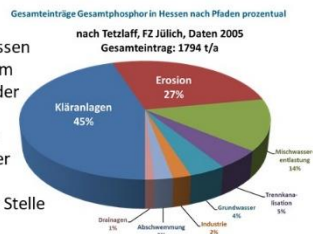


Programm zur Reduzierung der Phosphoreinträge in hessische Fließgewässer – Hintergründe und Ergebnisse

Dr. Peter Seel, Niedernhausen, Vortrag DWA Landesverbandstagung Nord, August 2019

- Die Phosphorkonzentrationen in deutschen Fließgewässern sind überwiegend zu hoch. Dies ist einer der Gründe, warum der gesetzlich geforderte „gute ökologische Zustand“ noch nicht erreicht ist.

- Bisher haben sich die Bundesländer hauptsächlich an Modellierungsergebnissen (MONERIS, MePhos, More) orientiert, um geeignete Maßnahmen zur Minderung der Phosphoreinträge zu planen.
- Die bisherigen Modellergebnisse zeigen übereinstimmend einen hohen Anteil der Einträge aus der Landwirtschaft; die Kläranlagen kommen oft erst an zweiter Stelle mit Anteilen von 30–40%.



In Deutschland gilt der zu hohe Phosphorgehalt in Fließgewässern als einer der Gründe, warum die Tier- und Pflanzenwelt dort nicht die gesetzlich geforderte Qualität erreicht. Daher hat der Gesetzgeber in der Oberflächengewässerverordnung so genannte Orientierungswerte als mittlere Jahreskonzentrationen im Gewässer festgelegt, die i. d. R. unterschritten sein müssen, damit es nicht zu ökologischen Defiziten kommt. Diese Werte sind gewässertypspezifisch unterschiedlich. Um geeignete Maßnahmen ergreifen zu können, bedienen sich die zuständigen Bundesländer oft verschiedener Modellrechnungen, um die quantitative Bedeutung der einzelnen Eintragspfade abzuschätzen. Diesen ist gemeinsam,

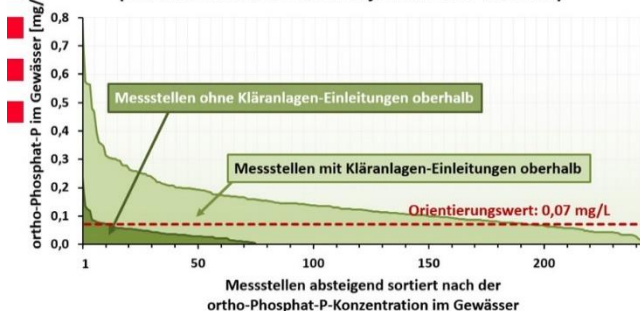


Dr. Peter Seel, DWA-Nord, Landesverbandstagung August 2019



dass in der Regel der Landwirtschaft die größte prozentuale Verantwortung zugesprochen wird, während die kommunalen Kläranlagen erst an zweiter Stelle kommen.

Ortho-Phosphat-P-Gewässerkonzentration an Messstellen differenziert nach dem Kläranlagen-Einfluss (Durchschnitt aus drei Messjahren 2010 bis 2016)



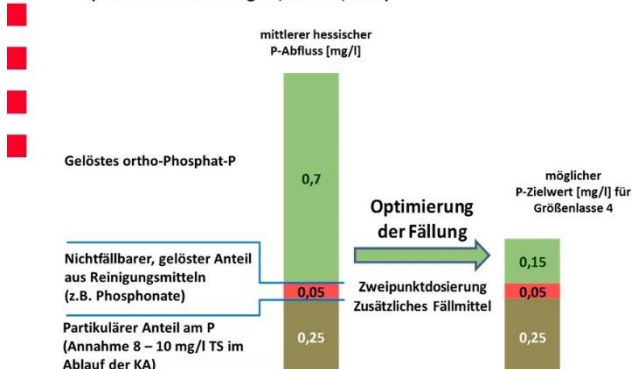
Im HLNUG bestanden seit vielen Jahren Zweifel, dass die Modellergebnisse realistisch sind. So haben die Gewässermessstellen, bei denen Kläranlagen oberhalb einleiten, ein deutlich höheres Konzentrationsniveau als Messstellen ohne Kläranlageneinfluss. Von letzteren überschreiten nur ca. 10% den Orientierungswert für den biologisch verfügbaren ortho-Phosphat-Phosphor. Und bei der Untersuchung in diesen 10% zeichnet sich immer mehr ab, dass auch hier die Ursachen in der Abwasserentsorgung liegen (marode Mischwasserentlastung, Kanalrohr aus Siedlungsgebiet, nicht erfasste gewerbliche Einleitung). Daher hat sich das HLNUG seit mehr als zehn Jahren auf die Rolle der Kläranlagen beim Phosphoreintrag konzentriert.



Dr. Peter Seel, DWA-Nord, Landesverbandstagung August 2019



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



Eine Kostenstudie der EAWAG von 2008, die schon vor mehr als 25 Jahren die Grundlagen für die weitestgehende P-Eliminierung in Teilen der Schweiz gelegt hat, zeigte, dass mit sehr geringem finanziellen Aufwand der ortho-Phosphat-Anteil im Kläranlagenablauf deutlich reduziert werden kann, während der partikelgebundene Phosphor, wenn alle Verbesserungen der Nachklärung ausgeschöpft sind, nur mit der teureren Filtration weiter reduziert werden kann. Erst später zeigte sich, dass der partikuläre P-Anteil bei den meisten Anlagen kleiner ist als in der Studie ursprünglich angenommen. Auf Basis der Studie gab es ein erstes Maßnahmenprogramm zur Reduzierung der P-



Dr. Peter Seel, DWA-Nord, Landesverbandstagung August 2019



Emissionen von kommunalen Kläranlagen in Hessen (2009–2015), an dem sich Kläranlagen freiwillig beteiligen konnten und das deshalb nur sehr begrenzt umgesetzt wurde.

Hessische Anforderungen zur P-Elimination an kommunalen Kläranlagen Maßnahmenprogramm 2015-2021



Größen- klasse	Anzahl betroffener KA (neue Bescheidswerte)	Anforderungen gemäß Maßnahmenprogramm 2015-2021
5	8	P_{ges} (2 h-Probe), Überwachungswert (abgaberelevant): 0,4 mg/l
4	16 Sonderfälle bei hochbelasteten Bächen, empfindlichen Talsperren	Arithm. Monatsmittel P_{ges} aus allen 24h-Proben der Eigenkontrolle: 0,2 mg/l
	140 Alle übrigen Anlagen der Größenklasse 4	P_{ges} (2 h-Probe), Überwachungswert (abgaberelevant): 0,7 mg/l
		Arithm. Monatsmittel P_{ges} aus allen 24h-Proben der Eigenkontrolle: 0,5 mg/l Grenzwert für ortho-Phosphat-P (24 h-Probe): 0,2 mg/l
2 und 3	292	P_{ges} (2 h-Probe), Überwachungswert (abgaberelevant): 2,0 mg/l Ziel P_{ges} : Jahresmittelwert von 1,0 mg/l

Dr. Peter Seel, DWA-Nord, Landesverbandstagung August 2019



Zusatzkosten an Kläranlagen durch P-Maßnahmen gemäß hessischem Maßnahmenprogramm 2015-2021



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

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

Dr. Peter Seel, DWA-Nord, Landesverbandstagung August 2019



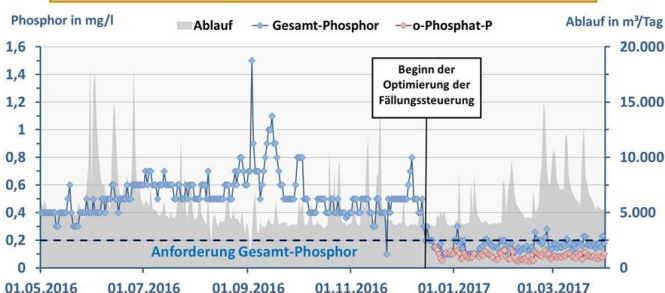
diesem Programm Vorgaben für Kläranlagen der GK 1 zu machen. Insgesamt war das Programm nicht daran ausgerichtet, die Orientierungswerte für P in allen hessischen Fließgewässern zu unterschreiten. Es sollte vielmehr ein erster großer Schritt sein, um später auf einer besseren Datengrundlage nachsteuern zu können. Nach anfänglicher Skepsis konnten auch die Betreiber weitgehend überzeugt werden, dass die Vorgaben bei i. d. R. geringen Kosten machbar sind. Neben der Möglichkeit der Verrechnung der Investitionen gibt es zudem ein Förderprogramm des Landes.

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



Dr. Peter Seel, DWA-Nord, Landesverbandstagung August 2019

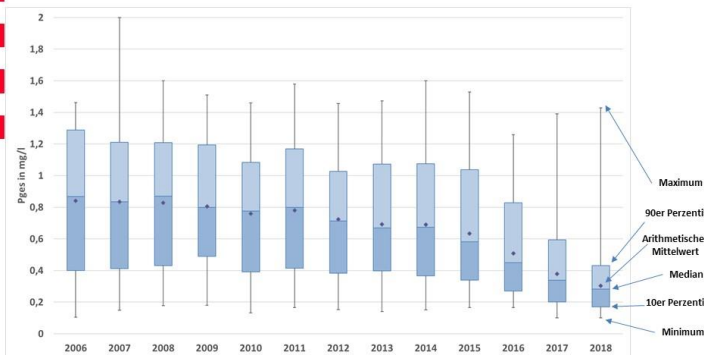


Daher hat die Landesregierung auf Vorschlag des HLNUG beschlossen, in einem neuen Maßnahmenprogramm gemäß Wasserrahmenrichtlinie 2015-2021 neue Anforderungen ordnungsrechtlich durch neue Einleitbescheide durchzusetzen. Die strengsten Anforderungen mit Monatsmittelwerten von 0,2 mg/l P gelten für die großen Anlagen GK 5 und für GK 4-Anlagen, die in besonders abwasserreiche oder sensible Gewässer einleiten; hier wurde bei Festlegung in Kauf genommen, dass ggf. eine Filtration installiert werden muss. Die größte Frachtreduzierung war bei den GK 4-Anlagen zu erwarten. Um hierbei aber möglichst zu vermeiden, dass Filtrationsanlagen gebaut werden müssen, wurden nur moderate, für die Gewässer unzureichend strenge Gesamtphosphorwerte festgelegt, aber zusätzlich ein Grenzwert für ortho-Phosphat in der 24h-Probe eingeführt, der die Betreiber zu einer stetig guten kostengünstigen P-Fällung bringen sollte. Bei den kleineren Anlagen der GK 2 und 3, die in Hessen 2014 i. d. R. noch keine Fällungseinrichtung hatten, wurden aus Rücksichtnahme gegenüber den Betreibern zunächst nur schwache Vorgaben gemacht in der Absicht, bei Bedarf in einem neuen Programm 2021-2027 bei den dann bestehenden Fällungseinrichtungen die Auflagen zu verschärfen. Wegen der schlechteren Kosteneffizienz wurde darauf verzichtet, in

Es zeigte sich bei der Umsetzung, dass sehr oft relativ schnell deutliche Verbesserungen an den Anlagen erreichbar waren. Erreicht wird dies durch eine höhere Fällmittelmenge und eine optimale Einmischung des Fällmittels. Sinnvoll zur Erzielung sehr niedriger Ablaufwerte ist die Installation einer Zweipunktfällung. Bei sehr guter Nachklärung, ggf. durch konventionelle Maßnahmen wie hydraulischer Berechnung oder durch ein optimiertes Einlaufbauwerk unterstützt, können sogar die schärferen Vorgaben von 0,2 mg/l im Monatsmittel ohne eine Filtration eingehalten werden.



Konzentrationen an Gesamtphosphor in den 157 hessischen kommunalen Kläranlagen der Größenklasse 4 (10.000-100.000 EW); Jahresmittelwerte



Die Programmziele waren bereits 2018 an dem überwiegenden Teil der Kläranlagen erfüllt. Es zeigte sich zum Beispiel bei der GK 4, dass bei über 60% der Anlagen Jahresmittelwerte kleiner als 0,3mg/l erzielt werden konnten. Dort, wo die Vorgaben noch nicht umgesetzt sind, gibt es z. T. größeren generellen Sanierungsbedarf der Kläranlage oder es liegen administrative Probleme bei Betreiber oder zuständiger Behörde vor. Besondere technische Probleme, die niedrigen Ablaufwerte zu erzielen, sind bisher nicht erkennbar.



Dr. Peter Seel, DWA-Nord, Landesverbandstagung August 2019

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

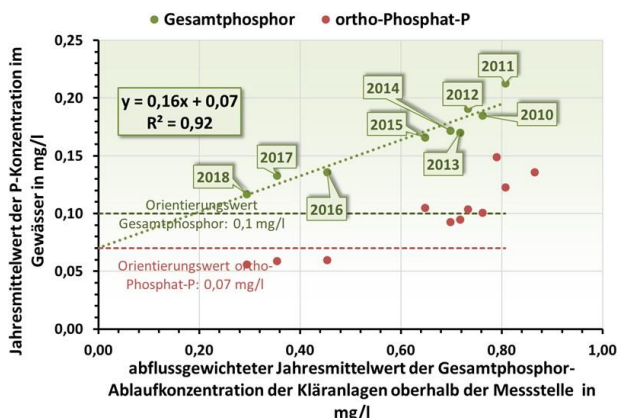
KA Größenklassen	Vergleichs-Zeitraum P-Fracht Ø 2010-2012 [t/a]	Aktuell P-Fracht 2018 [t/a]	Änderung Fracht [%]
1	35	32	-9%
2	159	82	-48%
3	89	46	-48%
4	321	125	-61%
5	113	88	-22%
Summe	717	373	-48%

Die P-Frachten der hessischen kommunalen Kläranlagen konnten im Vergleich zum Zeitraum 2010-2012 um 48% reduziert werden, wobei der größte Beitrag durch die Anlagen der GK 4 erfolgte. Bei den Anlagen mit den schärfsten Vorgaben (GK 5 und einige GK 4-Anlagen), wo z. T. größere bauliche Maßnahmen notwendig sind, gibt es z. T. erhebliche zeitliche Verzögerungen. Dies gilt insbesondere für die größere der Frankfurter Anlagen (1,35 Mio EW), die den dominierenden Frachtbeitrag in der GK 5 liefert.



Dr. Peter Seel, DWA-Nord, Landesverbandstagung August 2019

Kinzig, Hanau, Messstation

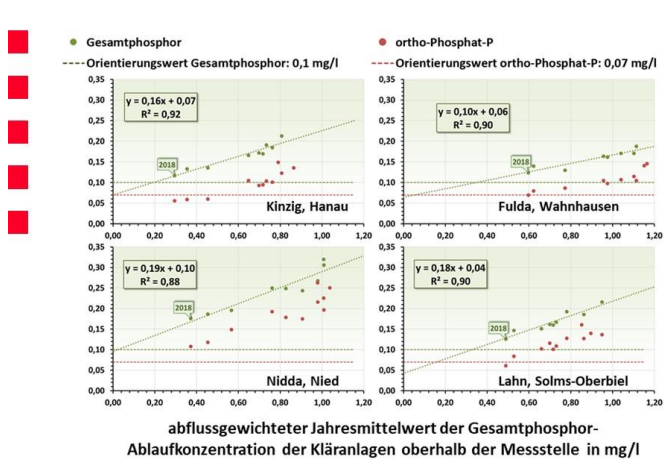


Die nun seit mehreren Jahren fortlaufende Verringerung der P-Konzentrationen in den Kläranlagenabläufen und den Fließgewässern erlaubt es, die Abhängigkeiten insbesondere in den Flüssen zu erfassen, die über Messstationen mit hoher Messfrequenz verfügen und bei denen die Kläranlagendaten gut verfügbar sind, weil sie (fast) vollständig in Hessen liegen. Dies sind Fulda, Lahn, Nidda, Kinzig und Schwarzbach (Ried). Die Einzugsgebiete oberhalb der betrachteten Messstationen reichen von 445 km² beim Schwarzbach bis zu knapp 7000 km² bei der Fulda und umfassen insgesamt mehr als 60 % der hessischen Landesfläche. Trägt man die abflussgewichtete mittlere Konzentration aller Kläranlagen oberhalb der Messstation (Summe



Dr. Peter Seel, DWA-Nord, Landesverbandstagung August 2019

der Jahres-P-Frachten dividiert durch die Summe der Jahresabflüsse) gegen die jeweiligen Mittelwerte der Gesamtphosphor-Konzentrationen im Gewässer an der Messstation auf, lassen sich Ausgleichsgeraden mit einem Bestimmtheitsmaß R^2 von ca. 0,9 erstellen. Es besteht also ein linearer Zusammenhang zwischen der mittleren Konzentration der Kläranlagen und der im Gewässer. Dadurch ist es möglich anzugeben, welche Kläranlagenkonzentrationen notwendig sind, um die Orientierungswerte zu



Dr. Peter Seel, DWA-Nord, Landesverbandstagung August 2019



unterschreiten. Am Beispiel der Kinzig, wo die Kläranlagen (fast alle GK 4) besonders schnell optimiert werden konnten, ist nun seit mehr als drei Jahren der Orientierungswert für ortho-Phosphat unterschritten. Um bei mittleren Wetterverhältnissen den Orientierungswert für Gesamtposphor zu unterschreiten, müsste die mittlere P-Konzentration im Ablauf der Kläranlagen auf ca. 0,2 mg/l reduziert werden. Der Achsenabschnitt der Y-Achse zeigt mit 70 µg/l den Beitrag aller anderen P-Einträge in das Gewässer und liegt deutlich unter dem Orientierungswert.



Geraden-Steigung: mittlerer Abwasseranteil an Messstation

Fulda:	$y = 0,10x + 0,06$	$R^2 = 0,90$
Kinzig:	$y = 0,16x + 0,07$	$R^2 = 0,92$
Lahn:	$y = 0,18x + 0,04$	$R^2 = 0,90$
Nidda:	$y = 0,19x + 0,10$	$R^2 = 0,88$
Schwarzbach:	$y = 0,51x + 0,06$	$R^2 = 0,95$

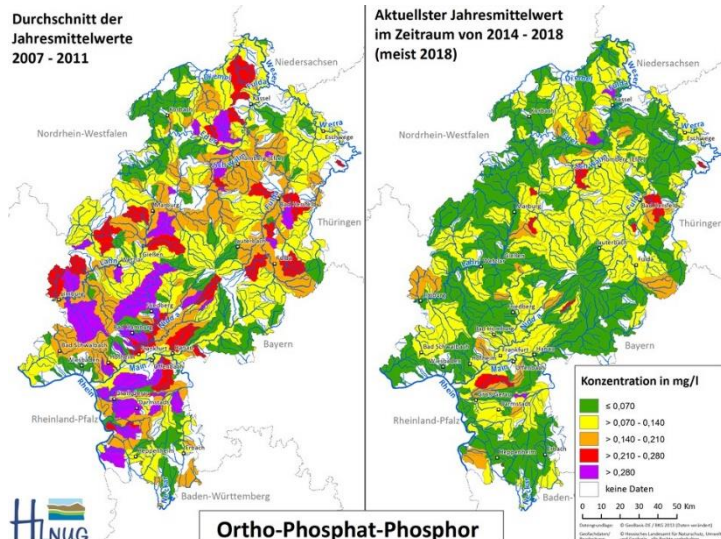
Y-Achsenabschnitt = Beitrag aller anderen Phosphor-Einträge



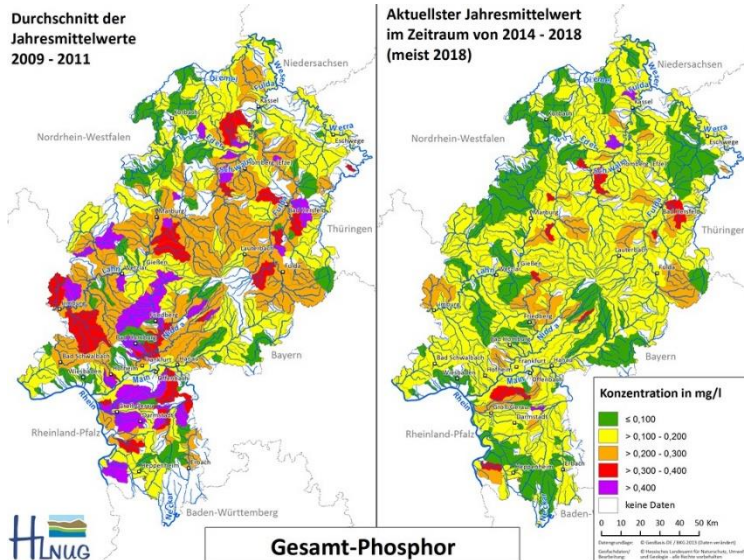
Dr. Peter Seel, DWA-Nord, Landesverbandstagung August 2019



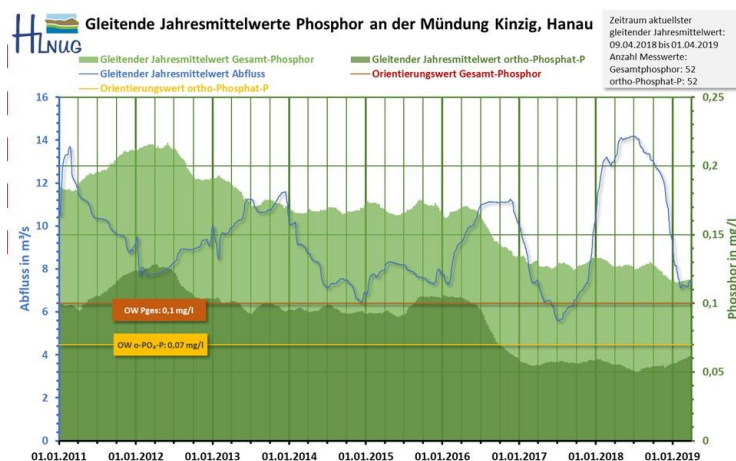
Die Steigung der Geraden ist ein Maß für den Abwasseranteil im zeitlichen Mittel. Bei der Fulda als Fluss mit der geringsten Siedungsdichte und dementsprechend dem niedrigsten Abwasseranteil wäre z. B. ein Kläranlagenablauf von ca. 0,35 mg/l ausreichend niedrig, um den Orientierungswert zu erreichen. Diese Ergebnisse zeigen, dass sich die P-Konzentration im Gewässer im Wesentlichen aus der Verdünnung der Kläranlagenabläufe ergibt. Im Unterschied zum Mittelgebirgsraum gibt es im norddeutschen Tiefland häufiger Ackerbau in ehemaligen Mooregebieten und der in Zersetzung befindliche Torf setzt über Drainagen Phosphor frei. Dies kann die Hintergrundbelastung erhöhen (Y-Achsenabschnitt), würde aber nichts an dem Beitrag der Kläranlagen ändern.



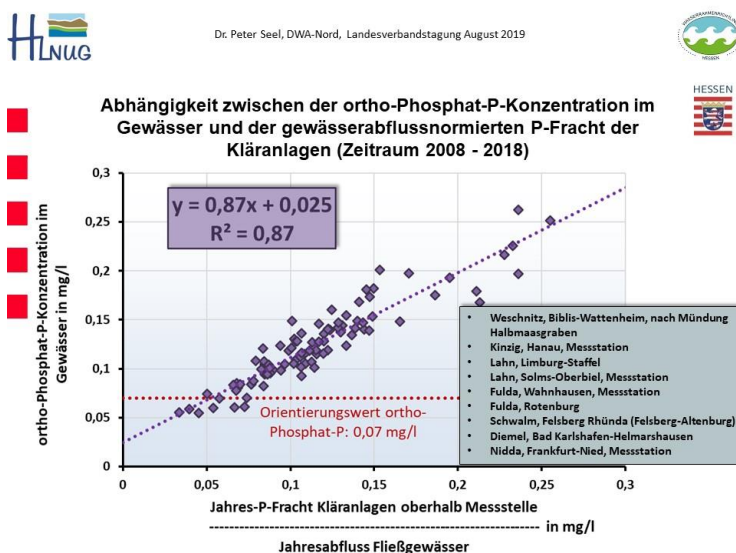
Die bisher an Kläranlagen durchgeführten Maßnahmen haben flächendeckend zu einer deutlichen Reduzierung der mittleren Konzentrationen an ortho-Phosphat geführt; zum Teil sind die Orientierungswerte bereits unterschritten. Noch immer vorhandene höhere Konzentrationen in einzelnen Gewässern können in i. d. R. darauf zurückgeführt werden, dass dort die Maßnahmen noch nicht vollständig umgesetzt sind. Die Orientierungswerte konnten auch dann nicht unterschritten werden, wenn der Anteil von kleineren Kläranlagen der GK 1 bis 3 an der Gesamtfracht relativ hoch ist; hier sind die bisherigen Anforderungen nicht ausreichend.



Auch bei Gesamtphosphor gibt es deutliche Verbesserungen. Diese sind prozentual aber nicht so groß wie bei ortho-Phosphat, da es eine von den Kläranlagen unabhängige Hintergrundbelastung mit feststoffgebundenem Phosphor aus dem Bodeneintrag in das Gewässer gibt. Dadurch nimmt auch der ortho-Phosphat-Anteil am Gesamtphosphat mit zunehmender Verbesserung im Gewässer ab. Die Kläranlagenmaßnahmen führen gezielt zu einer Reduktion von ortho-Phosphat; selbst die Emission partikulär gebundenen Phosphors führt temperaturabhängig besonders im Sommer zu einer Freisetzung von ortho-Phosphat, da die Partikel hauptsächlich aus Belebtschlamm bestehen, der biologisch abgebaut werden kann.



Darstellungen des Verlaufs des gleitenden Jahresmittelwertes für Gesamtphosphor und ortho-Phosphat-P zeigen, dass selbst extreme Wetterverhältnisse wie der sehr feuchte Winter 2017/2018 und der sehr trockene Sommer 2018 im Kurvenverlauf erkennbar sind, aber die Dominanz des Kläranlageneinflusses nicht ändern können.



Um für die kleineren Gewässer, in denen normalerweise nicht in einer so hohen Frequenz gemessen werden kann wie an den festen Messstationen, eine Aussage über die erforderlichen Verbesserungen an den Kläranlagen machen zu können, müssen die P-Frachten der Kläranlagen auf den Gewässerabfluss normiert werden. Dann lässt sich aus den Messdaten der in Hessen relativ intensiv untersuchten Flüssen ebenfalls eine lineare Beziehung erkennen. Der Achsenabschnitt liegt bei 25 µg/l; d. h. dies ist der Beitrag aller anderen Quellen zu der Konzentration mit ortho-Phosphat-P. Der Wert ist ähnlich hoch wie der Median aus den 75 untersuchten Bächen ohne Kläranlageneinfluss,

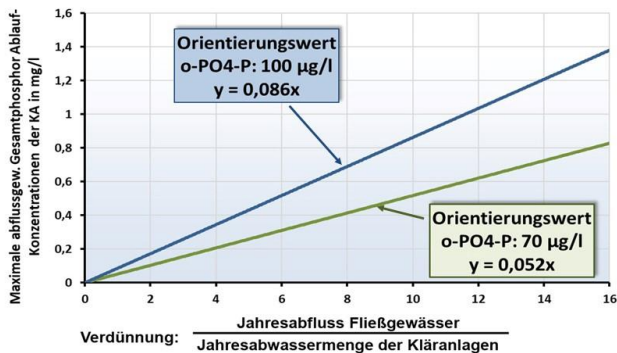
Fehlende Daten der Kläranlagen anderer Bundesländer aus dem Jahr 2018 werden derzeit mit dem letzten verfügbaren Wert aufgefüllt. Die Aktualisierung erfolgt in späteren Versionen.

Dr. Peter Seel, DWA-Nord, Landesverbandstagung August 2019

der bei 40 µg/l liegt (zweite Folie). Die Steigung beträgt 0,87, d. h. im Mittel finden sich 87 % des von den Kläranlagen emittierten Phosphors als ortho-Phosphat im Gewässer wieder. Leitet eine einzelne Kläranlage mit einem Ablaufwert von 1mg/l in einen Bach mit einem Verdünnungsverhältnis von 1:10 ein, verursacht dies eine Erhöhung der mittleren Konzentration an ortho-Phosphat-P von ca. 87 µg/l. Durch solche Rechnungen lässt sich für typische Fließgewässer einfach überprüfen, welchen Beitrag Kläranlagen zu erhöhten P-Belastungen leisten. Dies gilt jedoch nicht für Seen oder sehr langsam fließende Gewässer,



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 (Beitrag anderer Quellen 25 µg/l)



Dr. Peter Seel, DWA-Nord, Landesverbandstagung August 2019



Die hessischen Daten zeigen, dass die Kläranlagen die mit Abstand bedeutendste Ursache für die Überdüngung der Fließgewässer sind.

Wie erklärt sich der Unterschied zu Modellaussagen?

Die Gründe für diese sehr unterschiedlichen Bewertungen sind:

1. Unzureichende Validierung von Modellergebnissen; Gewässerfrachten geringer als postuliert
2. Modelle ohne Berücksichtigung der unterschiedlichen Bioverfügbarkeit verschiedener P-Einträge
3. Modelle betrachten nur Beiträge zu Jahresfrachten und nicht Beiträge zur ökologisch wichtigen mittleren Konzentration.

Dr. Peter Seel, DWA-Nord, Landesverbandstagung August 2019

deren Verhalten einem See ähnlich sind. Durch Umrechnung der Formel für die o. g. Gerade lässt sich für den angenommenen Hintergrundwert von 25µg/l errechnen, bei welcher Verdünnung des Abwassers im Gewässer (auf Basis der leicht zugänglichen Jahresabflüsse) welche Ablaufkonzentrationen tolerierbar sind, um einen Orientierungswert von 70 µg/l oder 100 µg/l zu unterschreiten, d.h. wann der Zusatzbeitrag der Kläranlagen unter 45 µg/l oder unter 75 µg/l sinkt. Eine Verdünnung von 1:8 erfordert daher bereits einen mittleren Ablaufwert von 0,4 mg/l Gesamtphosphor; bei einer Verdünnung von 1:4, die in dichter besiedelten Regionen Deutschlands nicht ungewöhnlich ist, sind nur noch 0,2 mg/l tolerierbar.

Wie erklärt sich nun der qualitative Unterschied zu den vielen Aussagen von Modellergebnissen wie MONERIS, MePhos und More?

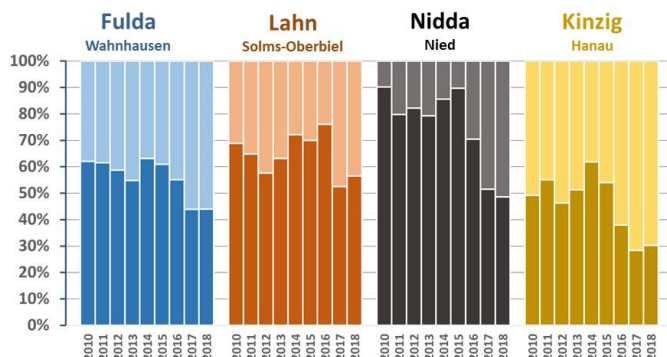
Folgende drei Gründe lassen sich identifizieren:

1. Eine unzureichende Validierung von Modellergebnissen; Gewässerfrachten sind geringer als postuliert.
2. Die Modelle berücksichtigen nicht die unterschiedliche Bioverfügbarkeit verschiedener P-Einträge.
3. Die Modelle betrachten nur Beiträge zu Jahresfrachten und nicht Beiträge zur ökologisch wichtigen mittleren Konzentration.

zu 1. Sehr genaue Frachtbilanzierungen mit Hilfe der hessischen Messstationen, wie sie bundesweit nicht üblich sind, zeigen vor Beginn des laufenden Maßnahmenprogramms Anteile der Kläranlagen an der P-Jahresfracht im Gewässer von im Mittel 66 %; in der abwasserreicheren Nidda waren es sogar über 80 %. Das ist weit mehr, als in Modellergebnissen in Deutschland, auch in Hessen, bisher errechnet wurde.

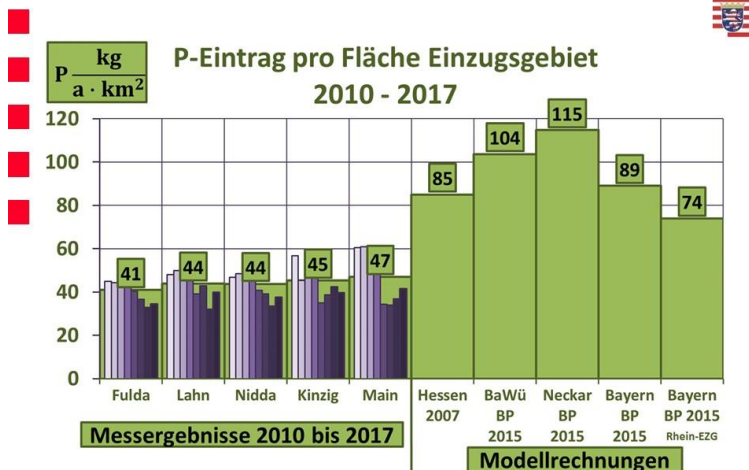


Anteil kommunaler Kläranlagen an Gesamtphosphor-Fracht des Gewässers



Dr. Peter Seel, DWA-Nord, Landesverbandstagung August 2019





Dr. Peter Seel, DWA-Nord, Landesverbandstagung August 2019



Normiert man aus Modellrechnungen postulierte P-Jahreseinträge auf die Fläche der jeweiligen Einzugsgebiete und vergleicht diese mit den über Messungen erzielten Ergebnissen, erkennt man, dass verschiedene Modellrechnungen aus anderen, hinsichtlich Topografie, Flächennutzung, etc. vergleichbaren Bundesländern sowie einem in Hessen selbst angewandten Modell deutlich höhere Einträge postulieren. Dabei ist es auch nicht realistisch, dass in einem hohen Ausmaß eingetragener Phosphor dauerhaft im Gewässer zurückgehalten wird. Die Folge der zu hohen fiktiven Gesamteinträge ist, dass der prozentuale Anteil der Kläranlagen, deren absolute Einträge recht genau erfasst werden können, in unrealistischem Maß rechnerisch reduziert wird.

-
-
-
-

Bioverfügbar für Algen ist praktisch nur der im Wasser gelöste ortho-Phosphat-Phosphor.

Aus anderen P-Fractionen (lebende oder abgestorbene Biomasse, P-haltige Mineralien (z. B. Apatit), Eisenphosphat aus Kläranlagen, etc.) muss durch biologische und chemische Prozesse erst ortho-Phosphat-P freigesetzt werden, bevor er von den Algen als P-Quelle genutzt werden kann.



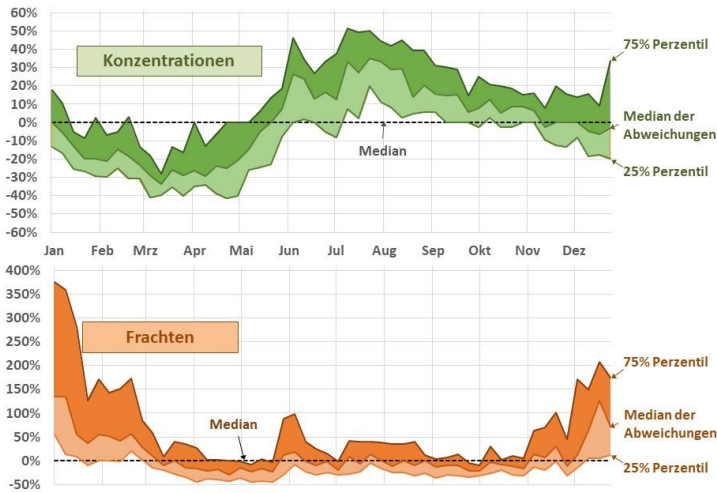
Dr. Peter Seel, DWA-Nord, Landesverbandstagung August 2019



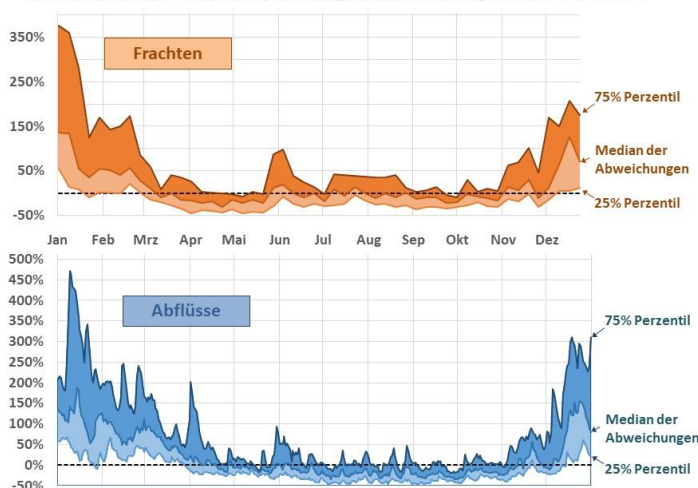
Zu 2. Biologische Überdüngungseffekte können nur durch gelöstes ortho-Phosphat verursacht werden. Andere feststoffgebundene P-Verbindungen können die Algen nicht unmittelbar nutzen, sondern aus diesen muss erst durch Umwandlungsprozesse zunächst ortho-Phosphat freigesetzt werden. Die Modelle errechnen aber über den Bodenabtrag durch Erosion bisher den Gesamteintrag des Phosphors im Boden (Königswasseraufschluss) unabhängig davon, ob daraus jemals ortho-Phosphat freigesetzt werden kann. In hessischen Ackerböden sind z. B. nur ca. 10% des gesamten Phosphors unmittelbar bioverfügbar. Ein anderer Teil ist

im Humus biologisch relativ stabil gebunden und braucht eine gewisse, bei den kurzen Fließzeiten in Mittelgebirgsflüssen aber nicht vorhandene Zeit, um biologisch abgebaut zu werden. Spätestens aber in einem See oder in der Nordsee setzt er bioverfügbaren Phosphor frei. Bei einem dritten großen Anteil handelt es sich um mineralisch sehr fest gebundenen Phosphor aus den Gesteinen, die den Boden gebildet haben (z. B. Apatit). Dieser wird nur durch die Verwitterung in geologischen Zeiträumen zersetzt und spielt biologisch keine Rolle. Der Anteil dieser zuletzt genannten Fraktion ist in Deutschland sehr unterschiedlich, müsste aber erfasst werden, um die Bedeutung der Erosion von Böden beurteilen zu können. Die derzeitigen Modelle überschätzen diesen Beitrag erheblich. Da auch bei der Gesamtposphor-Analyse im Gewässer dieser mineralisch fest gebundene Phosphor miterfasst wird, ist die Festlegung des entsprechenden Orientierungswertes für Fließgewässer fragwürdig. Eine neuere Studie von Halle und Müller legt nahe, dass die biologischen Effekte mit steigenden Gesamtposphorwerten auf eine Korrelation mit ortho-Phosphat zurückzuführen sind.

Jahresverlauf der Konzentrationen und Frachten von Gesamt-Phosphor als Abweichung von den Jahresmedianen von Main, Fulda, Werra, Lahn (Oberbiel), Nidda und Kinzig (ca. 1000 bis 27000 km²) der Jahre 2010-2017



Jahresverlauf Frachten von Gesamt-Phosphor und der Abflüsse als Abweichung von den Jahresmedianen von Main, Fulda, Werra, Lahn (Oberbiel), Nidda und Kinzig der Jahre 2010-2017



zu 3. Biologische Prozesse können nur über Konzentrationen beeinflusst werden und nicht über Frachten. Der typische Jahres-Konzentrationsverlauf der hessischen Fließgewässer zeigt eine in den Monaten März bis Mai unterdurchschnittliche P-Konzentration, die durch das starke Wachstum von sessilen Algen und anderen Pflanzen erklärt werden kann. Die höchsten Konzentrationen treten in den Sommermonaten auf, wenn die Abflüsse und damit die Verdünnung des eingeleiteten Abwassers gering sind und biologische - Phosphor freisetzende - Abbauprozesse temperaturbedingt deutlich schneller ablaufen als im Rest des Jahres. Die Abweichung von den Jahresmedianen liegt im niedrigen zweistelligen Prozentbereich.

Dagegen folgt die Frachtkurve weitgehend dem Abflussgeschehen. Hochwasserwellen gibt es typischerweise im Winterhalbjahr; deutlich seltener gibt es Sommerhochwässer. In den Zeiten hoher Wasserführung gibt es unzweifelhaft erheblich höhere P-Einträge. Bei starken Niederschlägen leiten die Kläranlagen bei Mischkanalisation oft die zwei- bis dreifache P-Fracht ein, da die Konzentration konstant gehalten wird, aber der Abfluss steigt. Mischwasserentlastungen leiten nur verdünntes, ungereinigtes Abwasser ein. Auch Regenwasserkanaäle bringen eine Zusatzfracht. Aber es gibt natürlich auch den Bodenabtrag von Ackerflächen und anderen

Böden sowie gerade bei Hochwasser auch die Erosion im Gewässer selbst, der die Flüsse dann braun färbt. Dadurch steigen die P-Frachten in diesen Zeiten typischerweise um mehrere hundert Prozent und haben einen sehr großen Beitrag zur P-Jahresfracht. In diesen Zeiten bleibt aber die P-Konzentration im Gewässer im Normalbereich, da die Zusatzeinträge von Phosphor durch das zusätzliche „Verdünnungswasser“ kompensiert werden. Daher sind Modelle, die nur die P-Jahresfrachten und die Beiträge der verschiedenen Eintragspfade dazu betrachten, prinzipiell ungeeignet, die erforderlichen Maßnahmen in einem Fließgewässer hinreichend genau zu begründen. Dagegen ist es gerechtfertigt, beim P-Eintrag durch Flüsse in große Seen oder Küstengewässer mit Jahresfrachten zu operieren, da dieser Fracht nach Verteilung eine bestimmte länger andauernde Erhöhung der Konzentration folgt. Aber auch hierbei müsste die biologische Verfügbarkeit der P-Verbindungen berücksichtigt werden (s. o.).

Fazit:

1. Die mit Abstand bedeutendste Ursache der Überdüngung mit Phosphor in Fließgewässern im Mittelgebirgsraum sind i. d. R. die Einleitungen der kommunalen Kläranlagen; die Landwirtschaft bringt einen nur geringen Beitrag zu den mittleren Konzentrationen, dessen Bedeutung durch die oft geringe Bioverfügbarkeit des Phosphors im Ackerboden weiter reduziert wird. Modellrechnungen haben bisher den Beitrag der Kläranlagen deutlich unter- und den Beitrag der Landwirtschaft überschätzt.
2. In den meisten Fällen lassen sich die Phosphoremissionen der Kläranlagen mit finanziell geringem Aufwand erheblich reduzieren. Die Anforderungen an die Kläranlagen steigen mit zunehmendem Abwasseranteil. In besonders abwasserreichen Gewässern sind teurere Maßnahmen (ggf.

Filtration) notwendig. Dadurch alleine ist es in i. d. R. möglich, die gesetzlichen Orientierungswerte für das biologisch relevante ortho-Phosphat zu unterschreiten.

3. Eine Übertragung der Erkenntnisse auf das norddeutsche Tiefland ist wegen dort oft vorhandener drainierter und ackerbaulich genutzter ehemaliger Mooregebiete mit Torf als P-Quelle eingeschränkt: Ob die Situation dadurch quantitativ grundsätzlich anders ist, ließe sich aber relativ einfach überprüfen.
4. Die Erkenntnisse dürfen nicht 1:1 auf Seen und Flusseen übertragen werden: Seen und Küstengewässer sind z. B. empfindlicher als Fließgewässer; daher sind ökologische Schäden schon durch geringe P-Einträge möglich - auch ohne Abwasser.
5. Die Landwirtschaft ist nicht entlastet und muss ihren Beitrag zum Gewässerschutz leisten: Erosionsschutz und Abstandsflächen zu Gewässern sind aus diversen Gründen nötig; u. a. um eine Verschlammung des Gewässers zu vermeiden. Abstandsflächen von Äckern zum Gewässer sind sinnvoll um PSM- und N-Einträge zu verringern und den ökologisch wertvollen Lebensraum zu schützen. Eine Überdüngung mit P ist zu vermeiden zum Schutz des Grundwassers und zur Schonung der endlichen Phosphorlagerstätten.

Die vorgestellten Auswertungen und Grafiken sind im Dezernat „Gewässergüte“ des Hessischen Landesamts für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG), dessen Dezernatsleiter ich bis zu meiner Pensionierung im Mai 2019 war, entstanden. An den Arbeiten waren viele Kolleginnen und Kollegen des Dezernats beteiligt, insbesondere Dr. Björn Michaelis, Katharina Ruoff, Anne Ries und Andreas Burmeister. Die chemischen Analysen wurden im Landesbetrieb Hessisches Landeslabor (LHL) vorgenommen. Ich bedanke mich beim HLNUG, dass die mit den Messdaten von 2018 aktualisierten Auswertungen und Grafiken zur Verfügung gestellt wurden.

Dr. Peter Seel
Dipl.-Chemiker und Dipl.-Biologe
Am Felsenkeller 27
65527 Niedernhausen
Tel 06127-97717
seel-schwager@t-online.de