

Kurzfassung

Die Analysen des Kläranlagenablaufs und im Gewässer zeigen, dass die Integration einer 4. Reinigungsstufe zur Reduzierung von anthropogenen Spurenstoffen (Mikroverunreinigungen) für die Kläranlage Espelkamp angezeigt ist, da sich insbesondere bei den Pharmazeutika vergleichsweise hohe Werte finden. Hierbei sticht insbesondere das Antirheumatikum Diclofenac mit 4,7 µg/l im Ablauf der Kläranlage bzw. mit 2,1 µg/l hervor.

Im Rahmen der Studie wurden unterschiedliche Verfahren zur Reduzierung der allermeisten Mikroverunreinigungen auf ihre Eignung für die Kläranlage Espelkamp überprüft. Allen Verfahren ist gemeinsam, dass damit eine 60 bis 80 %-ige Reduzierung dieser Stoffe möglich sein sollte. Mit dieser Zielvorgabe erfolgte die Auslegung der Anlagen und der Betriebsstoffe.

Die untersuchten Verfahren sind

1. Ozonierung
2. Direkte PAK-Zugabe in die Belebung
3. Nachgeschaltete PAK-Dosierung
4. GAK-Filter
5. Kombination Ozon und PAK
6. Kombination Ozon und Ultraschall

Das Verfahren der direkten PAK-Zugabe in die Belebung musste verworfen werden, da hierbei das Schlammalter der Belebung unzulässig verringert würde. Die Folge davon ist, dass eine vollständige Nitrifikation ohne eine Vergrößerung der Belebungsbecken nicht zu jeder Zeit sichergestellt werden kann.

Das Kombinationsverfahren Ozon und PAK ist nicht deutlich leistungsfähiger als jedes seiner Einzelverfahren aber erheblich kostenintensiver. Eine Kombination macht daher für die Kläranlage Espelkamp keinen Sinn.

Die Kombination Ozon und Ultraschall ist hinsichtlich der Leistungen der Ultraschallanlage wenig untersucht. Somit ist diese Kombination Gegenstand der Forschung und kann nicht für die praktische Anwendung auf der Kläranlage Espelkamp empfohlen werden.

Die verbleibenden drei Verfahren wurden einer näheren Untersuchung hinsichtlich Leistungen, Integrierbarkeit und Wirtschaftlichkeit unterzogen.

Die Tabelle 1 zeigt die Zusammenstellung der Kosten, die von den Verfahren jeweils verursacht werden. Es ist ersichtlich, dass die Ozonierung im Vergleich zu den anderen Verfahren die mit Abstand kostengünstigste Variante dargestellt.

Ursache dafür ist, dass die PAK-Behandlung einen investitionsintensiven Sandfilter zur Abtrennung der Feinkohlefraktion bedingt. Die Ozonierung erfordert als Nachbehandlungsverfahren lediglich den vorhandenen belüfteten Schönungsteich, der für eine Elimination der entstehenden Metaboliten allen Erfahrungen nach ausreichend sein sollte.

Nachteilig an der PAK-Variante ist zudem, dass die bestehende Belebung von dem Verfahren stark beeinflusst wird. So ist es aufgrund des knappen Schlammalters auch hierbei nicht möglich, die Restkohle in die Belebung zurückzuführen. Die zu erwartenden Eliminationsleistungen sinkt dadurch bzw. die erforderliche PAK-Zugabe müsste erhöht werden.

Tabelle 1: Zusammenstellung der Brutto-Kosten der jeweiligen Verfahren zur Reduzierung von Mikroverunreinigungen

	Ozonierung	nachgeschaltete PAK inkl. Sandfilter	GAK-Filter
Investitionen	1.334.288	1.738.508	1.623.383
Kapitalkosten [€/a]	104.147	140.381	136.132
Betriebskosten [€/a]	62.000	90.350	65.800
davon Strom [€/a]	25.000	32.000	25.200
Jahreskosten [€/a]	166.147	220.731	201.932
Kosten pro EW [€/EW]	6,13	8,15	7,45
Kosten pro m ³ Schmutzwasser [€/m ³]	0,12	0,16	0,14
Variantenvergleich Jahreskosten	100 %	133 %	121 %

Da die drei Verfahren bei den Stromkosten in vergleichbarer Größenordnung liegen, liefert eine Sensitivitätsanalyse zur Strompreisentwicklung keine veränderte Reihenfolge der Jahreskosten-Bewertung, so dass darauf verzichtet werden kann.

Da die Kosten für den Austausch der Aktivkohle ebenfalls mit den Energiekosten korrelieren, weisen die Verfahren mit PAK und GAK tendenziell größere Unsicherheiten bezüglich der Betriebskosten auf. Somit sind die Betriebskosten für die Ozonierung mit Ausnahme der Stromkosten konstant, während sich die Entwicklung der Kosten für die Aktivkohle für die Verfahren mit PAK und GAK kaum prognostizieren lässt.

Aufgrund der vielfältigen Erfahrungen, die auf anderen Anlagen mit der Ozonierung in den letzten Jahren gewonnen wurden, handelt es sich hierbei um ein sicheres und beherrschbares Verfahren mit ausgezeichneten Eliminationsraten.

Darüber hinaus zeigt der Vergleich mit diesen Anlagen, dass die Kosten in aller Regel niedriger ausfallen als bei PAK und GAK.

Da die Ozonierung auf der Kläranlage Espelkamp gut integrierbar ist und durch den vorhandenen Schönungsteich die Gefahr der Einleitung von Metaboliten und unerwünschten Reaktionsprodukten in das Gewässer kaum gegeben ist, wird insbesondere auch unter Wirtschaftlichkeitsgesichtspunkten dieses Verfahren empfohlen.

Unabhängig vom gewählten Verfahren, wird sich die CSB-Ablaufkonzentration erheblich verringern, so dass die Abwasserabgabe in Höhe von jährlich 30.000 € für drei Jahre verrechnet werden kann.

Weitere Projektinformationen aus der Studie finden sich in beigefügter Präsentation.

München, den 06. April 2014



Dr.-Ing. Ralf Mitsdoerffer



Prof. Dr.-Ing. O. Christ



Stadtwerke Espelkamp
Anstalt des öffentlichen Rechts

GFM GMBH
BERATENDE INGENIEURE

Weitergehende Reduzierung von Mikroverunreinigungen auf der Kläranlage Espelkamp

– Optionen zur Integration einer 4. Reinigungsstufe –

Espelkamp, den 07. April 2014

Dr.-Ing. Ralf Mitsdoerffer

Prof. Dr.-Ing. Oliver Christ

Aufgabenstellung

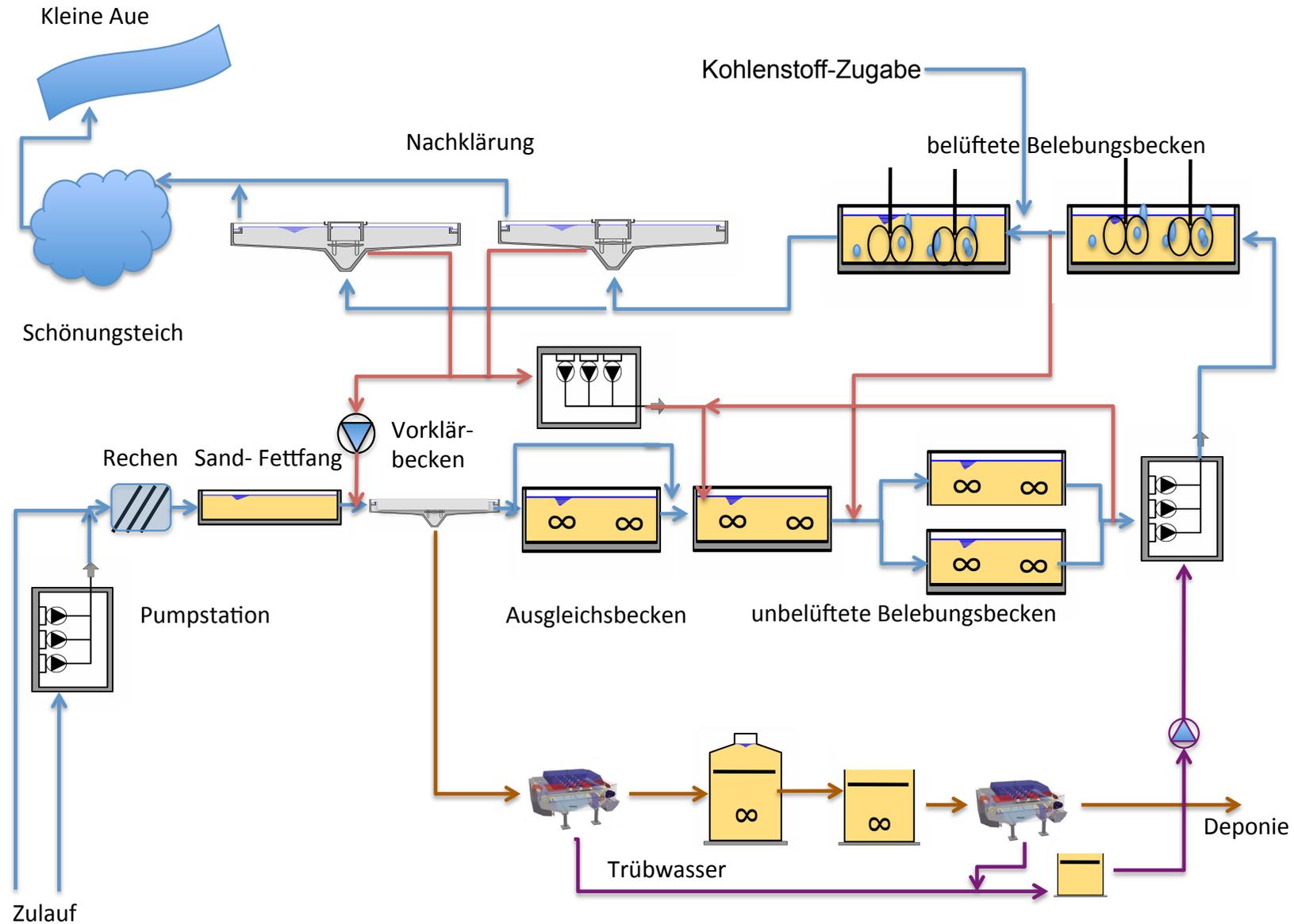
- Zusammenstellung und Einsatzmöglichkeit möglicher Eliminationsverfahren
- Diskussion und Bewertung der Verfahren für die KA Espelkamp
- Wirtschaftlichkeitsbetrachtung relevanter Verfahren
- Empfehlung eines Verfahrens

⇒ Betrachtete Verfahren

(grau gekennzeichnete Verfahren wurden in der Studie verworfen)

- Ozonierung
- Pulveraktivkohle (PAK)
 - Simultan
 - Nachgeschaltet
- Granulierte Aktivkohle (GAK)
- Kombinationsverfahren
 - Ozon + PAK
 - Ozon + Ultraschall (US)

Lageplan-Schema



■ Jahreswerte

- Schmutzwasser

$$Q_{\text{tw,a}} = 1.396.490 \text{ m}^3/\text{Jahr}$$

- Gesamtabwasser

$$Q_{\text{ges,a}} = 1.705.479 \text{ m}^3/\text{Jahr}$$

■ Tageswerten

- maximaler TW-Zufluss

$$Q_{\text{tw,d}} = 4.762 \text{ m}^3/\text{Tag}$$

- maximaler RW-Zufluss

$$Q_{\text{ges,d}} = 11.255 \text{ m}^3/\text{Tag}$$

■ Anlagenbemessungswerte

- maximaler Stundenzufluss

$$Q_{\text{tw,h}} = 111,1 \text{ l/s} \quad (x_{Q_{\text{max}}} = 12 \text{ h/d})$$

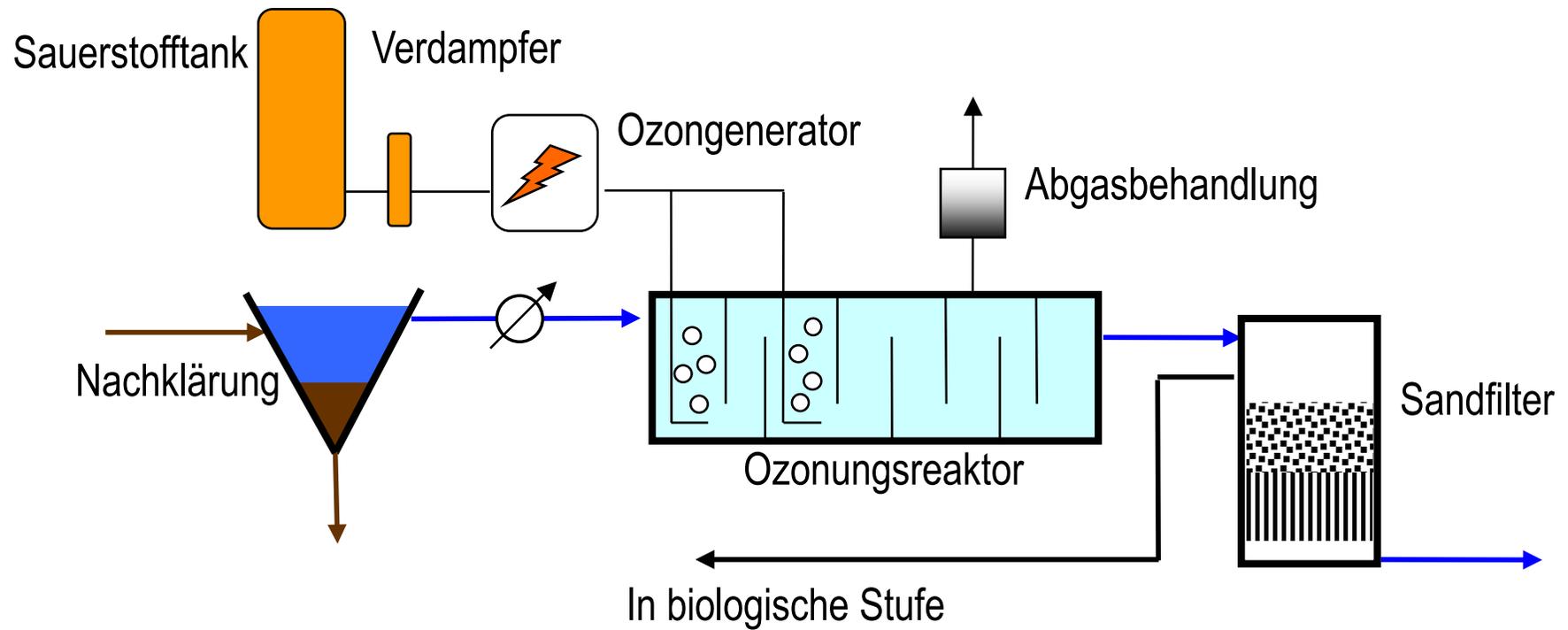
- maximaler Mischwasserzufluss

$$Q_{\text{ges,h}} = 230,0 \text{ l/s} \quad (\text{gem. Bescheid})$$

Analysenergebnisse

Stoffgruppe	Leitparameter	Einheit	Ablauf KA Espelkamp	Gewässer unterhalb KA-Ablauf	DU-Vierlinden KA-Ablauf	Schweiz KA Ablauf	Schweiz Gewässer	UQN/OW
Röntgen-Kontrastmittel	Amidotrizoesäure	µg/l	< 0,05	0,22	0,14	0,598	0,206	0,100
	Iopamidol	µg/l	2,20	3,60	0,016	0,377	0,092	0,100
	Iomeprol	µg/l	0,09	0,12	0,011	0,380	0,275	0,100
Antibiotika	Sulfamethoxazol	µg/l	0,43	0,41	0,33 - 1,3	0,238	0,026	0,150
Antiepileptika	Carbamazepin	µg/l	1,40	0,89	0,92 - 2,8	0,482	0,013	0,500
Antirheumatika	Diclofenac	µg/l	4,70	2,10	0,84 - 4,5	0,647	0,065	0,100
Betablocker	Metoprolol	µg/l	3,40	1,90	0,29 - 1,74	0,020	0,166	7,300
Flammschutzmittel	TCPP	µg/l	1,10	0,89				10,000
Korrosionsschutzmittel	1-H Benzotriazol	µg/l	7,30	5,30		12,881	1,230	10,000
Endokrine Stoffe	Bisphenol A	µg/l	0,13	0,20		0,331	0,840	0,100
	Ethinylestradiol	µg/l	< 0,02	< 0,02		0,002	0,010	0,000035
Psychopharmaka	Melperon	µg/l	0,09	< 0,05				
Pflanzenschutzmittel	Isoproturon	µg/l	< 0,05	< 0,05		0,012	0,315	0,300
	Diuron	µg/l	0,28	0,29		1,379	0,070	0,200
Weichmacher	DEHP	µg/l	1,70	1,70				1,300
Moschusduftstoffe	AHTN	µg/l	< 0,03	< 0,03				3,500
	HHCB	µg/l	0,70	0,24				7,000
Komplexbildner	EDTA	µg/l	40,00	20,00				240,000

Ozonierung



Integration der Ozonierung

- Abgedecktes Kontaktbecken inkl. Pumpstation mit O₃-Injektoren der O₃-Diffusoren
 - Volumen Kontaktbecken 200 m³
- Ozongenerator im Betriebsgebäude
 - O₃-Erzeugungsleistung 3,2 kgO₃/Stunde
 - jährlicher O₃-Bedarf 11.172 kgO₃/Jahr
- Restozonvernichter mit Absauggebläse
- Sauerstofftank (Befüllung alle 2 Monate)
 - jährlicher O₂-Bedarf 112 toO₂/Jahr
 - Volumen O₂-Tank 18 m³
- Vorhandener Schönungsteich
 - Elimination der Metabolite

Bewertung der Ozonierung

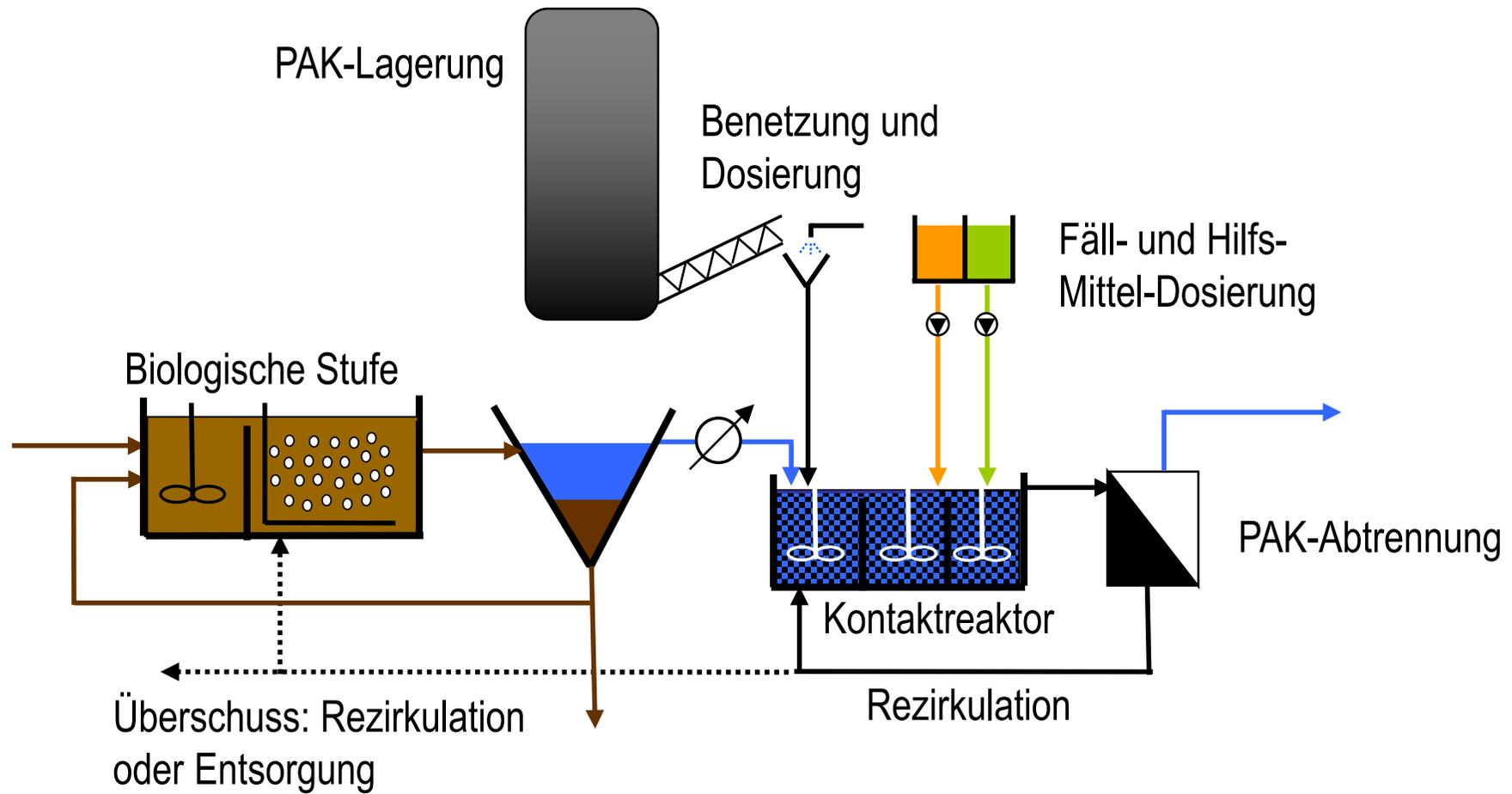
■ Vorteile

- keine erhöhte Schlammproduktion
- keine Einschränkungen bei der bisherigen Schlammverwertung
- gute Eliminationsleistung von Mikroschadstoffen
- ganzjährige Desinfektion des Kläranlagenablaufs
- weitestgehende Elimination von CSB
- sinnvolle Nutzung des Schönungsteichs
- breite Erfahrungen anderer Anlagen vorhanden
- Investitionskostenicherheit
- Behandlung des gesamten Mischwasserzulaufs
- gute Integrierbarkeit in die bestehende Kläranlage

■ Nachteile

- hohe Energiekosten für die Ozonerzeugung
- hohe Kosten für den Bezug von Reinsauerstoff
- eingeschränkte Eliminationsleistung bei Röntgen-Kontrastmitteln
- mögliche Bildung von gewässerbelastenden Metaboliten

Nachgeschaltete Pulveraktivkohle



Integration der nachgeschalteten PAK

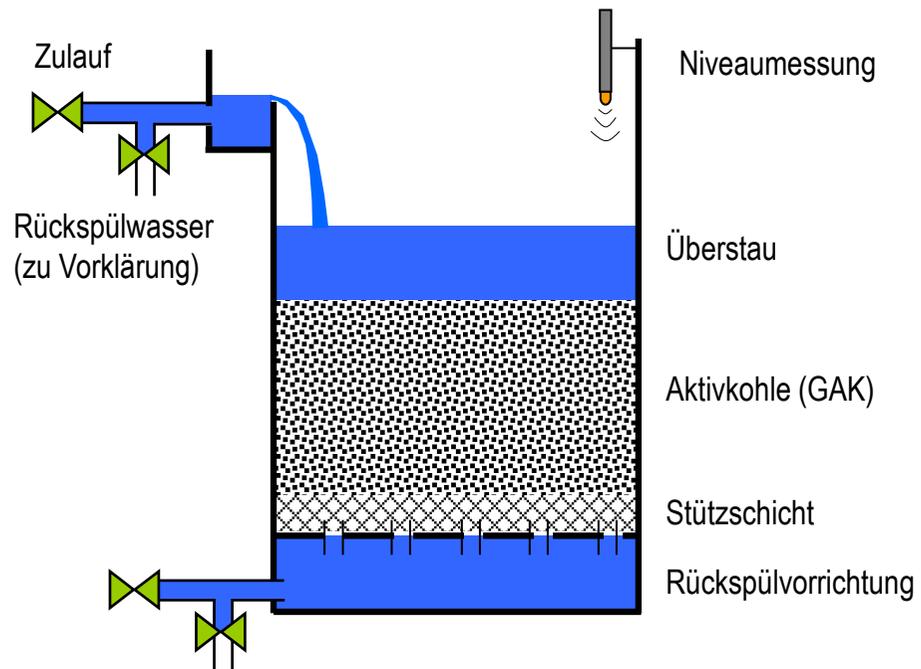
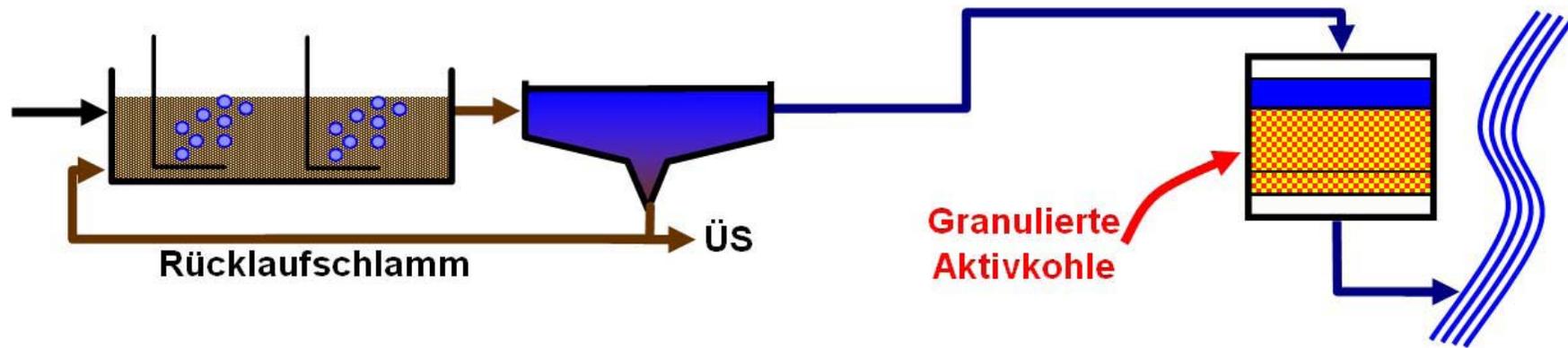
- Kontakt- und Reaktionsbecken (vorh. Deni-Becken)
 - Volumen Kontaktbecken 160 m³
 - Volumen Sedimentationsbecken 482 m³
- Sandfilter mit einer Oberfläche von 32 m²
- Reststoffe
 - Feststoffe durch PAK-Dosierung 57,4 kg_{TR}/d
 - Feststoffe durch Fällschlamm 36,0 kg_{TR}/d
 - jährliche Erhöhung des Faulschlammanfalls 34 t_{TR}/a
 - prozentuale Erhöhung des Schlammanfalls 7,5 %
- Verringerung des Schlammalters der Belebung durch Restkohle-Rückführung
 - Derzeitiges Bemessungsschlammalter 16 Tage
 - Schlammalter nach Kohle-Rückführung 14 Tage

Bewertung der nachgeschalteten PAK

- Vorteile
 - vorhandenes Deni-Becken kann genutzt werden
 - keine Bildung von Metaboliten im Ablauf der Behandlungsanlage
 - weitestgehende Elimination von CSB

- Nachteile
 - Notwendigkeit eines Sandfilters
 - Große Mengen an nicht regenerierbarer Überschussskohle
 - keine PAK-Rückführung in die Belebung möglich (TS_{BB} !)
 - Verringerung der Eliminationsleistung
 - Erhöhung der PAK-Dosierung
 - Zwingende thermische Schlammmentsorgung
 - keine Mischwasserbehandlung
 - Erhöhte Abrasion an Rohrleitungen und Pumpen
 - keine Abwasser-Desinfektion

GAK-Filtration



Integration der GAK-Filtration

- GAK-Filtrationsanlage
 - Gesamtoberfläche Filter 50 m²
 - Gesamtvolumen Filter 100 m³
 - Filterbetthöhe 2 m
 - Anzahl Filterzellen 5
- GAK-Bedarf
 - Austauschintervall GAK 11 Monate
 - GAK-Verbrauchsvolumen 113 m³_{GAK}/Jahr
 - GAK-Verbrauchsgewicht 34 to_{GAK}/Jahr
- Reststoffe
 - Filterspülschlämme (Einleitung ins VKB) 17 to_{TR}/Jahr

Bewertung der GAK-Filtration

- Vorteile
 - kein zusätzlicher ÜS-Schlammanfall
 - Regenerierbarkeit der GAK
 - keine Beeinflussung der bestehenden Kläranlagen-Verfahrenstechnik
 - keine Bildung von Metaboliten im Ablauf der GAK-Filtration
 - Vollständige Mitbehandlung des Mischwassers
 - Feststoffe im Ablauf werden minimiert
 - weitestgehende Elimination von CSB

- Nachteile
 - keine Desinfektion des Abwassers
 - mögliche Filter-Durchbrüche einzelner Substanzen insbesondere bei schlecht sorbierbaren Stoffen (z. B. Sulfamethoxazol)

- **Simultane PAK-Dosierung**
 - Dosierung der PAK direkt in die Belebung
 - Verringerung der Schlammalters auf 12 Tage (erforderlich: 16 Tage)
-> nicht möglich!
 - hoher PAK-Bedarf ($56 \text{ to}_{\text{TR}}/\text{Jahr}$ -> 78.000 €/Jahr)
 - Steigerung des Schlammanfalls um 18 %
(+ $248 \text{ kg}_{\text{TR}}/\text{Tag}$ -> 36.000 €/Jahr)
- **Ozon + PAK**
 - keine verbesserten Abbauleistungen
 - deutlich höhere Betriebsaufwände
 - deutlich höhere Investitionen
- **Ozon + Ultraschall**
 - Wirksamkeit und Nutzen des Ultraschalls ist wissenschaftlich derzeit nicht belegt

Kosten und Wirtschaftlichkeit

	Ozonierung	nachgeschaltete PAK inkl. Sandfilter	GAK-Filter
Investitionen	1.334.288	1.738.508	1.623.383
Kapitalkosten [€/a]	104.147	140.381	136.132
Betriebskosten [€/a]	62.000	90.350	65.800
davon Strom [€/a]	25.000	32.000	25.200
Jahreskosten [€/a]	166.147	220.731	201.932
Kosten pro EW [€/EW]	6,13	8,15	7,45
Kosten pro m ³ Schmutzwasser [€/m ³]	0,12	0,16	0,14
Variantenvergleich Jahreskosten	100 %	133 %	121 %

Zusammenfassung und Empfehlung

- Vergleichsweise hohe Konzentrationen an Mikroverunreinigungen – insbesondere bei den Pharmazeutika
- Betrachtete Verfahren weisen Eliminationsraten zwischen 60 und 80 % auf
- Ozonierung
 - Schönungsteich wird sinnvoll genutzt
 - keine Beeinträchtigung des Kläranlagenbetriebes
 - kein zusätzlicher Schlammanfall
 - Desinfektion des Abwassers
- Nachgeschaltete PAK
 - Deni-Becken kann als Behandlungsbecken genutzt werden
 - unzulässige Verringerung des Schlammalters der Belebung durch Restkohle-Rückführung
 - deutlich höherer Schlammanfall
 - Sandfilter erforderlich
- GAK-Filtration
 - keine wesentliche Beeinträchtigung des Kläranlagenbetriebs
 - kein erhöhter Schlammanfall
 - Verringerung der TS-Konzentration im Ablauf
 - bei langen Filterlaufzeiten sind Durchbrüche einzelner Substanzen möglich
- Die Ozonierung ist für die KA Espelkamp das Verfahren der Wahl