits eingehalten, der 2019 durch die mangelnde Verdünnung im Zuge der Trockenheit wieder leicht überschritten ist.



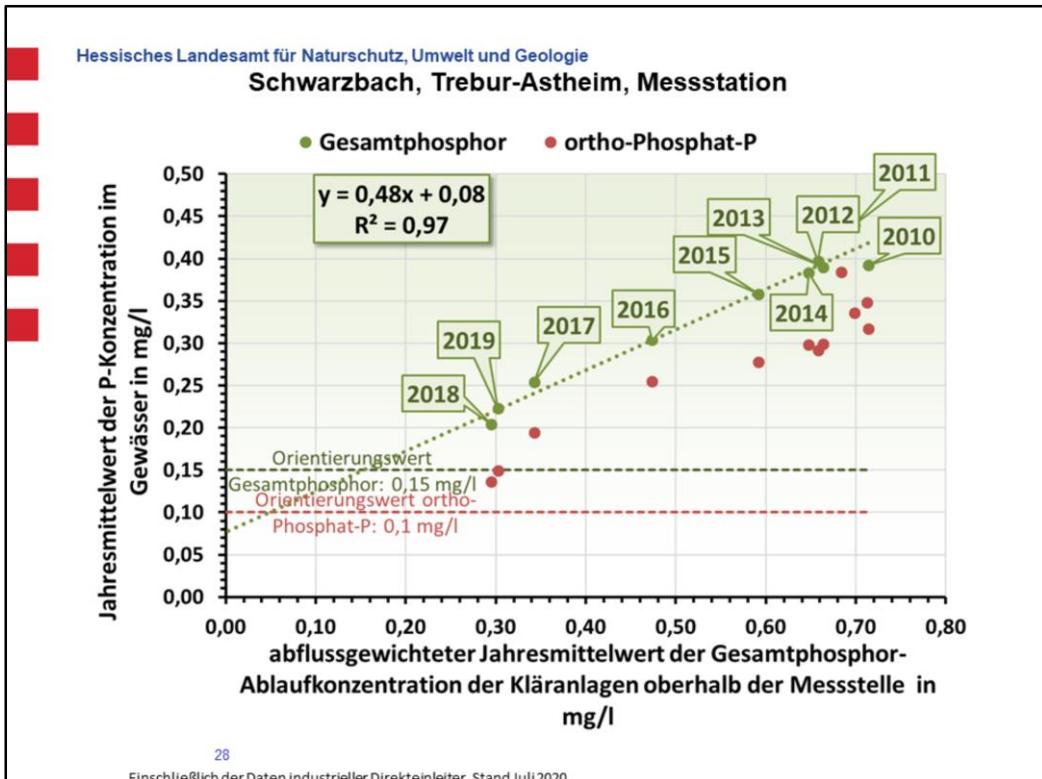
An der Messstation Nidda, Nied zeigt sich eine ähnliche Tendenz. Aufgrund des hohen Abwasseranteils wird sowohl der Orientierungswert für ortho-Phosphat-P als auch Gesamt-Phosphor noch überschritten. Die Konzentrationen konnten aber auch hier im Vergleich zum Zeitraum 2010-2012 stark reduziert werden.



An der Lahn bei Oberbiel wird der Orientierungswert für ortho-Phosphat-P seit 2018 eingehalten, der Orientierungswert für Gesamt-Phosphor ist weiterhin überschritten.



Die abflussgewichteten Gesamt-Phosphor-Konzentrationen der Kläranlagen oberhalb der Station bei Hanau genügen auch an der Kinzig den Orientierungswert für ortho-Phosphat-P seit 2016 einzuhalten.



Trotz der milderen Orientierungswerte am Schwarzbach kann weder der Orientierungswert für ortho-Phosphat-P noch Gesamt-Phosphor eingehalten werden. Dennoch hat sich auch hier bei den Kläranlagen im Rahmen der Maßnahmenumsetzung viel getan, sodass auch die Gewässerkonzentrationen kontinuierlich seit 2015 sanken.

**Phosphor (gesamt)-Frachten aus hessischen kommunalen Kläranlagen (ohne Einleiter in Rhein und Wisper)**

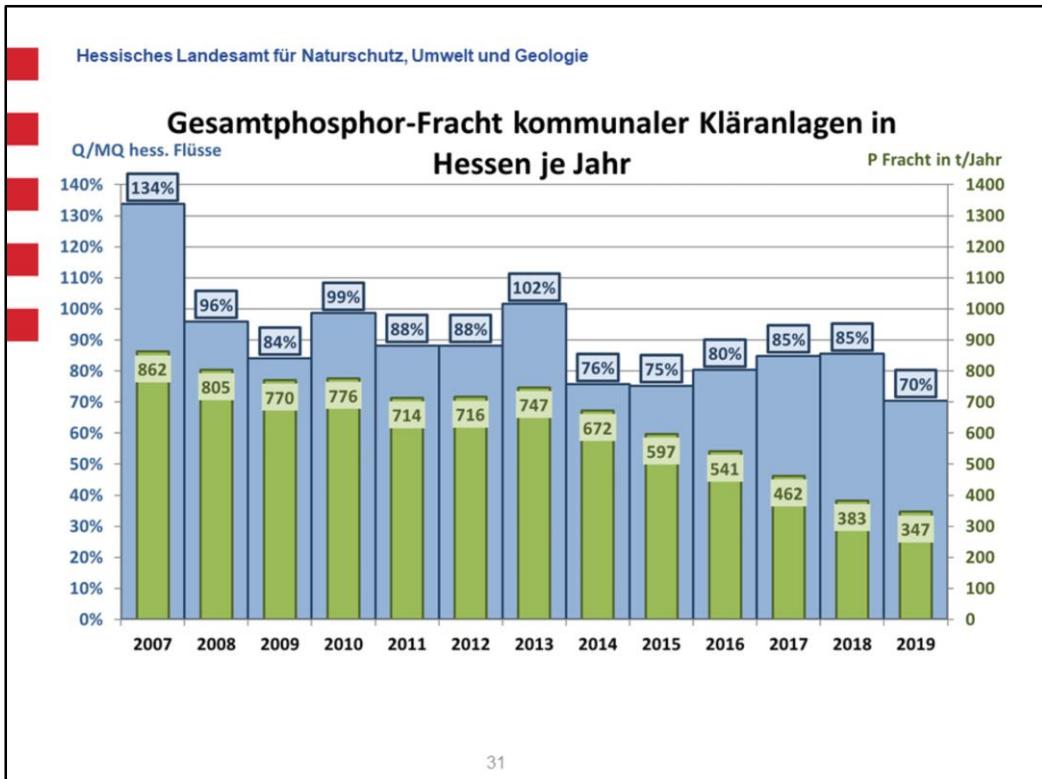
KA Größenklassen	Vergleichs-Zeitraum P-Fracht Ø 2010-2012 [t/a]	Aktuell P-Fracht 2019 [t/a]	Änderung Fracht [%]
1	35	29	-17%
2	159	71	-55%
3	89	42	-53%
4	321	121	-62%
5	113	69	-39%
<b>Summe</b>	<b>717</b>	<b>332</b>	<b>-54%</b>

Im Vergleich zum Zeitraum 2010 – 2012 (d.h. vor Umsetzung der Maßnahmen) hat sich die Summe der Phosphorfrachten aus hessischen kommunalen Kläranlagen um mehr als die Hälfte verringert. Die stärksten Reduktionen gehen auf kommunalen Kläranlagen der Größenklasse 4 zurück. Kläranlagen mit Einleitung in Rhein und Wisper sind ausgenommen, da hier keine phosphorbedingten ökologischen Defizite vorlagen und auf den Rhein kein Unterlauf mehr folgt.

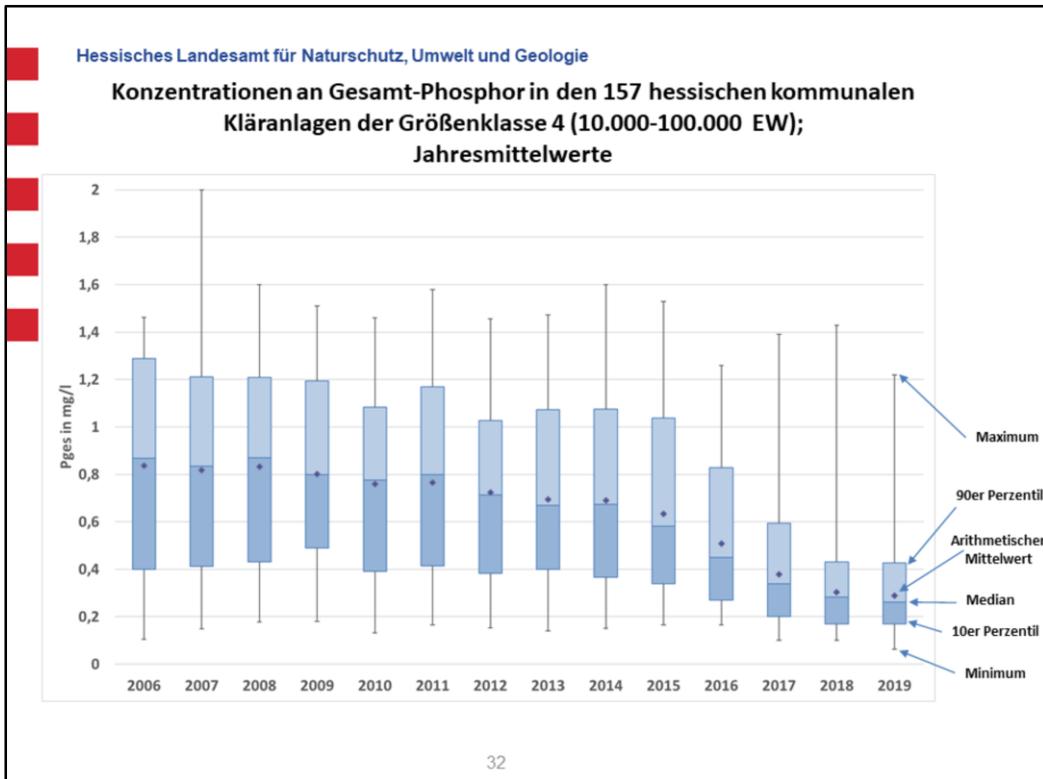
### Erwartete Verringerung der ortho-Phosphat-P-Konzentrationen durch die geplanten Maßnahmen an Kläranlagen

	Ø Konzentration 2010-2012 [mg/l]	Ø Prognose [mg/l]	Änderung [%]
Fulda /Wahnhausen	0,122	0,074	- 39%
Lahn/Oberbiel	0,131	0,077	- 41%
Nidda/Nied	0,233	0,091	- 61%
Kinzig/Hanau	0,127	0,082	- 35%

Nach Umsetzung der Maßnahmen wird bei den vier für Frachtbilanzierungen ausgewählten Einzugsgebieten nach Prognoserechnung eine Verringerung der ortho-Phosphat-P-Konzentration in Fließgewässern erwartet, sodass bei Fulda, Lahn und Kinzig die Orientierungswerte nahezu erreicht werden können. Aufgrund des hohen Abwasseranteils liegt die ortho-Phosphat-P-Prognose trotz der Verbesserung zum Wert im Zeitraum 2010 – 2012 im Nidda-Einzugsgebiet noch nicht nahe am Orientierungswert.

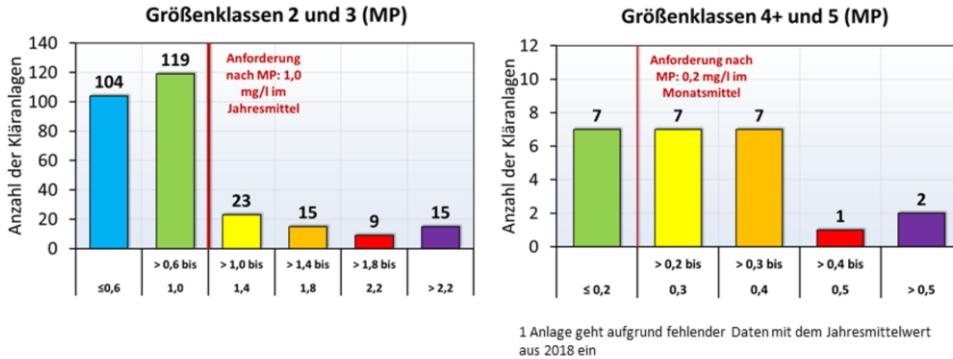


Seit 2015 ist ein Rückgang der Gesamt-Phosphorfracht kommunaler Kläranlagen erkennbar. Die Abbildung zeigt, dass die Verringerung der Fracht trotz relativ niedriger Abflussverhältnisse stattfand.



Dies ist auch an den Gesamt-Phosphor-Konzentration im Ablauf der hessischen Kläranlagen mit Größenklasse 4 erkennbar. Anhand des Boxplots ist ersichtlich, dass der Median und Mittelwert seit 2015 kontinuierlich sinken.

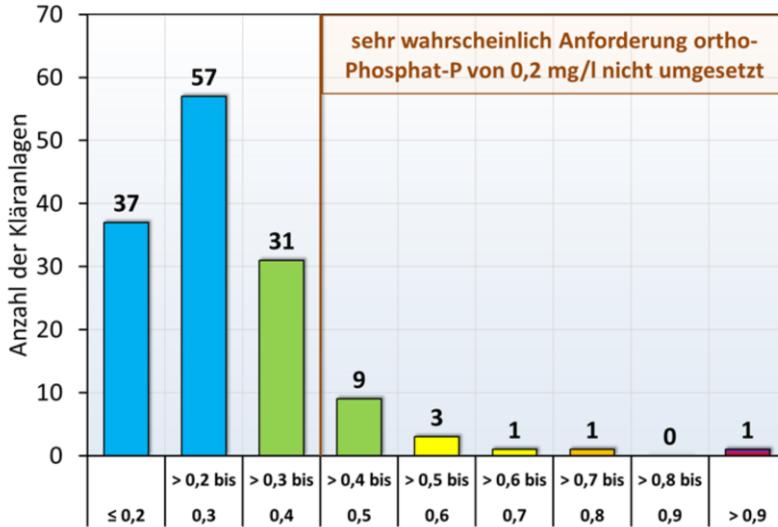
## Häufigkeitsverteilungen kommunaler hessischer Kläranlagen - Jahresmittelwerte 2019 der Gesamt-Phosphor- Ablaufkonzentrationen (mg/l)



Im Jahr 2019 konnten bereits 223 Kläranlagen der Größenklasse 2 und 3 (Anhang 6 MP 2015-2021) die Anforderung von 1,0 mg/l im Jahresmittel einhalten. Nur rund 20 % der Anlagen liegen noch oberhalb der Anforderung. Für die Größenklassen 4+ und 5 überschreiten noch ca. 70 % der Anlagen einen Wert von 0,2 mg/l.

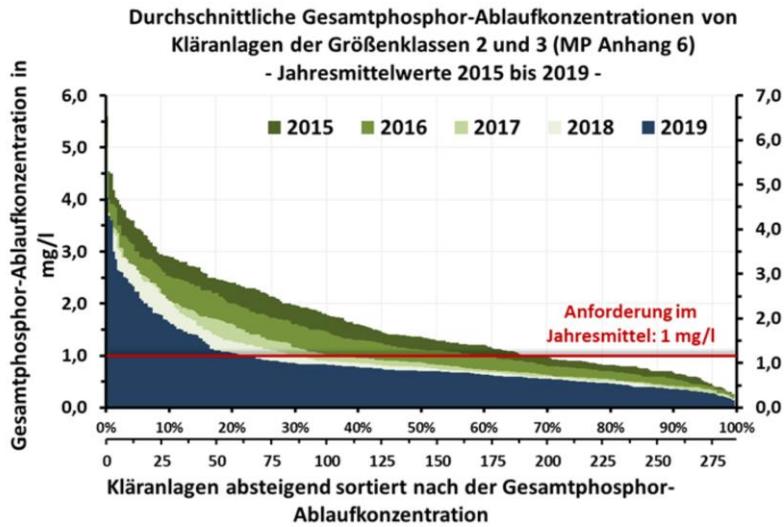
## Häufigkeitsverteilungen kommunaler hessischer Kläranlagen - Jahresmittelwerte 2019 der Gesamt-Phosphor- Ablaufkonzentrationen (mg/l)

### Größenklasse 4 (MP)

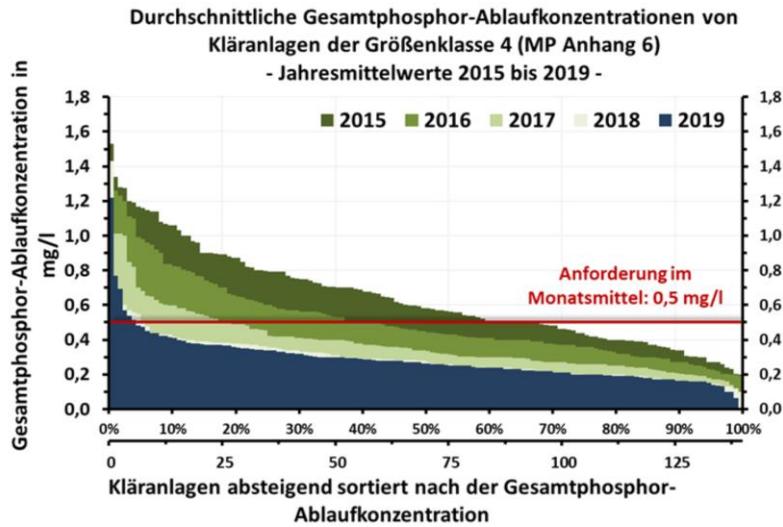


1 Anlage geht aufgrund fehlender Daten mit dem Jahresmittelwert aus 2018 ein

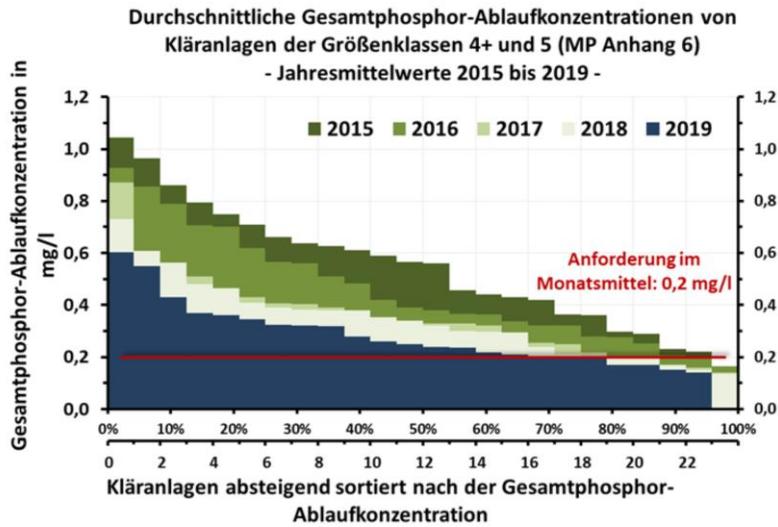
Die Häufigkeitsverteilung der im Rahmen der Eigenkontrollverordnung gemeldeten Gesamt-Phosphor-Ablaufkonzentrationen zeigt, dass bereits 134 Anlagen (ca 95%) maximal bei 0,5 mg/l liegen.



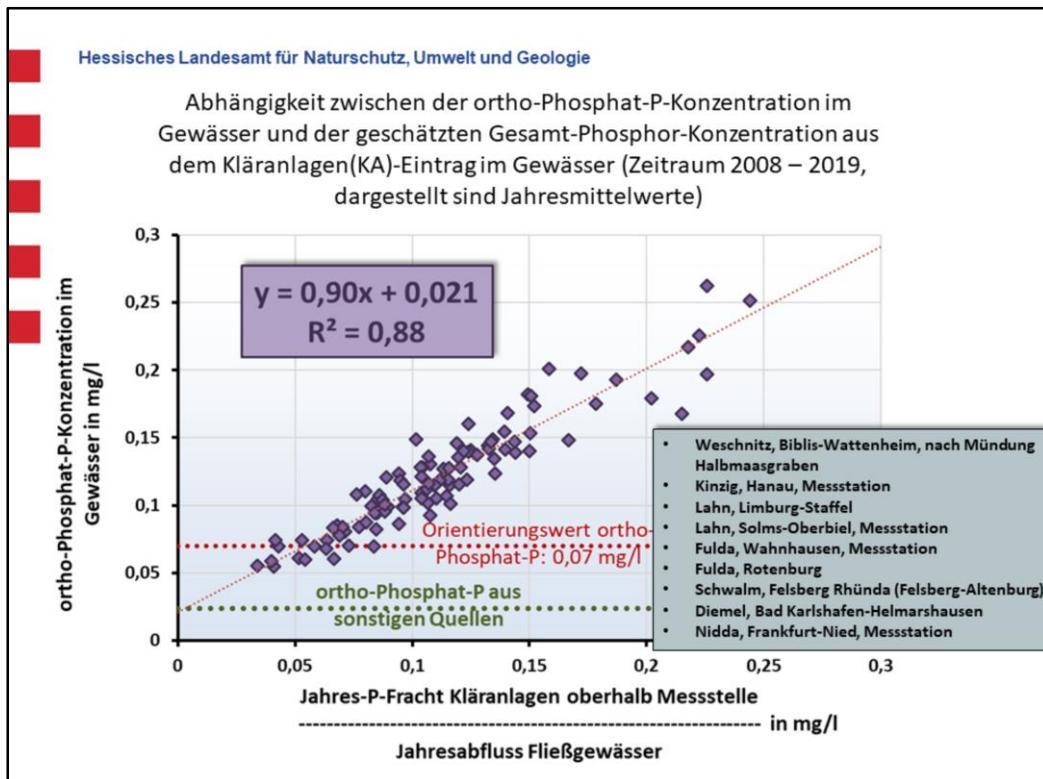
Die Abbildung vergleicht die nach Größe sortierten betrieblichen Gesamt-Phosphor Ablaufkonzentration der Anlagen der GK 2 und 3 nach Anhang 6 (MP 2015-2021) im Zeitraum 2015 bis 2019. Der im Rahmen der Eigenkontrollverordnung berichtete Jahreswert von ca. 80 % der Anlagen hält bereits einen Wert von 1,0 mg/l ein. Die schrittweise Umsetzung der Maßnahmen führte zu einer Verringerung des Konzentrationsniveau seit 2015.



Die Abbildung vergleicht die nach Größe sortierten betrieblichen Gesamt-Phosphor Ablaufkonzentration der Anlagen der GK 4 nach Anhang 6 (MP 2015-2021) im Zeitraum 2015 bis 2019. Der im Rahmen der Eigenkontrollverordnung berichtete Jahreswert von ca. 95 % der Anlagen hält bereits einen Wert von 0,5 mg/l ein. Auch bei Größenklasse 4 reduzierten sich die Jahresmittelwerte sichtbar seit 2015.



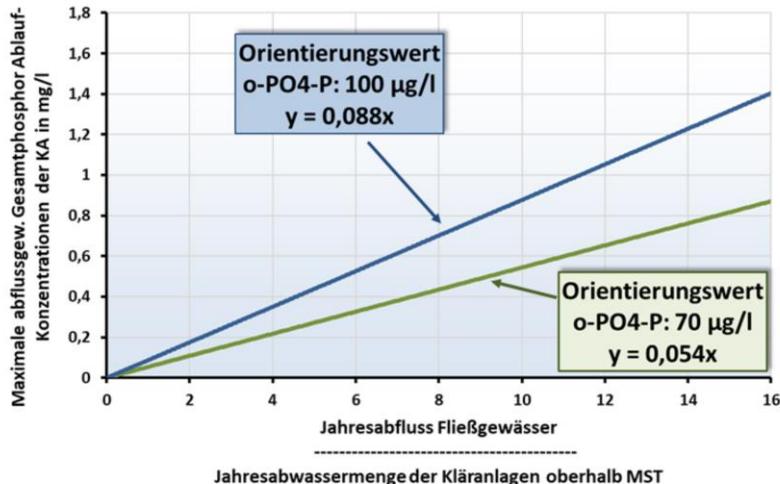
Die Abbildung vergleicht die nach Größe sortierten betrieblichen Gesamt-Phosphor Ablaufkonzentration der Anlagen der GK 4+ und 5 nach Anhang 6 (MP 2015-2021) im Zeitraum 2015 bis 2019. Inzwischen erreichen rund 30 % der Anlagen mit dem betrieblichen Jahreswert die Anforderungen von 0,2 mg/l. 2015 erreichte nur eine Anlage diesen Wert.



Dargestellt ist die Abhängigkeit zwischen der ortho-Phosphat-P-Konzentration im Gewässer und der geschätzten Phosphorkonzentration im Gewässer, die auf den Kläranlagen-Eintrag zurückführbar ist (Quotient aus der Gesamt-Phosphorfracht von kommunalen und industriellen Kläranlagen oberhalb der jeweiligen MST zum Jahresabfluss im Gewässer). Der lineare Zusammenhang wird durch das Bestimmtheitsmaß von 0,88 deutlich. Grundlage sind Kläranlagen- und Fließgewässerdaten von neun Überblicksüberwachungs-Messstellen mit gutem Pegel und geringem bis gar keinem Anteil nicht-hessischer Kläranlagen aus dem Zeitraum 2008 bis 2019.

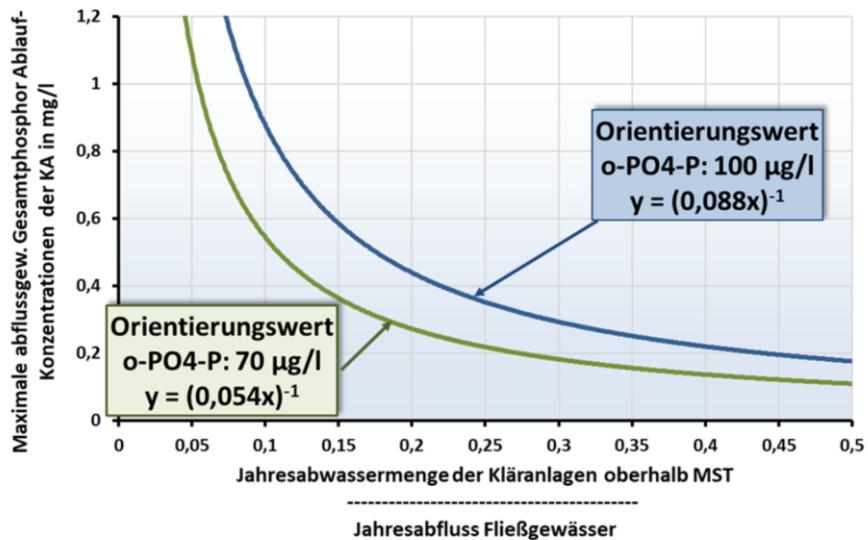
Die daraus resultierende Trendlinie zeigt, dass Reduktionen bei Kläranlagen sich unmittelbar auf die Gewässerkonzentration von ortho-Phosphat-P auswirken. Der Schnittpunkt mit der y-Achse markiert rechnerisch den Restbetrag aus anderen Quellen für ortho-Phosphat-P (z.B. Landwirtschaft, Mischwasserentlastungen, etc.).

Notwendige abflussgewichtete P-Gesamt-Ablaufkonzentration der Kläranlagen, um bei verschiedenen Verdünnungsverhältnissen im Fluss den Orientierungswert für ortho-Phosphat-P von 70 µg/l bzw. 100 µg/l als Jahresmittelwert einzuhalten



Auf Grundlage der Trendlinie lässt sich eine maximale Gesamt-Phosphor-Ablaufkonzentration (abflussgewichtet) für Kläranlagen im Einzugsgebiet der jeweiligen Messstelle ermitteln, bei der der Orientierungswert für ortho-Phosphat-P rechnerisch noch eingehalten wird. Die Abbildung stellt diese in Abhängigkeit zum Verdünnungsfaktor dar. Hierbei wird noch zwischen den für Gewässertyp 19 geltenden Orientierungswert von 100 µg/l und den in restlichen Fließgewässertypen geltenden Orientierungswert von 70 µg/l für ortho-Phosphat-P unterschieden. Um den strengeren Orientierungswert einzuhalten, sind auch strengere Anforderungen an Kläranlagen notwendig. Je mehr das Abwasser der Kläranlagen im Fließgewässer verdünnt wird (d.h. mit steigenden Verdünnungsfaktor aus Jahresabfluss Fließgewässer / Jahresabwassermenge der Kläranlagen oberhalb der Messstelle), desto weniger streng sind die Anforderungen an die notwendige abflussgewichtete Gesamt-Phosphor-Ablaufkonzentrationen der Kläranlagen im Einzugsgebiet, um den Orientierungswert einhalten zu können.

Notwendige abflussgewichtete P-Gesamt-Ablaufkonzentration der Kläranlagen, um bei verschiedenen Abwasseranteilen im Fluss den Orientierungswert für ortho-Phosphat-P von 70 µg/l bzw. 100 µg/l als Jahresmittelwert einzuhalten



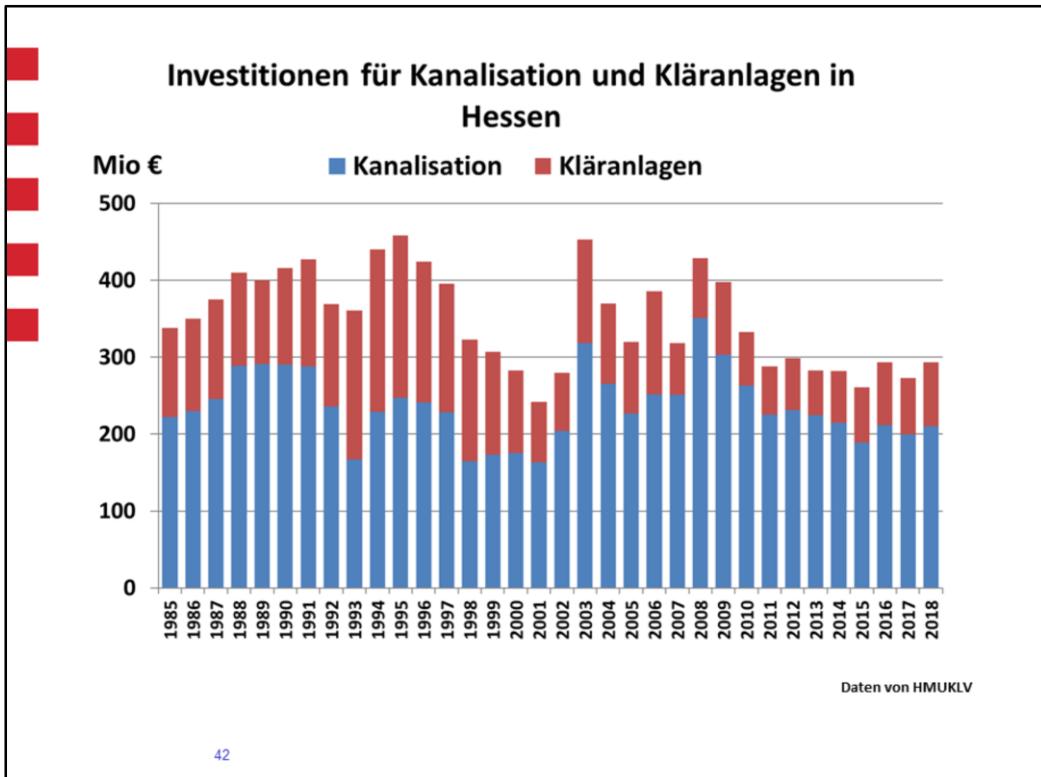
Der Kehrwert des Verdünnungsfaktors ergibt den Abwasseranteil. Je höher der Abwasseranteil ist, desto geringer ist die maximale Konzentration, die Kläranlagen einleiten dürfen, ohne den Orientierungswert zu überschreiten.

## Mittlere Phosphor-Ablaufwerte deutscher Kläranlagen 2018

-Abflussgewichtete Jahresmittelwerte-

DWA-Landesverband	Anzahl Kläranlagen	P-Konzentration [mg/l]
Bodensee	21	0,29 (2008)
Nordrhein-Westfalen	476	0,42
Baden-Württemberg	898	0,42
Nord	521	0,54
Nord-Ost	289	0,53
Hessen/Rheinland-Pfalz/Saarland	1190	0,61
<i>Hessen (HLNUG-Rechnung)</i>	<i>712</i>	<i>0,48</i>
Bayern	1585	0,78
Sachsen/Thüringen	503	0,86
DWA-Gesamt	5462	0,56
allein durch optimierte P-Fällung erreichbar		0,2 - 0,5
durch zusätzliche Filtration erreichbar (vielfach an Schweizer Seen)		0,1 - 0,15

Hessen geht mit 712 Kläranlagen in die DWA-Statistik ein und wird mit Rheinland-Pfalz und dem Saarland zusammengefasst. Betrachtet man nur Hessen, liegt es mit einer abflussgewichteten Phosphorkonzentration von 0,48 mg/l (für 2018) an vierter Position der DWA-Landesverbände.



Die Abbildung zeigt die Investitionskosten hessischer Betreiber in Kläranlagen und Kanalisation seit 1985. In den letzten Jahren waren die Investitionen in Kläranlagen trotz der Umsetzung des Maßnahmenprogramms zu Phosphor auf einen niedrigen Niveau. Dies verdeutlicht, dass das Phosphorprogramm nach MP 2015-2021 relativ kostengünstig ist.