

# Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz

## Informationsveranstaltung am 13. Juli 2016



**Was bedeuten verschärfte Anforderungen für die zukünftige Planung und den zukünftigen Betrieb der P-Elimination auf Kläranlagen?**

Dipl.-Ing. Peter Wulf, Prof. Dr.-Ing. habil. Holger Scheer, Emscher Wassertechnik GmbH

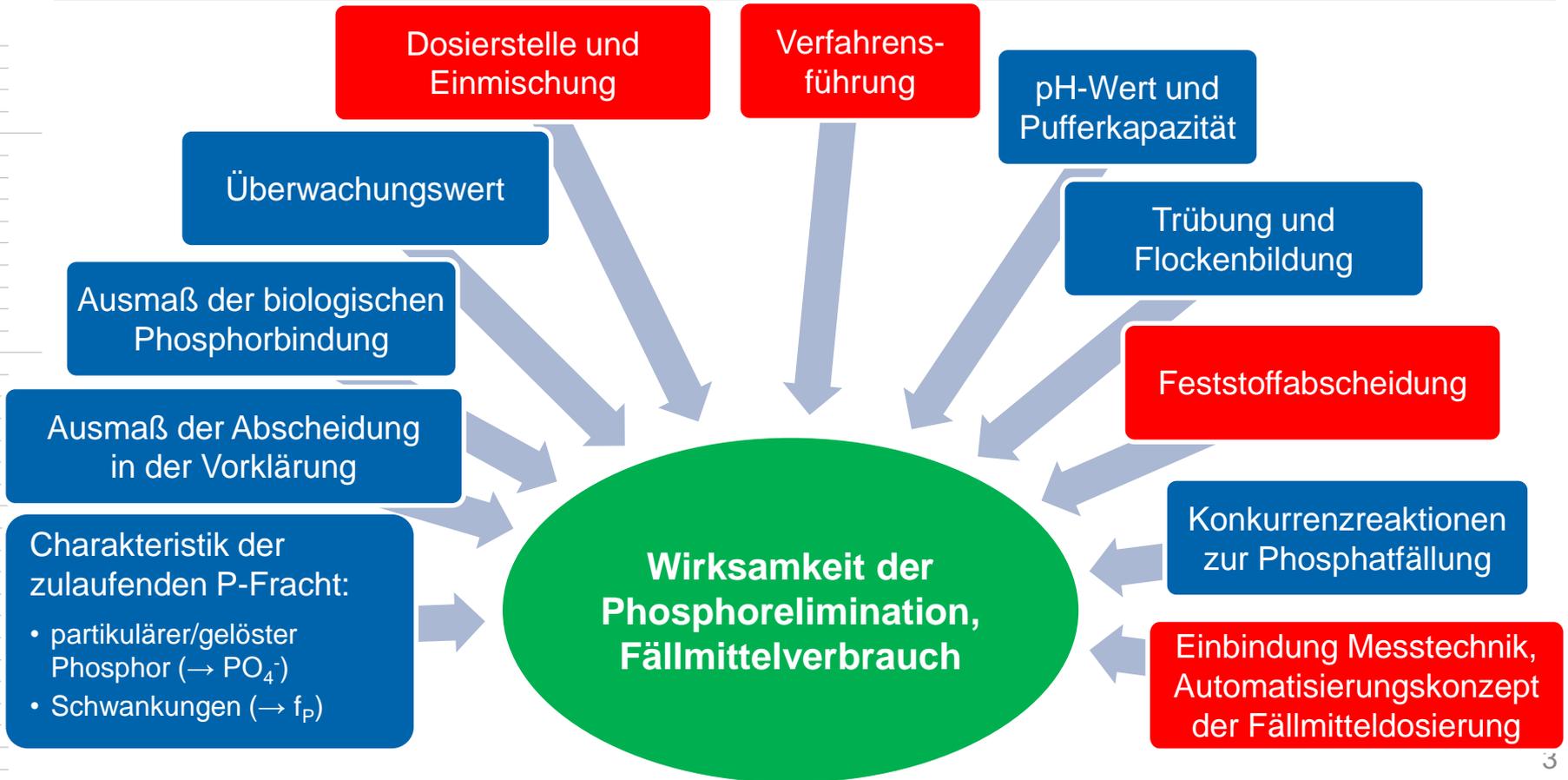
- **Einleitung**
- **Überblick zu Optimierungsansätzen und Einflussgrößen**
- **Überprüfung der Leistung und Effizienz**
- **Ausgewählte Ansätze zur Leistungssteigerung**
- **Kostenbetrachtungen**
- **Zusammenfassung und Diskussion**

**Fallbeispiele**



# Einleitung

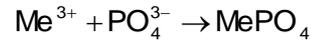
## Einflussgrößen und Optimierungsansätze



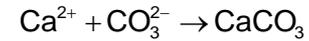
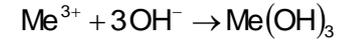
# Einleitung, Grundlagen chemische Phosphorelimination

## Fällreaktionen

- Metallsalze
- Calciumphosphatfällung, Bsp.



## Konkurrenzreaktionen



## Schritte der Fällung

- Bildung unlöslicher Verbindungen mit dem Fällmittel-Kation und Phosphat-Anion
- Zusammenlagerung zu Mikroflocken, Koagulation
- Flockenbildung, Bildung Makroflocken
- **Abscheidung der Makroflocken**

## Verfahren

- Vorfällung, Simultan- und Nachfällung, Flockungsfiltration, (ÜW < 2 mg/l P / < 1 mg/l P / < 0,5 mg/l P), Zweipunktfällung

## Wichtige Kenngrößen, Beurteilungskriterien

$$\beta = \frac{X_{\text{Me}} / \text{AM}_{\text{Me}}}{X_{\text{P,Fäll}} / \text{AM}_{\text{P}}}$$

(1,2 / 2,5)

$$K_{\text{P}} = \frac{\text{FM}_{\text{d}}}{C_{\text{P,Z}} \cdot Q_{\text{d}}} \cdot 1000$$

(11 – 30 mol/kg)

**Optimierungspotential bei erhöhten Werten prüfen (insbesondere wenn beide Werte erhöht sind)**

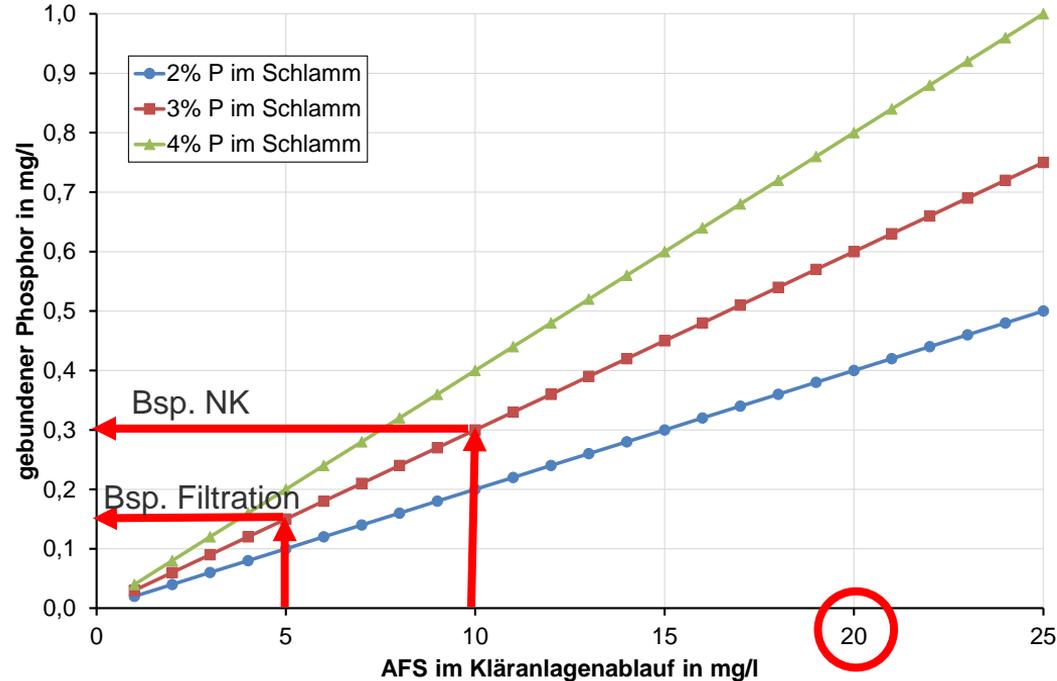
# Verschärfte Anforderungen Suspensa - Rückhalt

## Zunehmende Bedeutung des Suspensa - Rückhalts

- Prüfung von Möglichkeiten zur Ertüchtigung der Nachklärung (ÜW qual. SP bis zu 0,5 mg/l, Betriebsmittelwert bis zu 0,4 mg/l  $P_{ges}$ )
- Prüfung der Erfordernis einer zusätzlichen Stufe:

Flächenfilter: Tuchfiltration / Mikrosiebung  
Raumfilter: Sand-/ Mehrschicht-Filtration  
(MW bis zu 0,2 mg/l  $P_{ges}$ )

Membranfiltration, bei weiteren Zielen  
(MW bis zu 0,1 mg/l  $P_{ges}$ )



**Erfordernis weitgehende und effiziente Phosphatfällung  
Vor Ausbau: Ausschöpfung betriebliche Optimierung**

# Chemische Phosphatelimination

## Dosierstelle und Einmischung

### Einmischung des Fällmittels an der Dosierstelle

Einmischung: schnell und mit hoher Energiedichte (DWA-A 202)

- Aufenthaltszeit in der Mischzone / im Mischreaktor: ca. 1 Minute
- Leistungsdichte: 100 - 150 Watt/m<sup>3</sup> (*Vergleich Belebung: 1,5 - 3 Watt/m<sup>3</sup>*)



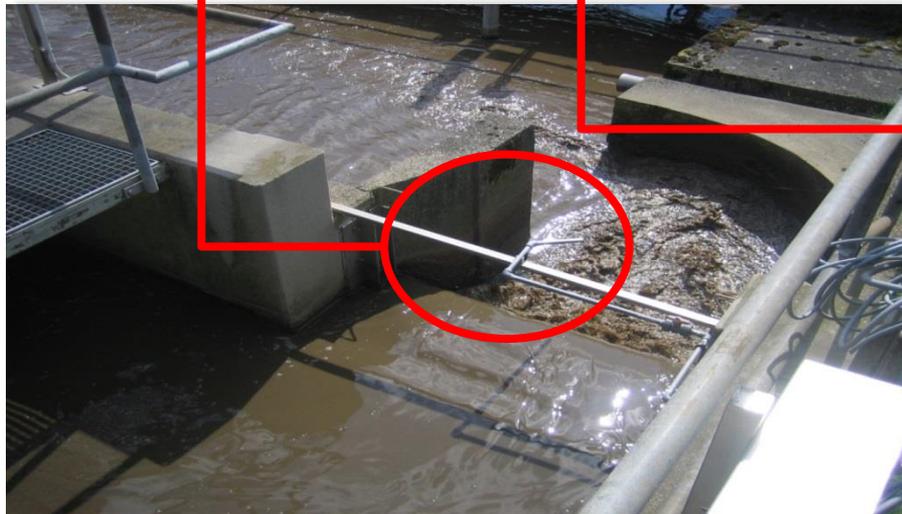
Makroflockenbildung: ausreichend Energiedichte für Koagulation,  
aber keine Zerstörung der gebildeten Flockenstruktur

- Reaktionszeit: 20 - 30 min
- Leistungsdichte: 5 Watt/m<sup>3</sup>
- Unterstützung durch Polymere möglich

# Fallbeispiel

## Einmischung des Fällmittels

Bereich hoher Turbulenz  
nach hydraulischem Sprung



# Fallbeispiel

## Einmischung des Fällmittels

Ablaufschacht Belebung



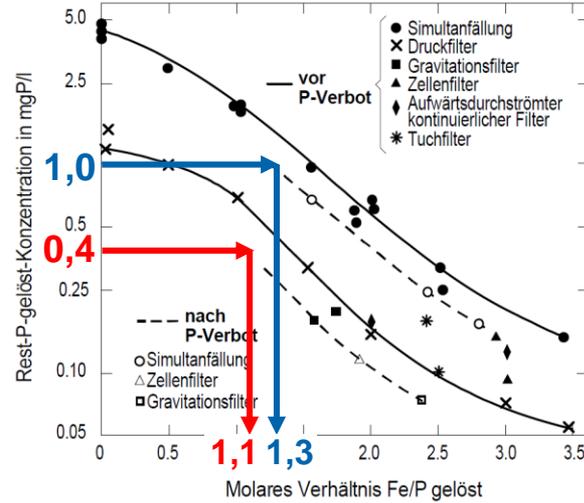
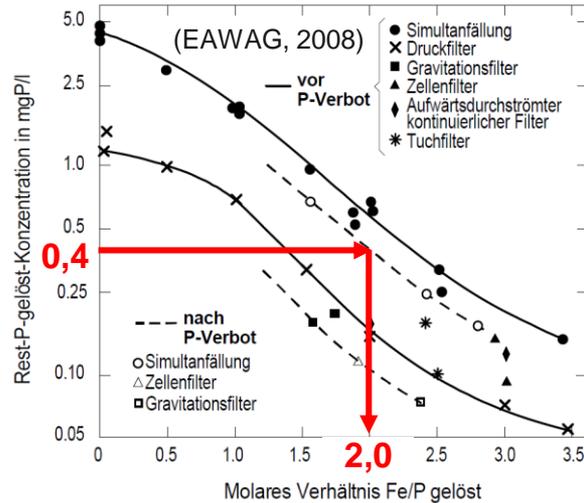
# Ausgewählte Einflussgrößen auf die chemische P-Elimination

## Geeignete Stellen zur Einmischung auf der Kläranlage

- **Absturzbauwerke**
- **Dosierstellen vor Pumpwerken**
- **Rohrleitung**
  - **Rohrleitungen mit großer Turbulenz vor Verteilungsbauwerken,**
  - **ggf. Einbau geeigneter statischer Mischer,**  
**dabei beachten: gute vorherige Störstoffentfernung,**  
**sonst Verzopfungsgefahr**
- **Gerinne mit großer Turbulenz**
  - **ggf. zusätzliche Einbauten oder Mischeinrichtung**

**Hohe Energiedichte auf kleinem Raum!**

# Verschärfte Anforderungen Fällmittelbedarf, 2-Punkt-Fällung



Vergleich zwischen ein- und zweistufiger Fällung

Beispiel mit Zielwert 0,4 mg/l P

$$Fe_{dos} = P_o \cdot \beta \cdot \frac{56}{31}$$

$$Fe_{dos} = 2,8 \cdot 2,0 \cdot \frac{56}{31} = 10,1 \text{ mg/l Fe}$$

$$Fe_{dos,1} = 2,8 \cdot 1,3 \cdot \frac{56}{31} = 6,6 \text{ mg/l Fe}$$

$$Fe_{dos,2} = 1,0 \cdot 1,1 \cdot \frac{56}{31} = 2,0 \text{ mg/l Fe}$$

$$Fe_{dos} = 6,6 + 2 = 8,6 \text{ mg/l Fe}$$

ca. - 15 %

- überproportionale Zunahme Fällmittelverbrauch bei erhöhten Anforderungen
- Zweistufig: Erhöhung Gesamtwirkungsgrad, bei gleichem Zielwert Fällmittelsparnis, zunehmend bei niedrigen Restkonzentrationen

## pH-Wert und Härte bzw. Puffervermögen des Rohabwassers

### Einsatz Metallsalze

- geringste Löslichkeit  $\text{FePO}_4$  bei pH 5 – 5,5,  $\text{AlPO}_4$  bei 6 – 7, Flockenbildung bei niedrigen pH-Werten ggf. schlecht
- effektive Fällung bei 6,5 bis 8,5
- **pH-Wert Änderung durch Fällmittel, je nach Dosiermenge und Puffervermögen**



### **Vermeidung negativer Auswirkung auf die Nitrifikation und die Belebtschlammflocken ( $\text{SK}_{\text{Ablauf}} > 1,5 \text{ mmol/l}$ )**

- ggf. Zugabe Lauge oder Kalk/Kreide, Einsatz alkalische Aluminium-Verbindungen (Natriumaluminat)

### Einsatz Kalk (zur Fällung)

- Puffervermögen bzw. pH-Wert ausschlaggebend, weiches Wasser geringere Dosierung als bei hartem Wasser (Vorfällung bis 9,3, Simultanfällung bis 9)

# Fallbeispiel

## Ertüchtigung der Phosphorelimination

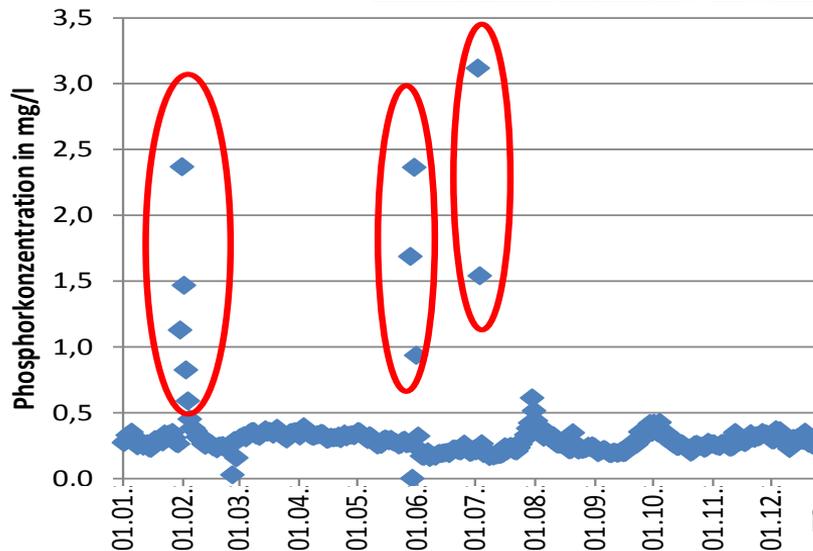
Kommunale KA, 210.000 EW

### Ausgangssituation

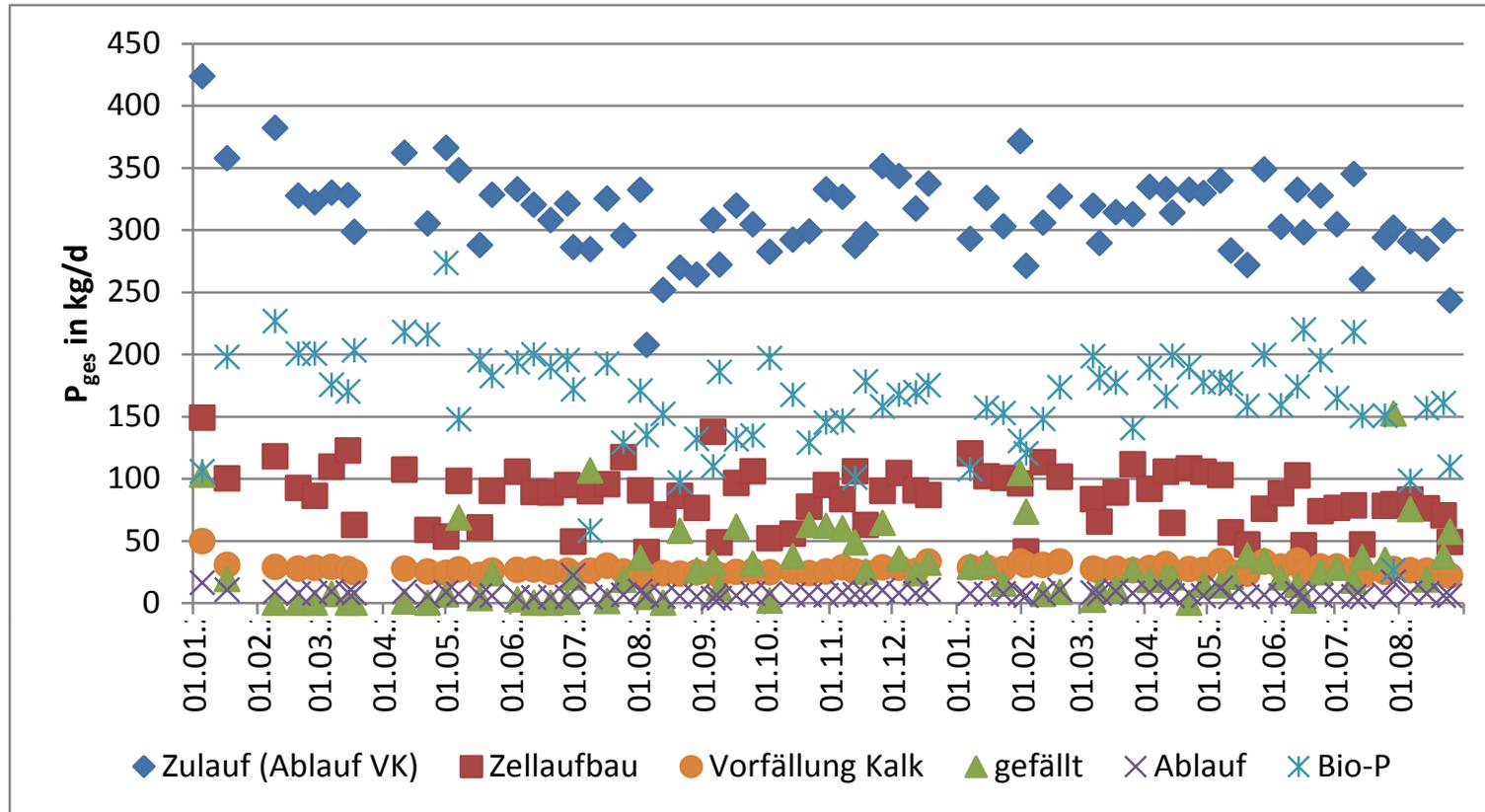
- Anlage in Norddeutschland, sehr weiches Wasser
- Kalkdosierung
- biologische Phosphorelimination und Fällung mit Einsatz Eisen(III)chloridsulfat
- Dosierung alternierend je Straße
- ebenfalls Einsatz Eisenchlorid bei der Entwässerung (Winkelpressen), geringe P-Rückbelastung mit Filtrat
- Überwachungswert: 0,8 mg/l
- vereinzelt erhöhte P-Ablaufwerte



$P_{\text{ges}}$ -Konzentration  
im Ablauf

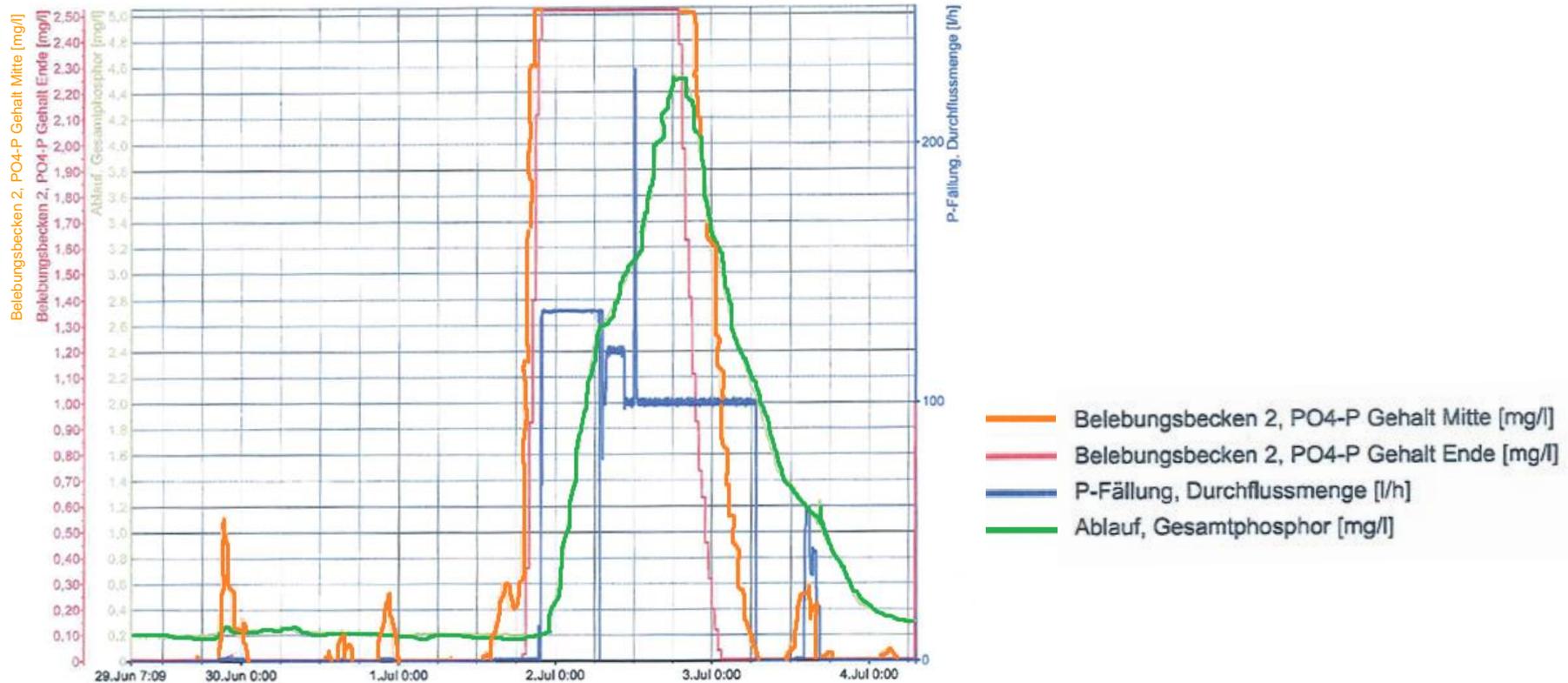


# Fallbeispiel Phosphorbilanz



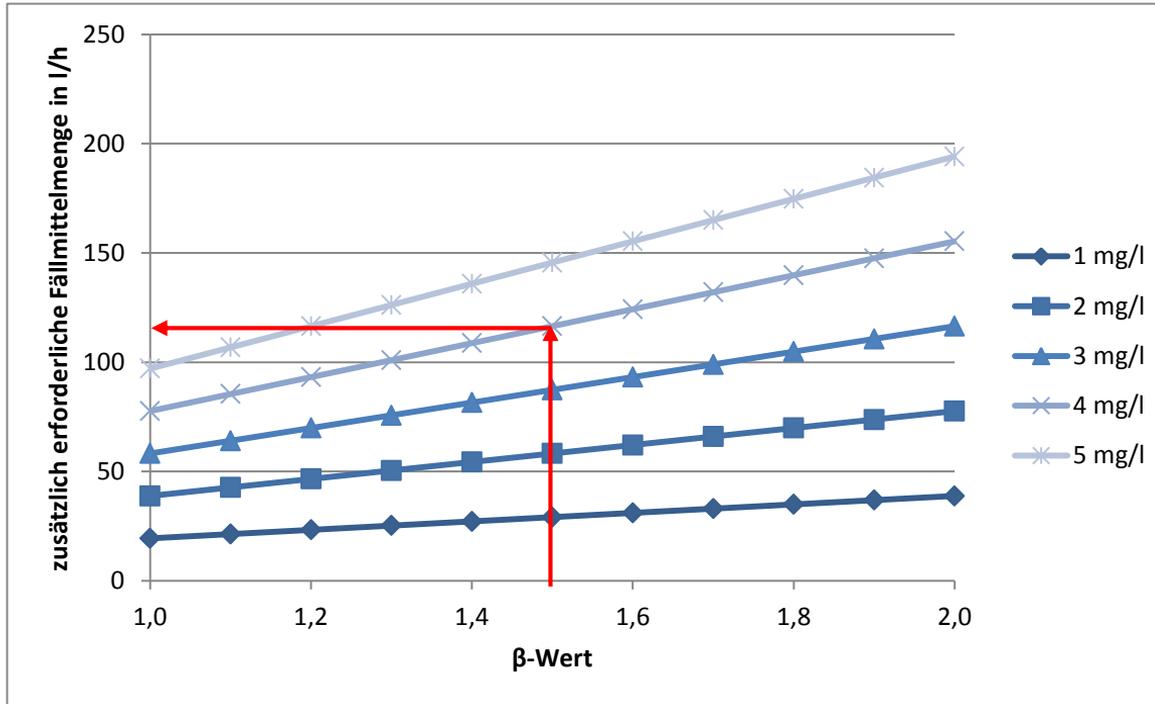
# Fallbeispiel

## Analyse, Datenauswertung



# Fallbeispiel

## Fällmittelbedarf



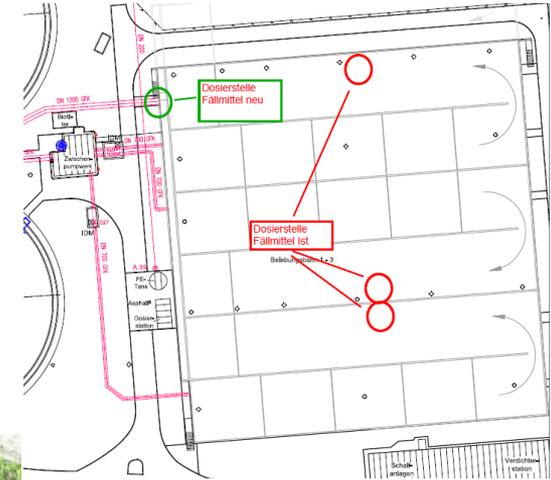
Bei Begrenzung der Fällmitteldosierung kann der Überwachungswert nicht sicher eingehalten werden.

# Fallbeispiel

## Optimierungsansätze, Dosierstelle

### Verlegung der Dosierstelle

- bisher: Dosierung alternierend in eines der drei Belebungsbecken (je 20 min)
- zukünftig: Dosierung in Sammelrinne Ablauf Belebung
- bessere Einmischung, höhere Turbulenz
- Erfassung des gesamten Volumenstroms, eine Dosierstelle
- kürzere, definierte Regelstrecke



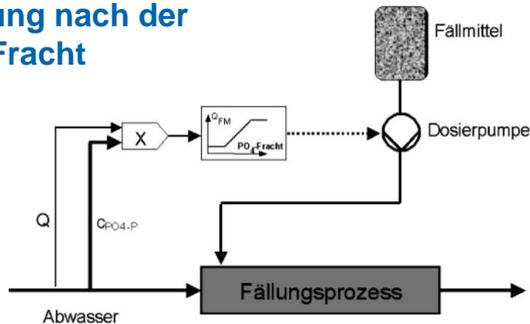
# Chemische Phosphatelimination

## Automatisierungskonzepte

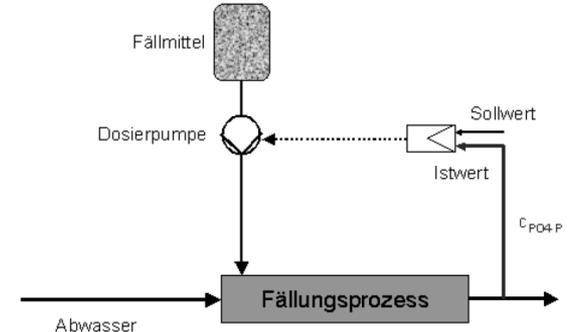
Verfahrenstechnik	Anlagengröße	Relative Fällmittelmenge	
Steuerung nach Zeitplan	nicht zu empfehlen (bzw. nur kleine Anlagen)	--	Erhebliche Überdosierung
Steuerung nach Ganglinie	kleine Anlagen	-	Erfahrungs- statt Messwerte, Überdosierung
Steuerung nach dem Abwasserfluss	mittelgroße Anlagen	+/-	Überdosierung, vor allem bei RW
Steuerung nach der P-Fracht	große Anlagen	++	gut, aber keine Kontrolle der Wirksamkeit
Regelung von $S_{PO_4}$	große Anlagen	++	günstigste Lösung

(HMUELV, 2011)

### Steuerung nach der $PO_4$ -P-Fracht

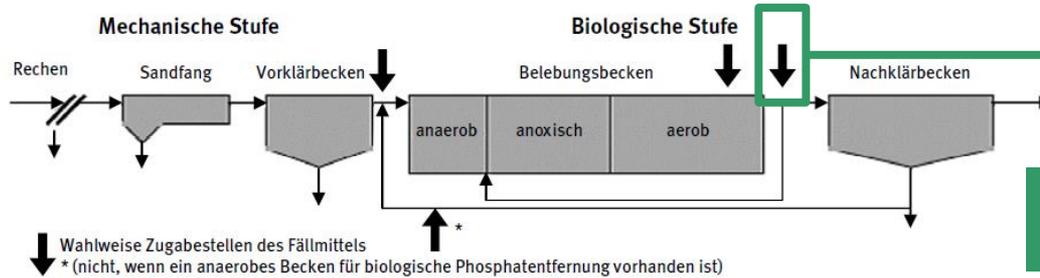


### Regelung der $PO_4$ -P-Konzentration (ggf. zusätzlich Aufschaltung Wassermenge)



# Chemische Phosphatelimination

## Automatisierungskonzepte, Simultanfällung



Bestmögliche Kombination

Abschätzung P in ÜSS

Messgröße	C <sub>P</sub>	S <sub>PO4</sub>
Messorte Zulauf Biologie	Möglich Der P-Einbau in den Überschussschlamm ist durch Abschätzung zu berücksichtigen. Eine kontinuierliche Probenahme muss so erfolgen, dass die Probe nicht durch eine Vorbehandlung, die ggf. zu einer Abtrennung von partikulär gebundenem Phosphor führen kann, beeinflusst wird. Dies ist jedoch an diesem Messort nur schwer zu gewährleisten.	Möglich An diesem Messort liegen nur 60-75 % der Phosphorverbindungen bereits als Orthophosphat vor. Der chemisch eliminierbare Phosphatanteil muss abgeschätzt werden. Dabei ist auch der P-Einbau in den Überschussschlamm zu berücksichtigen. Die Probenvorbereitung kann an diesem Messort aufwendig sein.
Ablauf Biologie	Nicht sinnvoll Das in der Schlammflocke gebundene, aber nicht fällbare Phosphat wird miterfasst, daher für Einbindung in die Regelung der Fällung nicht geeignet.	Sinnvoll Direkte Erfassung des fällbaren P-Anteils, durch kurze Verzugszeit gut geeignet zur Einbindung in die Regelung (bei geeigneter Dosierstelle). Nachteil: Keine vollständige Erfassung der Überwachungsgröße.
Ablauf Nachklärung	Nicht sinnvoll für die Einbindung in eine Regelung* Die Überwachungsgröße wird vollständig erfasst. Die Verzugszeit ist jedoch für eine Einbindung in die Regelung zu groß.	Nicht sinnvoll Wie Ablauf Biologie, aber wegen zu langer Verzugszeit nicht zur Einbindung in die Regelung geeignet.

Verzugszeit

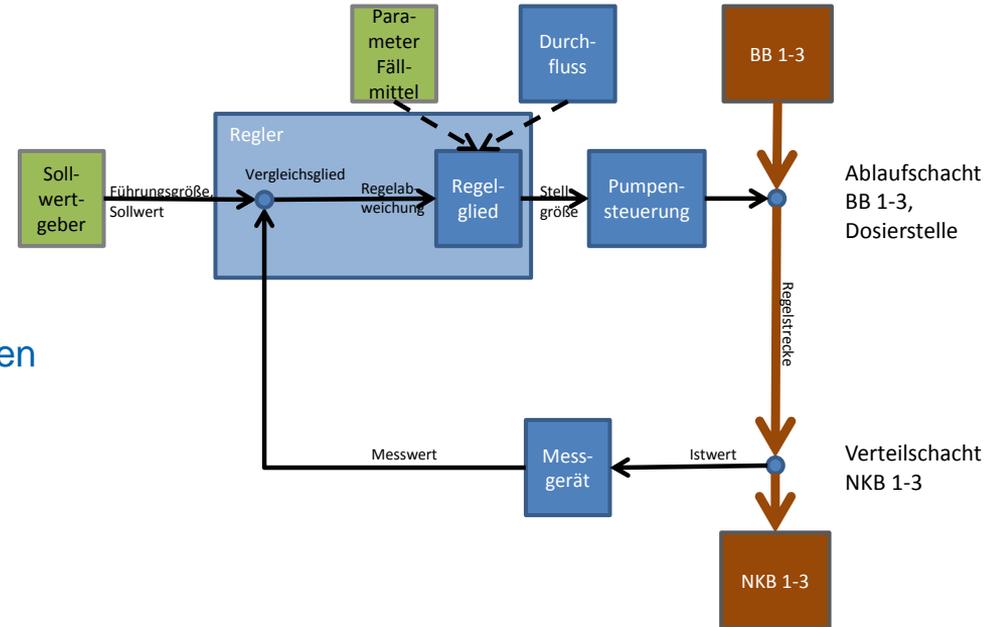
Kombinationen von Messorten und Messgrößen bei der Simultanfällung  
(ATV-DVWK-M 206)

# Fallbeispiel

## Optimierungsansätze, Regelung

### Zukünftiges Automatisierungskonzept Fällmittel und Kalkzugabe

- Automatisierungskonzept Fällmittel: Regelung nach einer zusätzlichen  $\text{PO}_4\text{-P}$ -Messung im Verteilerbauwerk Nachklärbecken
- Dosierung nach der zu fällenden Fracht (Aufschaltung Abwassermenge zum Abfangen Stoßbelastungen)
- zukünftig gesteuerte Kalkzugabe, um pH-Wert bedingte Limitierung beim Fällmitteleinsatz aufzuheben
- alternativ: Erprobung Umstellung auf alkalisches Fällmittel Natriumaluminat (zunächst Versuche aus IBC, dabei zu beachten: Schlammcharakteristik,  $\text{H}_2\text{S}$  im Faulgas)



# Fallbeispiel

## Analyse, Prüfung der Bio-P

- Prüfung der Kontaktzeit (0,5 - 0,75 h bezogen auf max.  $Q_t + Q_{RS}$ )
- Prüfung von Sauerstoff- und Nitrateinträgen ins Anaerobbecken
- Messung der Rücklösung im Anaerobbecken (Vergleich  $PO_4$ -P Ablauf mit Mischungskonzentration im Zulauf)
- **Versuch zur Phosphatrücklösung und -aufnahme im Labor**

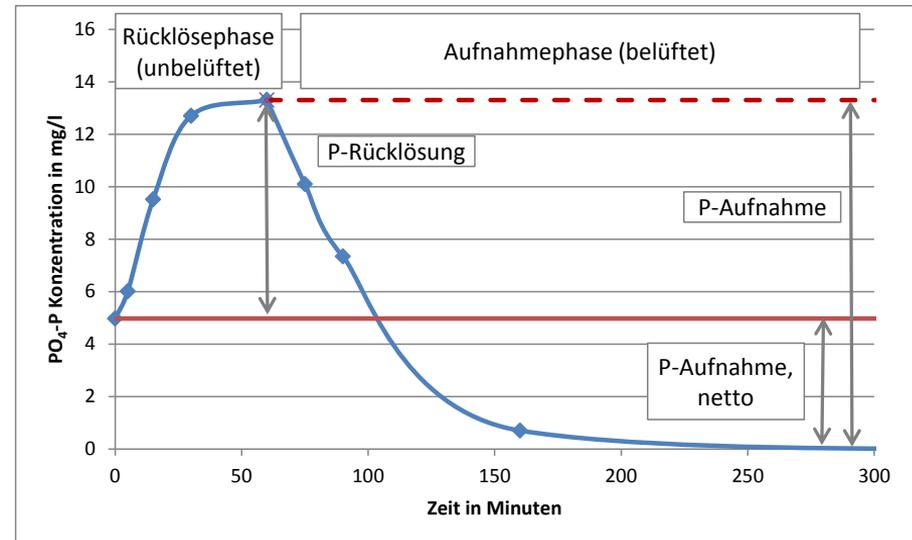


### Im Fallbeispiel untersucht:

- mit / ohne Kalkdosierung (wg. Fällwirkung)
- in Abhängigkeit vom Substratangebot (Wochenende, Woche, C-Dosierung: Glycerin)

**gute Bio-P bestätigt**

Bei diesem Versuch:  
vollständige P-Aufnahme



### Investitionskosten zur Ertüchtigung der P-Elimination:

- Fällmittelstation (inkl. Lagertank)
- Dosiertechnik, Einmischung
- Analysentechnik
- EMSR-Technik, Anbindung an PLS
- Sedimentation bzw. Stufen für weitergehenden Feststoffrückhalt: Maßnahmen NK, Tuchfiltration / Mikrosiebung, Sand-/ Mehrschicht-Filtration, (Membranfiltration)
- Um- und Neubauten



### Betriebskosten:

- Fällmittel
- Energie, Personal
- Wartung- und Instandhaltung
- Analysenkosten
- Kosten der Schlammbehandlung und -entsorgung
- Abwasserabgabe

**Einspar-  
potentiale  
prüfen**



**Fundierte Bewertung, belastbare Investitionsentscheidung:  
dynamische Kostenvergleichsrechnung, Ermittlung der Jahreskosten**

### § 10 Abwasserabgabengesetz, Absatz 3

(3) Werden Abwasserbehandlungsanlagen errichtet oder erweitert, deren Betrieb eine Minderung der Fracht einer der bewerteten Schadstoffe und Schadstoffgruppen in einem zu behandelnden Abwasserstrom um mindestens 20 vom Hundert sowie eine Minderung der Gesamtschadstofffracht beim Einleiten in das Gewässer erwarten lässt, so können die für die Errichtung oder Erweiterung der Anlage entstandenen Aufwendungen mit der für die in den drei Jahren vor der vorgesehenen Inbetriebnahme der Anlage insgesamt für diese Einleitung geschuldeten Abgabe verrechnet werden. Dies gilt nicht für den nach § 4 Abs. 4 erhöhten Teil der Abgabe. Ist die Abgabe bereits gezahlt, besteht ein entsprechender Rückzahlungsanspruch; dieser Anspruch ist nicht zu verzinsen. Die Abgabe ist nachzuerheben, wenn die Anlage nicht in Betrieb genommen wird oder eine Minderung um mindestens 20 vom Hundert nicht erreicht wird. Die nacherhobene Abgabe ist rückwirkend vom Zeitpunkt der Fälligkeit an entsprechend § 238 der Abgabenordnung zu verzinsen.

**Verrechnung der gesamten Abwasserabgabe der letzten 3 Jahre vor Inbetriebnahme bei Minderung einer Schadstofffracht um 20 %,**

**Verrechnungsfähig sind bauliche, verfahrenstechnische oder sonstige Maßnahmen (Planung, Genehmigung und Ausführung),**

**auch bei Teilstrombehandlung und Minderung Gesamtfracht**

# Fallbeispiel

## Optimierung chemische P-Elimination

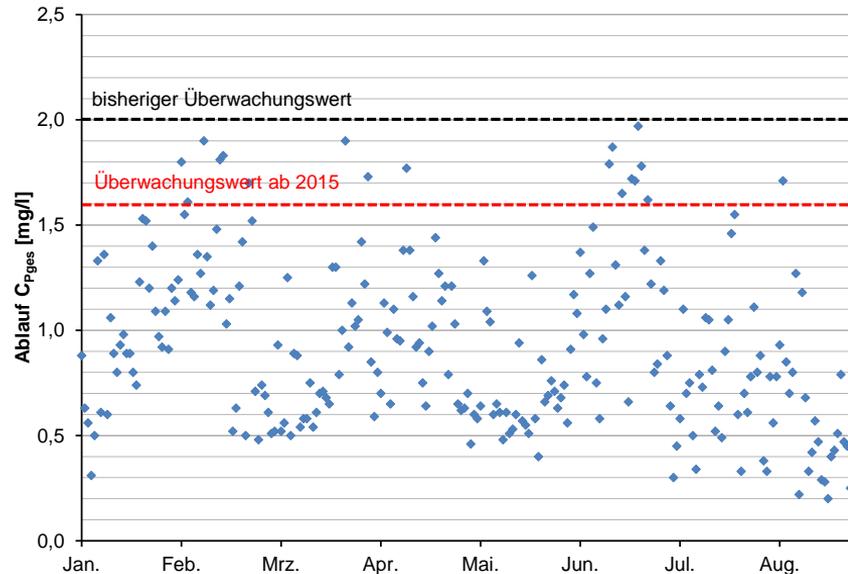
### Kommunale KA, 33.000 EW

- Ausgangssituation: konstante Fällmitteldosierung mit PAC
- bisheriger P-Überwachungswert: 2,0 mg/l
- seit dem 01.01.2015: 1,6 mg/l, dazu Betriebsmittelwert ca. 1,0 mg/l
- mittlere  $P_{ges}$ -Ablaufkonzentration: 0,9 mg/l, starke Schwankungen wegen konstanter Dosierung



Ablaufwerte und  
Überwachungswerte

**Handlungsbedarf**



# Fallbeispiel

## Optimierung chemische P-Elimination

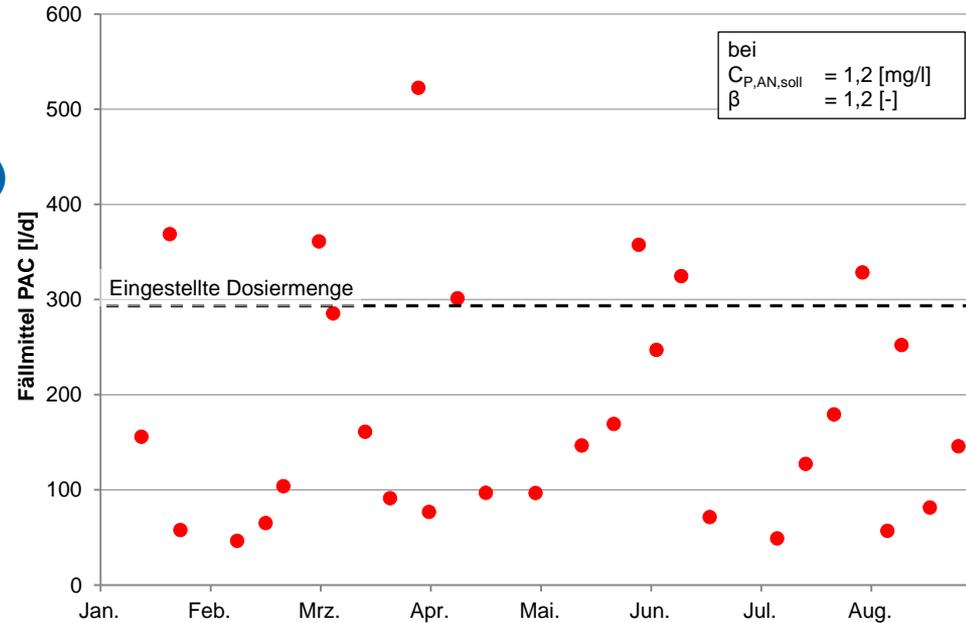
### Nachbemessung des Fällmittelbedarfs

#### Berechnung nach DWA-A 202 (bisheriger ÜW)

- an einigen Tagen Überdosierung, an anderen Tagen wird rechnerisch zu wenig Fällmittel dosiert (Gefahr Überschreitung)
- im Mittel wird überdosiert:  
eingestellte Menge von 295 l/d  
ggü. 184 l/d ( $\beta = 1,2$ ) bzw. 230 l/d ( $\beta = 1,5$ )

#### Erneuerung bzw. Erweiterung der Messtechnik und Fällmittelstation, inkl.

- Automatisierungskonzept zur Fällmitteldosierung, Steuerung nach der  $\text{PO}_4\text{-P}$ -Fracht
- Installation  $\text{PO}_4$ -Messung, regelbare Dosierpumpen
- neuer Fällmitteltank



# Fallbeispiel

## Investitionskosten

### Übersicht Investitionskosten

HDPE Behälter 25 m <sup>3</sup> , mit integrierter Auffangwanne und Leckageüberwachung	20.100 €
Pumpen (2 Stk, ein Aggregat redundant)	6.500 €
Schaltschrank inkl. Verkabelung	6.100 €
Wetterschutz	4.300 €
Bautechnik, Leitungen	30.000 €
Phosphat-Messung	11.000 €
Filtrationseinheit	5.000 €
Controller	3.000 €
Einbindung in PLS	9.000 €
Montage und Inbetriebnahme	4.500 €
Baunebenkosten	15.000 €
<b>Summe</b>	<b>114.500 €</b>
<b>Summe ohne Behälter und Bautechnik</b>	<b>64.400 €</b>



# Fallbeispiel

## Verrechnung mit der Abwasserabgabe

### Potential zur Verrechnung mit der Abwasserabgabe

	ÜW	JSM	Schadstoff- fracht	Schädlichkeits- faktor	Schad- einheiten	Abgabe- satz	Abgabe
	mg/l	m³/a	kg/a	kg/SE	SE	EUR/SE	EUR/a
<b>CSB</b>	50	2.375.000	118.750	50	2.375	17,90	42.512,50
<b>N<sub>ges</sub></b>	12	2.375.000	28.500	25	1.140	17,90	20.406,00
<b>P<sub>ges</sub></b>	2	2.375.000	4.750	3	1.583	17,90	28.341,67
					<b>Summe</b>		<b>91.260,17</b>

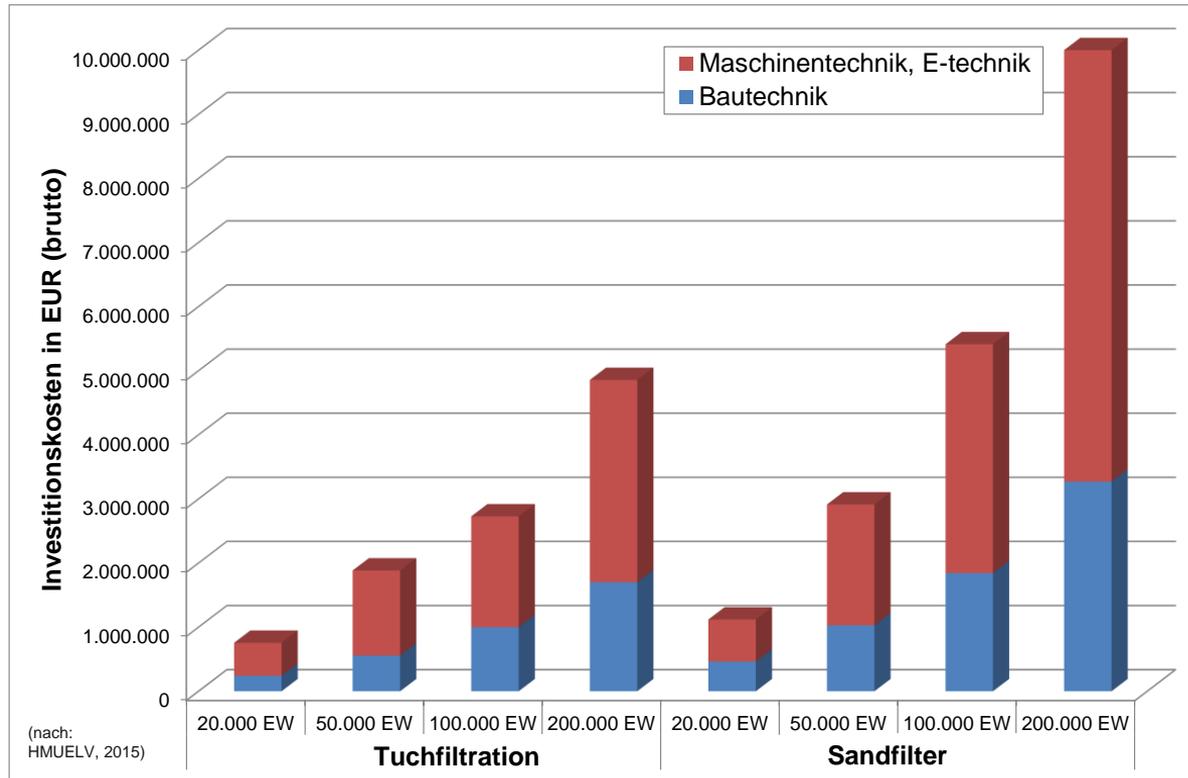
Auf Basis der Abwasserabgabe der letzten 3 a stehen  
**3 x 91.260 EUR = 273.780 EUR**  
 zur Optimierung der P-Fällung zur Verfügung

Zukünftig  
 Einsparungen beim  
 Fällmittel von bis zu  
 ca. 35 % bzw.  
**ca. 11.000 EUR/a**  
 und Einsparung  
 Abwasserabgabe

Kosten für die Optimierung  
 inkl. Messtechnik:  
**64.400 EUR**  
 Inkl. Fällmitteltank:  
**114.500 EUR**

Investitionen zur Optimierung der  
 P-Fällung können komplett mit der  
 Abwasserabgabe verrechnet werden

# Investitionskosten weitergehende Suspensaelimination



**P < 0,5 mg/l**

Weiterhin:

- **Mehrschichtfiltration**
- **(Membranfiltration)**

- **Einbezug lokale Randbedingungen, Untersuchung im Einzelfall**
- **Betrachtung inkl. Betriebskosten, dynamische Kostenvergleichsrechnung**

## Verschärfte Anforderungen an die Phosphorelimination im Zuge der Maßnahmenprogramme zur Umsetzung der WRRL – Berücksichtigung bei Betrieb und Planung

### Anlagen mit chemischer Phosphorelimination

- Für erhöhte Anforderungen ( $P_{ges} < 0,5 \text{ mg/l}$ ) ist eine nahezu vollständige Phosphatfällung erforderlich.
- Leistungssteigerung und Effizienz der chemischen P-Elimination durch
  - Überprüfung Wirksamkeit Fällmitteleinsatz, Kennzahlen  $\beta$  und  $K_p$
  - Auswahl der Dosierstelle, intensive Einmischung
  - Prüfung Automatisierungskonzept, Optimierung der Steuerung / Regelung
  - Prüfung 2-Punkt-Fällung zur Effizienzsteigerung, insbesondere bei erhöhten Anforderungen
- Prüfung der Möglichkeit einer weitergehenden biologischen Phosphorelimination, Erfahrungswert > 50 % Einsparung Fällmittel

### Anlagen mit biologischer Phosphorelimination

- Vermeidung Sauerstoff-, Nitrateinträge ins Anaerobbecken
- Prüfung Kontaktzeit, Versuche zur P-Rücklösung und P-Aufnahme

## Prüfung weitergehende Suspensa-Entnahme für erhöhte Anforderungen

- Ertüchtigung Nachklärung
- Tuchfiltration / Mikrosiebung, Sand-/ Mehrschicht-Filtration, (Membranfiltration)

## **Verrechnung von Aufwendungen für die Errichtung / Erweiterung mit der Abwasserabgabe**

- Minderung um 20% (ÜW, JSM)

## **Synergieeffekte und Schnittstellen**

- 4. Reinigungsstufe: beinhaltet Möglichkeit zur Leistungssteigerung bei der Phosphorelimination
- zukünftige Maßnahmen zur P-Rückgewinnung:  
Gesamtbetrachtung Abwasser- und Schlammbehandlung (*Reduktion Rückbelastung*)

## **Maßgebend zur belastbaren Bewertung von Maßnahmen und Investitionen**

- Investitionskosten und Betriebskosten und finanzmathematische Aufbereitung, KVR



# Informationsveranstaltung am 13. Juli 2016

## Weitergehende Phosphorelimination

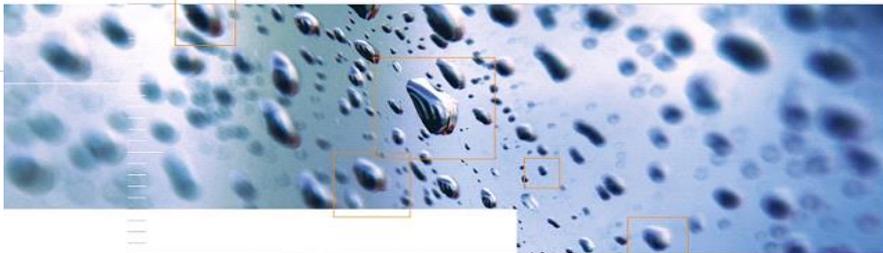
Fragen

Diskussion

Erfahrungsaustausch



Perspektiven für das  
Wassermanagement



**Emscher Wassertechnik GmbH**

**Dipl.-Ing. Peter Wulf,  
Prof. Dr.-Ing. habil. Holger Scheer**

Brunnenstr. 37  
45128 Essen

Telefon: + 49(0) 201 - 3610 - 0  
Telefax: + 49(0) 201 - 3610 - 100

E-Mail: [wulf@ewlw.de](mailto:wulf@ewlw.de)  
Internet: [www.ewlw.de](http://www.ewlw.de)