



Hessisches Landesamt
für Umwelt und Geologie

**Umsetzung der WRRL
Herstellung des guten stofflichen Zustandes
- Szenario Phosphor**

Kurzbericht

DARMSTADT, Juli 2008



INHALTSVERZEICHNIS

1	Veranlassung und Zielstellung	2
2	Grundsätzliches Vorgehen.....	3
3	Ergebnisse	5
3.1	Massnahmenvorschläge – Kommunale Kläranlagen	5
3.2	Massnahmenkombinationen - Szenarien.....	7
3.3	Massnahmenplanung - Zeitbedarf	8
4	Zusammenfassung und Ausblick	10

1 VERANLASSUNG UND ZIELSTELLUNG

Mit Inkrafttreten der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) wurde im Jahr 2000 der Grundstein für ein mehrstufiges Programm mit dem Ziel der Erreichung des „guten Zustandes“ bzw. des „guten Potenzials“ in allen Gewässern der Mitgliedsstaaten bis zum Jahr 2015 gelegt.

Als Ergebnis des in den letzten Jahren landesweit durchgeführten Monitorings hat sich herausgestellt, dass für einen großen Teil der hessischen Oberflächengewässer die Erreichung dieses Ziels (guter Zustand) für eine Reihe von Parametern unwahrscheinlich oder unklar ist. Eine wesentliche Ursache für den mäßigen, unbefriedigenden oder schlechten Zustand vieler Wasserkörper sind anthropogene Belastungen. Als limitierender Faktor für die Eutrophierung sind insbesondere Phosphoreinträge aus Kläranlagen oder von landwirtschaftlich genutzten Flächen von großer Bedeutung für die Maßnahmenplanung.

Vor dem Hintergrund der diesbezüglich zu erstellenden Maßnahmen- und Bewirtschaftungspläne beauftragte das Land Hessen DAHLEM Beratende Ingenieure mit der Erarbeitung von Szenarien zur Reduzierung der Phosphoreinträge aus Punktquellen in die Oberflächengewässer.

Ziel war die Erreichung vorgegebener Orientierungswerte für Gesamtphosphor für möglichst viele Wasserkörper. Grundlage für die Ableitung des Handlungsbedarfs war somit zunächst ein Vergleich von Ist- und Zielwerten der P-Frachten, auf dessen Basis dann Maßnahmenvorschläge erarbeitet wurden. Als Zielwert wurde in Abstimmung mit den Projektbeteiligten und in Anlehnung an LAWA-Vorgaben [1] für die Mehrzahl der Wasserkörper ein Orientierungswert von 0,15 mg P_{ges}/l (Fließgewässertyp 19) bzw. 0,10 mg P_{ges}/l (alle anderen Fließgewässertypen) festgelegt. Im Rahmen von vier Gesamtszenarien wurde aufgezeigt, inwieweit mit unterschiedlichen Kombinationen von Maßnahmen zur Reduzierung von P-Einträgen aus Kläranlagen und diffusen Quellen dieser Zielwert für die Oberflächengewässer erreicht werden kann. Neben konkreten Maßnahmen wurden begleitenden Maßnahmen aufgezeigt, mit denen darüber hinaus eine Reduzierung der P-Einträge aus Misch- und Niederschlagswassereinleitungen möglich ist.

[1] LAWA-AO: Rahmenkonzept Monitoring, Bewertungsgrundlagen und Methodenbeschreibung (Teil B), Arbeitspapier II, Hintergrund- und Orientierungswerte für physikalisch-chemische Komponenten, März 2007.

2 GRUNDSÄTZLICHES VORGEHEN

Das Projekt wurde in enger Abstimmung mit einer Projektarbeitsgruppe beim Hessischen Landesamt für Umwelt und Geologie (HLUG) durchgeführt. Im Rahmen der Grundlagenermittlung wurden in Abstimmung mit den Projektbeteiligten zunächst Anforderungen definiert sowie erforderliche Grundlagendaten erhoben, aufbereitet und plausibilisiert. Aus den so zusammengestellten Informationen konnten erster Handlungsbedarf und Handlungsschwerpunkte mit Blick auf die Phosphorbelastung der Oberflächengewässer abgeleitet werden. Unter Berücksichtigung der für die Untersuchung vorgegebenen Eintragspfade erfolgte eine Bilanzierung der als Immissions- und Emissionswerte vorliegenden und vom Auftraggeber tabellarisch für die hessischen Wasserkörper zur Verfügung gestellten Phosphorfrachten auf Wasserkörperebene (Plausibilisierung).

Datenlücken und nicht valide Messwerte, die auf Messungenauigkeiten, fehlende Messwerte oder Änderungen im Analyseverfahren während des Monitorings zurückgeführt werden können, wurden in Abstimmung mit der Projektarbeitsgruppe sinnvoll ergänzt, um im Rahmen der Maßnahmenplanung und für eine Bewertung auf landesweit flächendeckende Angaben zur Phosphorbelastung der Wasserkörper zurückgreifen zu können.

Die systematische Auswertung und Darstellung der Datengrundlagen sowie entsprechender Wechselwirkungen im Maßnahmenprogramm erfolgte anhand von Geodatenbanken, die unter Verwendung eines geografischen Informationssystems (GIS) bewertet, ausgewertet und anschaulich dargestellt wurden.

Maßnahmenprogramm und Bewertung

Die Erarbeitung von Maßnahmen und Maßnahmenkombinationen konzentrierte sich auf eine größtmögliche Verminderung des P-Eintrags zur Erreichung der vorgegebenen Orientierungswerte (Zielszenario). Grundlage der Ableitung des Handlungsbedarfs war der Vergleich von Ist-Wert und Ziel-Werten der P-Frachten, auf dessen Basis dann übergeordnete, allgemeine Maßnahmenvorschläge erarbeitet wurden.

Als Parameter für die Maßnahmenbeschreibung wurde Gesamt-Phosphor (P_{ges}) gewählt. Ausschlaggebend für diese Entscheidung war u.a., dass

- Daten zu Einleitungen (insbes. Kläranlagen) nur als P_{ges} vorliegen,
- die Stoffströme der diffusen Belastung als P_{ges} ermittelt wurden,
- die EU-Kommunalabwasser-Richtlinie und die Abwasser-Verordnung, Anhang 1 sowie die wasserrechtlichen Bescheide P_{ges} zur Emissionsbegrenzung verwenden und

- die Verminderung von Pges mit dem Partikelrückhalt Stoffe einschließt, die in Feststoffen gebunden oder an Partikel adsorbiert sind und deren Entfernung aus dem Abwasser zur Einhaltung anderer Umweltziele notwendig oder erwünscht ist (Synergiewirkungen).

In unterschiedlichen Gesamtszenarien wurden Maßnahmen zur Reduzierung der Phosphorbelastung aus kommunalen Kläranlageneinleitungen mit entsprechenden Maßnahmen zur Verminderung diffuser P-Einträge kombiniert. Die zur Bewertung der ökologischen Wirksamkeit und Wirkungsentfaltung erforderlichen spezifischen Größen wurden unter Berücksichtigung von Erfahrungs- und Literaturwerten abgeleitet und mit dem Auftraggeber abgestimmt.

Für die Entwicklung der Maßnahmenplanung war es abschließend erforderlich, emissions- und immissionsorientierte Maßnahmenprioritäten bezogen auf die Verminderung von Pges zu definieren. Diese richten sich insbesondere nach Effektivitäts- und Effizienzgesichtspunkten. Entsprechend wurden unterschiedliche Szenarien und Maßnahmenkombinationen im Zuge einer Kosten-Wirksamkeits-Analyse bewertet und Prioritäten festgelegt.

3 ERGEBNISSE

3.1 MASSNAHMENVORSCHLÄGE – KOMMUNALE KLÄRANLAGEN

Die im Rahmen des Vorhabens erarbeiteten und mit den Projektbeteiligten abgestimmten Maßnahmenvorschläge konzentrieren sich insbesondere auf den Haupteintragspfad „Kläranlagen“.

Insgesamt wurden 723 hessische Kläranlagen mit einer Ausbaugröße von insgesamt ca. 10 Mio. EW in die Auswertung einbezogen. Von diesen Anlagen wird insgesamt eine Jahresfracht von rund **817 t/a Phosphor** emittiert (vgl. Tabelle 3.1). Dies entspricht etwa der Hälfte der insgesamt in hessische Oberflächengewässer eingeleiteten Phosphorfracht.

Tabelle 3.1: Emittierte Phosphorfrachten hessischer Kläranlagen 2005

Größenklasse	Anzahl Anlagen [-]	Ausbaugröße [EW]	P _{ges} -Ablauf- fracht [t/a]	Anteil Fracht [%]
GK 5 (> 100.000 EW)	10	3.755.000	141	17
GK 4 (> 10.000 – 100.000 EW)	158	5.114.403	354	43
GK 3 (> 5.000 – 10.000 EW)	79	610.240	110	13
GK 2 (> 1.000 – 5.000 EW)	243	623.394	169	21
GK 1 (< 1.000 EW)	233	127.646	43	5
Summe GK 1 – GK 5	723	10.230.683	817	100

Zur Reduzierung dieser Nährstoffeinträge wurden mit Blick auf die unterschiedlichen Ablaufwerte, Ausbaugrößen (Größenklassen) und Reinigungsstufen (mit/ohne P-Elimination) der betrachteten Kläranlagen folgende drei Maßnahmengruppen definiert:

1. Ausrüstung von Kläranlagen der Größenklassen 2 & 3 mit Fällungsanlagen zur Verringerung der P-Ablaufkonzentration auf 1 mg/l.
2. Optimierung aller vorhandenen Fällungsanlagen zur Verringerung der P-Ablaufkonzentration auf 0,5 mg/l.
3. Errichtung einer zusätzlichen Reinigungsstufe auf Anlagen mit Fällung nach Optimierung der Fällung zur weiteren Verringerung der P-Ablaufkonzentration von 0,5 mg/l auf 0,1 - 0,3 mg/l.

Bewertet wurden die Maßnahmen nach ihrer ökologischen Wirksamkeit (Erfolgsaussichten und Zeitfaktor) und Kosteneffizienz.

Als Ergebnis dieser Bewertung zeigte sich, dass insbesondere die **betriebliche Optimierung (Maßnahme 2.1)** von bereits mit einer Phosphorfällung ausgerüsteten Kläranlagen ein erhebliches Potenzial bietet, den Phosphoreintrag mit vergleichsweise geringen Investitionen deutlich zu reduzieren. Mit Gesamtinvestitionen von rund 10,8 Mio. € ließen sich durch Optimierungsmaßnahmen jährlich ca. 150 t des auf diesem Weg eingetragenen Phosphors einsparen. Da es sich hierbei im Wesentlichen um die Optimierung großer Anlagen handelt, liegen die einwohnerspezifischen Kosten bei weniger als 1 € pro Einwohner und Jahr.

Demgegenüber wurden für die **Nachrüstung von Kläranlagen ohne Fällung (Maßnahme 1.1)** ein vergleichsweise höherer finanzieller und zeitlicher Aufwand ermittelt. Da es sich allein in der GK 2 um mehr als 200 Anlagen handelt, die nachzurüsten wären, ist davon auszugehen, dass eine Umsetzung kaum innerhalb des ersten Maßnahmenplans bis 2015 realisiert werden kann. Darüber hinaus erfordert die Umsetzung Gesamtinvestitionen in Höhe von rd. 16,3 Mio. € oder umgerechnet etwa 3 bis 5 € pro Einwohner und Jahr.

Die mit Abstand größten Kosten wurden für die **Einrichtung einer zusätzlichen Reinigungsstufe (Maßnahme 2.2)** auf Kläranlagen der Größenklassen 4 und 5 ermittelt. Verfahrensabhängig sind hierfür einwohnerspezifische Kosten von mehr als 100 €/a anzusetzen. Neben den mit Abstand teuersten Reinigungsverfahren wie Flockungs- und Membranfiltration bietet der Einsatz der Mikrosiebung eine vergleichsweise günstige Alternative. Mit rund 4 bis 5 € pro Einwohner und Jahr betragen die spezifischen Kosten für die Mikrofiltration nur etwa 20 % der Kosten für die vergleichsweise teure Flockungsfiltration. Gleichzeitig sind mit 0,30 mg P_{ges}/l nahezu ähnliche Ablaufwerte erreichbar.



Abb. 1: Maßnahmen zur Reduzierung des P-Eintrags aus kommunalen Kläranlagen (v.l.n.r. Fällung, Flockungsfiltration, Mikrosiebung)

3.2 MASSNAHMENKOMBINATIONEN - SZENARIEN

Hinsichtlich weiterer Einträge aus **diffusen Quellen**, wurde darüber hinaus auf entsprechende vom Auftraggeber zur Verfügung gestellte Maßnahmenkombinationen zurückgegriffen. Die Stoffströme aus diffusen Quellen liegen als Ergebnis einer Berechnung mit dem Modell MEPhos für die Pfade Erosion und Abschwemmung, Drainage und Grundwasser vor. Maßnahmen zur Verminderung der diffusen Belastungen wurden für die Pfade Erosion und Abschwemmung in drei Varianten konzipiert [2]. Die Varianten unterscheiden sich in der Intensität der Maßnahmenwirkung und der Einschränkungen für die Landwirtschaft:

- „Vorschlag“: Maßnahmen mit geringer Eingriffsintensität bzw. hoher Akzeptanz auf Seiten der Landwirtschaft, die relativ gut in der landwirtschaftlichen Praxis umgesetzt werden können.
- Variante 1: Maßnahmen mit mittlerer und hoher Eingriffsintensität einschl. der Umwandlung von Ackerland in Grünland.
- Variante 2: Maßnahmen mit mittlerer und hoher Eingriffsintensität bei Beibehaltung einer Ackernutzung auf den aktuell als Acker genutzten Flächen.

Die beschriebenen Maßnahmenkombinationen für „diffuse Einträge“ und „kommunale Kläranlagen“ wurden zu den in Abb. 2 dargestellten vier übergeordneten Gesamtszenarien zusammengefasst.

		Maßnahmen "diffuse Einträge"		
		Vorschlag	Vorschlag 1	Vorschlag 2
Maßnahmen "kommunale Kläranlagen"	1a) P-Fällung GK 3	✓		✓
	1b) P-Fällung GK 2	✓		✓
	2a) Optimierung GK 4	✓	✓	✓
	2b) Optimierung GK 5	✓	✓	✓
	3a) F-filtration GK 5			✓
	3b) F-filtration GK 4			✓

Abb. 2: Maßnahmenkombinationen zur Reduzierung der P-Einträge aus „diffusen Quellen“ und „kommunalen Kläranlagen“ (Gesamtszenarien I - IV)

2 Peter, M., Ricarda, Miller: Maßnahmen zur Verminderung der diffusen Phosphor- und Pflanzenschutzmitteleinträge in Oberflächengewässer. Bericht für das HLUG, Ingenieurbüro Schnittstelle Boden, Stand 12.06.2008.

Zusammenfassend lassen sich im Rahmen der vorgeschlagenen vier Gesamt-szenarien die in Tabelle 2 aufgezeigten Frachteinsparungen realisieren. Neben einer Reduzierung der P-Einträge aus Kläranlageneinleitungen kommen je nach Szenario unterschiedliche Einsparungen auf Grund von Verbesserungen im Bereich diffuser Einträge hinzu.

Tabelle 2: Wirksamkeit der Gesamtszenarien (Summe der Frachteinsparungen)

		Szenario I	Szenario II	Szenario III	Szenario IV
Ausgangssituation IST-Zustand	Kommunale Kläranlagen		817,2 t/a		
	<i>weitere Punktquellen</i>		158,4 t/a		
	Erosion		477,1 t/a		
	Abschwemmung		30,6 t/a		
	<i>weitere diffuse Quellen</i>		138,1 t/a		
	Summe P-Einträge		1621,4 t/a		
Maßnahmen Frachteinsparung	Kommunale Kläranlagen	129,1 t/a	205,8 t/a	205,8 t/a	533,0 t/a
	Erosion	182,4 t/a	182,4 t/a	274,7 t/a	295,8 t/a
	Abschwemmung	0,9 t/a	0,9 t/a	0,9 t/a	1,5 t/a
	Summe P-Einsparung	312,5 t/a	389,1 t/a	481,4 t/a	830,4 t/a
Summe neue P-Fracht		1308,9 t/a	1232,3 t/a	1140,0 t/a	791,0 t/a

3.3 MASSNAHMENPLANUNG - ZEITBEDARF

Für die in den Szenarien zusammengefassten Maßnahmen(kombinationen) ist ein unterschiedlicher Zeitbedarf für die technische/ bauliche Umsetzung und die Wirkungsentfaltung zu berücksichtigen. Dabei ist grundsätzlich zu unterscheiden zwischen Maßnahmen zur Verbesserung der Reinigungsleistung von Kläranlagen und Maßnahmen, die auf eine Reduzierung des P-Eintrags aus diffusen Quellen abzielen.

Maßnahmen zur Verbesserung der Reinigungsleistung von Kläranlagen sind grundsätzlich kurzfristig umsetzbar. Mit einer Wirkungsentfaltung ist unmittelbar nach Inbetriebnahme der Anlage zu rechnen. Im Rahmen der Gesamtbetrachtung für das Land Hessen (723 Kläranlagen) werden jedoch unter Berücksichtigung der in den vorstehenden Kapiteln dargestellten Gesamtszenarien zahlreiche unterschiedliche Einzelmaßnahmen notwendig sein, um die Belastung der Oberflächengewässer spürbar zu verringern. Entsprechend sind die vorgeschlagenen Maßnahmen zu priorisieren, um somit möglichst frühzeitig und mit vertretbaren

Kosten einen Erfolg hinsichtlich der P-Reduzierung zu erzielen. Mit Blick auf die überwiegend kurzfristige Umsetzbarkeit und sofortige Wirkungsentfaltung orientiert sich die Priorisierung und zeitliche Maßnahmenplanung insbesondere an den Maßnahmenvorschlägen zur Reduzierung von Kläranlagenemissionen. In Anlehnung an die Vorgaben gemäß WRRL werden drei Zeitstufen unterschieden:

- 1. Zeitstufe:** Maßnahmen, die sofort begonnen werden und vollständig innerhalb des ersten Maßnahmenplans, d.h. bis zum Jahr 2015 umzusetzen sind.
- 2. Zeitstufe:** Maßnahmen, die innerhalb des ersten Maßnahmenplans begonnen werden, für die jedoch u.a. aus technischen und finanziellen Gründen ein Abschluss erst nach 2015 möglich ist.
- 3. Zeitstufe:** Maßnahmen, die auf der teilweisen Umsetzung von Zeitstufe eins bzw. zwei beruhen oder die nur mit erheblichen finanziellen Anstrengungen zu realisieren sind und mit denen somit erst nach 2015 begonnen werden kann.

Jeder Zeitstufe können wahlweise unterschiedliche Szenarien zur Verringerung diffuser Emissionen zugeordnet werden wobei sich die Einteilung der Zeitstufen ausschließlich an den zuvor priorisierten Maßnahmen zur Verbesserung kommunaler Kläranlagen orientiert. Die somit für jede Zeitstufe anzusetzenden Gesamtkosten aus Maßnahmen an Punktquellen und diffusen Quellen sind unter Berücksichtigung der zeitlichen Umsetzung nachfolgend in Abb. 3 zusammengefasst.

Gesamtszenario	Kosten**	P _{el.}	bis 2015	nach 2015
I Zusätzliche P-Fällung + Vorschlag-Szenario	16,3 Mio. €	111 t/a		
	16,5 Mio. €	183 t/a		
	32,8 Mio. €	294 t/a		
II Betriebliche Optimierung + Vorschlag-Szenario	10,8 Mio. €	149 t/a		
	16,5 Mio. €	183 t/a		
	27,3 Mio. €	332 t/a		
III Betriebliche Optimierung + Szenario 1	10,8 Mio. €	149 t/a		
	34,0 Mio. €	276 t/a		
	44,8 Mio. €	425 t/a		
IV 3. Reinigungsstufe + Szenario 2	1,3 Mrd. €	168 t/a		
	35,5 Mio. €	297 t/a		
	1,3 Mrd. €	465 t/a		

* die Kosten- / Wirksamkeitsberechnung basiert auf der Annahme einer Flockungsfiltration als zusätzl. Reinigungsstufe
 ** Gesamtkosten als Summe aus KLA-Maßnahmen + Erosion & Abschwemmung

Abb. 3: Zeitstufen für die Umsetzung von Maßnahmen zur Reduzierung von Phosphoreinträgen aus Kläranlagen und diffusen Quellen

4 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Im Ergebnis der Untersuchung ist davon auszugehen, dass insbesondere die Optimierung vorhandener Fällungen eine geeignete Maßnahme darstellt, um kurzfristig und mit vertretbarem finanziellem Aufwand eine deutliche Reduzierung des Phosphoreintrags aus kommunalen Kläranlagen zu erreichen. Die Umsetzung dieser Maßnahmen wäre nach Einschätzung der Autoren noch innerhalb des ersten Maßnahmenprogramms bis 2015 möglich. Parallel dazu können Kläranlagen ohne Phosphorelimination schrittweise mit einer Fällung ausgerüstet werden, um auf diesem Wege mittelfristig eine weitere Verbesserung der Phosphorelimination herbeizuführen. Angesichts des finanziellen und technischen Aufwandes werden diese Maßnahmen für eine zweite Zeitstufe angesetzt, deren Umsetzung über das Jahr 2015 hinaus reicht. Die Nachrüstung von zusätzlichen Reinigungsstufen wird mit Blick auf die hierfür aufzuwendenden Kosten auch mittelfristig voraussichtlich zunächst auf wenige Anlagen beschränkt bleiben. In größerem Maßstab wird eine Umsetzung überwiegend für den Zeitraum nach 2015 gesehen. Die gleichzeitig fortschreitende Entwicklung neuer Reinigungsverfahren wie z.B. Membranfiltration legt jedoch die Vermutung nahe, dass langfristig eine weitere Reduzierung des Phosphoreintrags möglich wird. Mögliche Ergebnisse wurden im vorliegenden Bericht zu einem „Maximalszenario“ zusammengefasst.

Die Szenarien basieren auf dem Parameter Gesamt-Phosphor und stellen aus verschiedenen Gründen in ihren Ergebnissen eher pessimale Varianten dar. Da die Maßnahmen an den Kläranlagen vorwiegend zu einer Reduzierung von pflanzenverfügbarem Ortho-P im Ablauf führen, kann bei diesem Parameter eine deutlich höhere Gewässerentlastung erwartet werden. Festzuhalten ist jedoch, dass sich durch die aufgezeigten Maßnahmen auch bei Gesamtphosphor erhebliche Verbesserungen einstellen. Weitere Untersuchungen werden zeigen, ob die gelb hinterlegten Wasserkörper ggf. doch in den guten „stofflichen“ Zustand gebracht werden können. Dabei ist immer zu bedenken, dass die Entscheidung über die Erreichung des guten ökologischen Zustandes am Ende nicht über Zielwerte der Phosphor-Konzentration, sondern durch den biologischen Befund herbeigeführt wird. Die Maßnahmen müssen allerdings an der wesentlichen Ursache - den Nährstoffen – ansetzen.

Die im vorliegenden Bericht beschriebenen Maßnahmen vermitteln zusammenfassend einen Eindruck von den Möglichkeiten zur Erreichung des guten „stofflichen“ Zustandes in zahlreichen Wasserkörpern. Grundsätzlich stellt sich bei der Umsetzung aller Maßnahmen sowohl zur Reduzierung des P-Eintrags aus Kläranlagen als auch aus diffusen Quellen jedoch die Frage nach der sich als Ergebnis tatsächlich einstellenden Verbesserung des Gewässerzustandes. Inwieweit unterschiedliche Einzelmaßnahmen bzw. das Zusammenspiel von Maßnahmen

an den Quellen und ggf. im Gewässer zur Herstellung des guten Zustandes beitragen, könnte darüber hinaus anhand von Pilotmaßnahmen in Hessen gezeigt werden. Denkbar wäre z.B. die exemplarische Umsetzung von Pilotprojekten unter Berücksichtigung der im Bericht genannten Vorschläge zur Optimierung oder Erweiterung kommunaler Kläranlagen mit dem Ziel, die praktische Umsetzung und Wirkung entsprechender Maßnahmen näher zu beschreiben.

DAHLEM Beratende Ingenieure
GmbH & Co. Wasserwirtschaft KG

Darmstadt, im Juli 2008

Projektleitung und Bearbeitung:

Dipl.-Ing. Thomas Nichler

Dr.-Ing. Anke Durth

Dipl.-Ing. Andreas Hickmann

Dr.-Ing. André Niemann