



Fällmittel – Phosphatelimination und gleichzeitige Blähschlamm- und Schwimmschlammbekämpfung – Erfahrungen aus der Schweiz

Dr. Jürg Kappeler
Kappeler Umwelt Consulting AG
kappeler@kuc.ch

KAPPELER 
Umwelt Consulting AG
CH-7000 Chur CH-4222 Zwingen

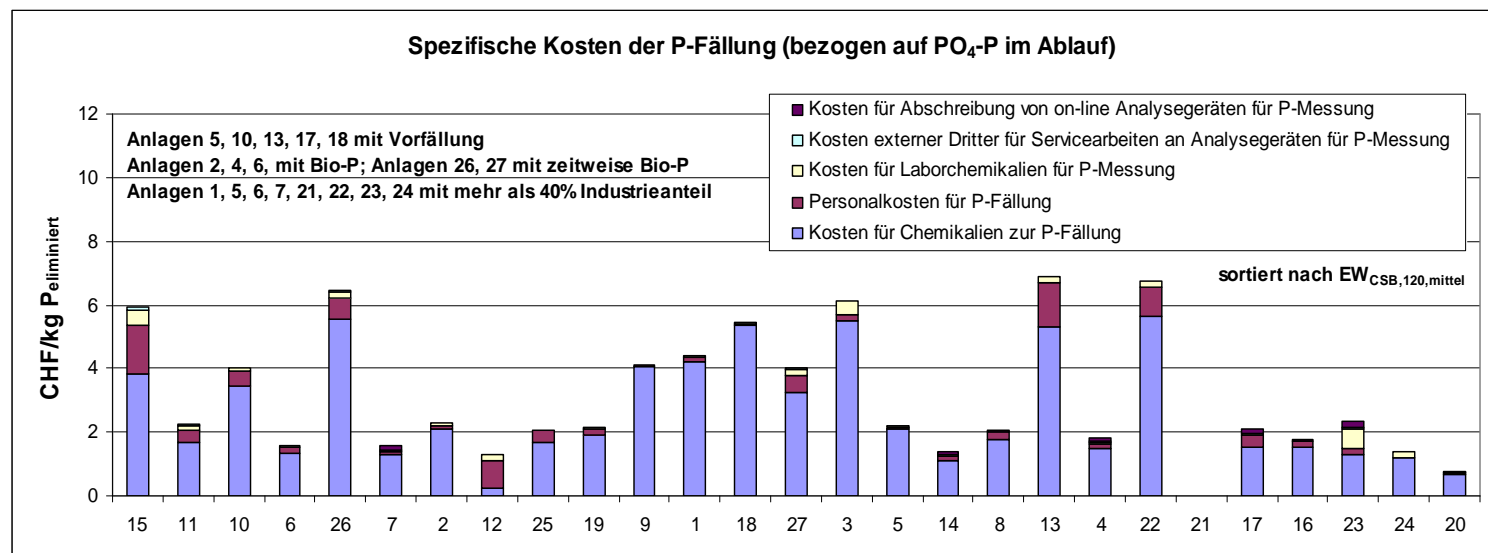


Fällmittel – P-Elimination und Blähschlamm- und Schwimmschlammbekämpfung – Erfahrungen aus der Schweiz

- ❖ Inhalt
 - ❖ Grundsätze der P-Fällung
 - ❖ Blähschlamm und Schwimmschlamm
 - ❖ Möglichkeiten der Beeinflussung von Blähschlamm und Schwimmschlamm
 - ❖ Zusammenfassung

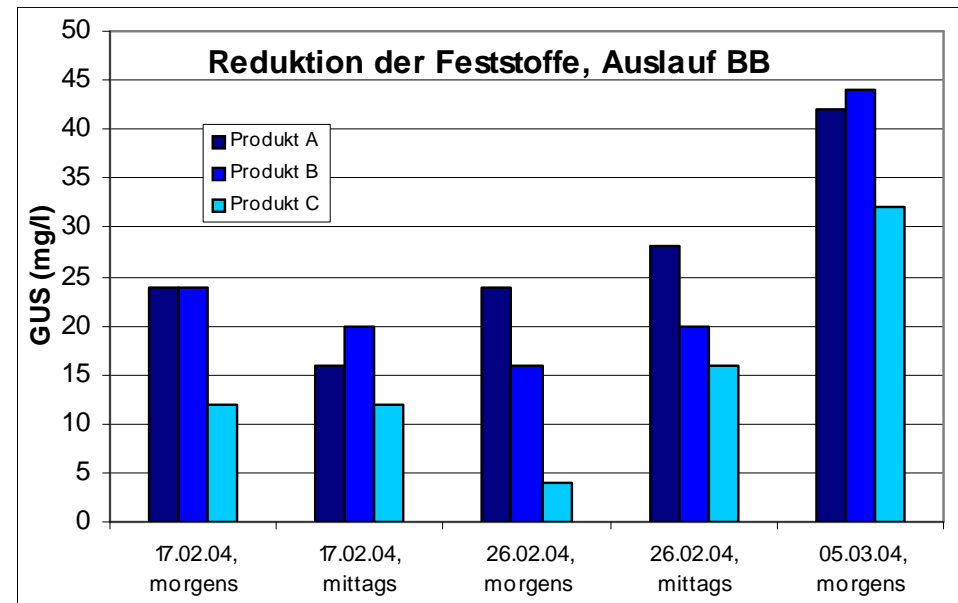
Fällmittel – P-Elimination und Blähschlamm- und Schwimmschlammbekämpfung – Erfahrungen aus der Schweiz

- ❖ Grundsätze der P-Fällung
 - ❖ Beurteilungskriterien Kriterien
 - ❖ P_{tot} -Ablaufwert
 - ❖ Kosten (€/kg $P_{\text{eliminiert}}$)
 - ❖ evtl. Blähschlamm- und Schwimmschlammbekämpfung, Betriebsstabilisierung etc.



Fällmittel – P-Elimination und Blähschlamm- und Schwimmschlammbekämpfung – Erfahrungen aus der Schweiz

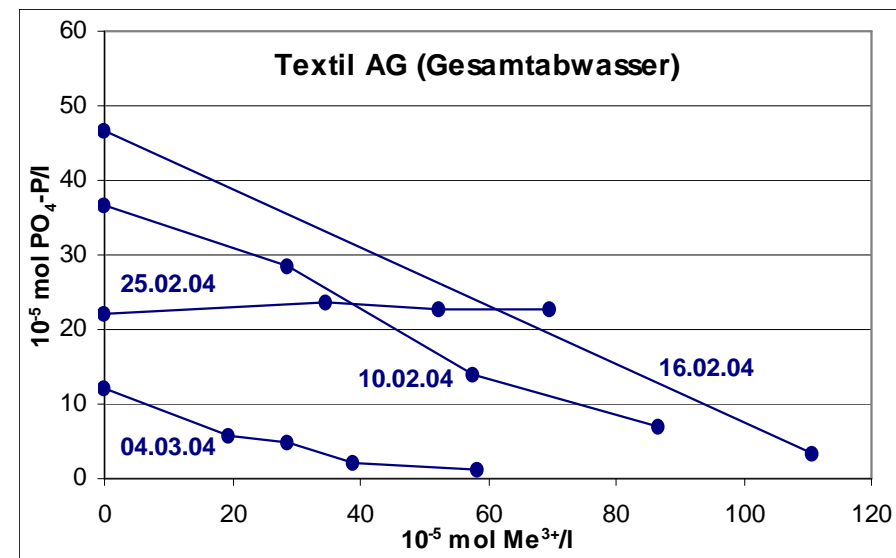
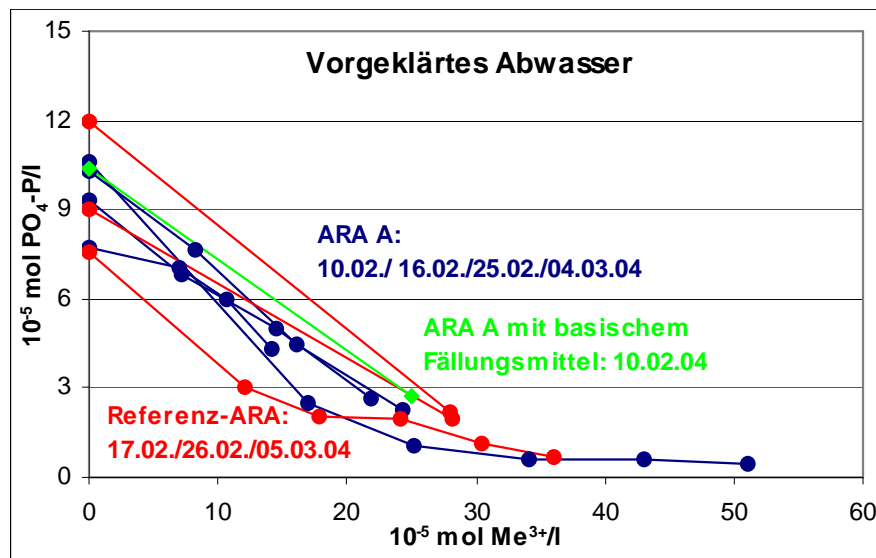
- ❖ Grundsätze der P-Fällung
 - ❖ verschiedene Einsatzorte
 - ❖ Vorfällung
 - ❖ Simultanfällung
 - ❖ Nachfällung auf Filter
 - ❖ verschiedene Verfahren
 - ❖ Belebtschlamm
 - ❖ Biofiltration
 - ❖ Wirbelbett etc.





Fällmittel – P-Elimination und Blähschlamm- und Schwimmschlammbekämpfung – Erfahrungen aus der Schweiz

- ❖ Grundsätze der P-Fällung
 - ❖ Abwasserbeschaffenheit
 - ❖ nur kommunales Abwasser
 - ❖ hoher Industrieabwasseranteil





Fällmittel – P-Elimination und Blähschlamm- und Schwimmschlammbekämpfung – Erfahrungen aus der Schweiz

- ❖ Grundsätze der P-Fällung
 - ❖ Störfaktoren
 - ❖ Hydroxidbildung
 - ❖ Karbonatbildung
 - ❖ Komplexierung mit organischen Stoffen
 - ❖ Adsorptionsreaktionen
 - ❖ hohe Salzkonzentrationen (Einfluss auf Löslichkeitsgleichgewicht)
 - ❖ Prozesskombination
 - ❖ Bio-P
 - ❖ Einleitbedingung
 - ❖ 2 mg P_{tot} /l, 0.2 mg P_{tot} /l

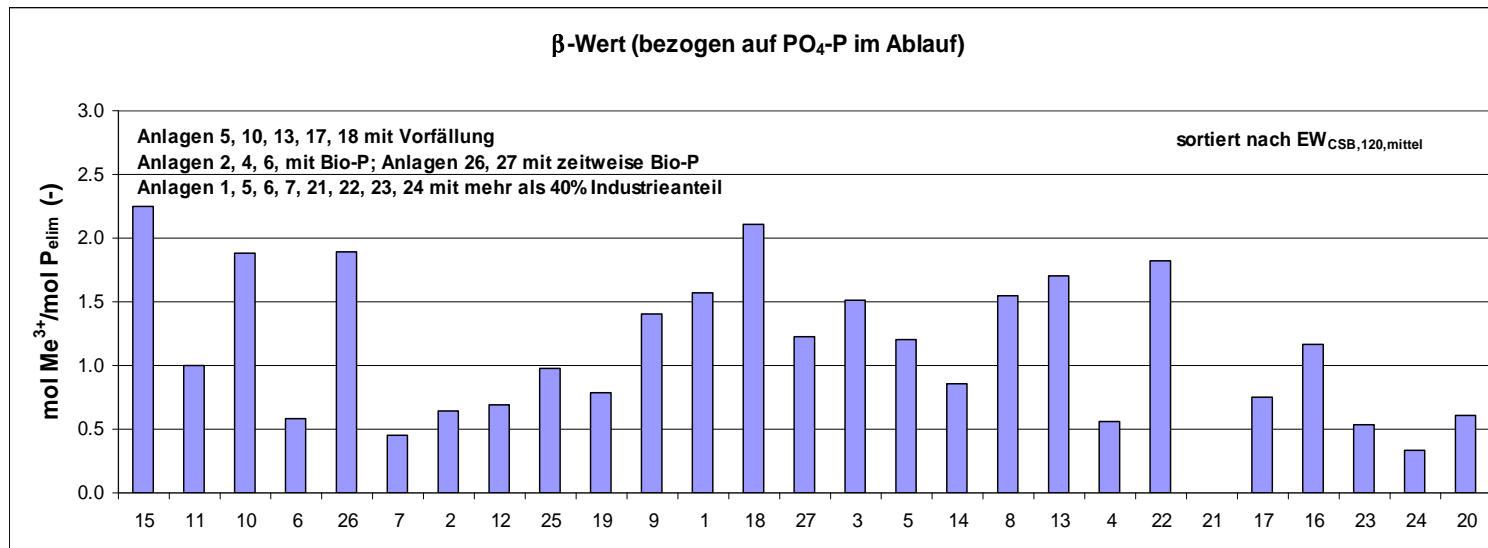


Fällmittel – P-Elimination und Blähschlamm- und Schwimmschlammbekämpfung – Erfahrungen aus der Schweiz

- ❖ Grundsätze der P-Fällung
 - ❖ Bewertung der Wirtschaftlichkeit der P-Elimination
 - ❖ nicht trivial
 - ❖ abhängig von vielen Einflussfaktoren und anlagenspezifischen Besonderheiten
 - ❖ Vorschlag
 - ❖ β -Wert = mol Me^{3+} /mol $\text{P}_{\text{eliminiert}}$ ($\text{P}_{\text{eliminiert}} = \text{P}_{\text{Zulauf}} - \text{PO}_4\text{-P}_{\text{Ablauf}}$)
 - ❖ Berücksichtigung von Eisen und Aluminium
 - ❖ kalkulatorische P-Bilanz
$$\text{P}_{\text{Zulauf}} = \text{P}_{\text{inkorporiert}} + \text{P}_{\text{Bio-P}} + \text{P}_{\text{gefällt}} + \text{PO}_4\text{-P}_{\text{Ablauf}}$$
mit $\text{P}_{\text{inkorporiert}} = 0,005 \text{ C}_{\text{CSB,Zulauf Biologie}}$ (ATV A 131)
mit $\text{P}_{\text{Bio-P}} = 0,005 \text{ bis } 0,007 \text{ C}_{\text{CSB, Zulauf Biologie}}$ (ATV A 131)
mit $\text{P}_{\text{gefällt}} = 2,7 \text{ kg Fe}^{3+} \text{ resp. } 1,3 \text{ kg Al}^{3+}$ (ATV A 131)
mit $\text{PO}_4\text{-P}_{\text{Ablauf}}$ oder allenfalls $\text{P}_{\text{gelöst,Ablauf}}$

Fällmittel – P-Elimination und Blähschlamm- und Schwimmschlammbekämpfung – Erfahrungen aus der Schweiz

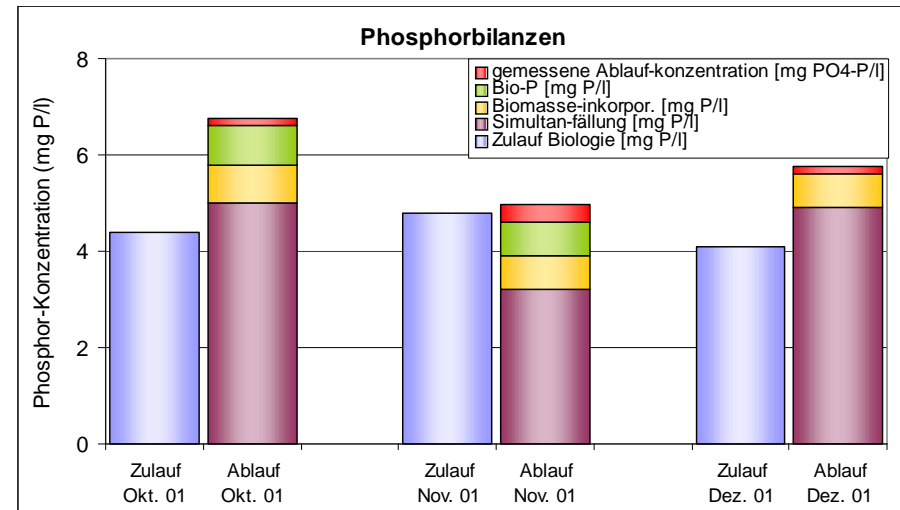
- ❖ Grundsätze der P-Fällung
 - ❖ Bewertung der Wirtschaftlichkeit der P-Elimination
 - ❖ Beispiele
 - ❖ β -Wert: ATV-Richtwert = $1.5 \text{ mol Me}^{3+}/\text{mol P}_{\text{eliminiert}}$,
Berücksichtigung Einflussfaktoren





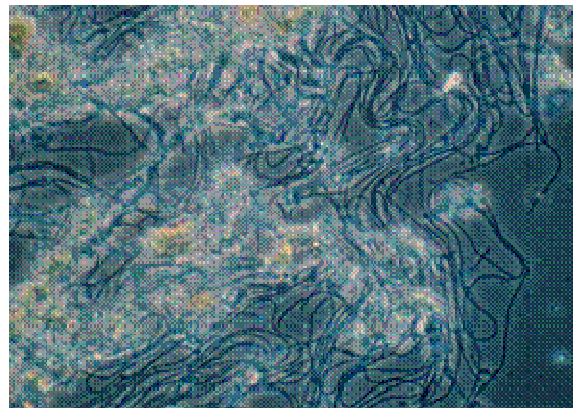
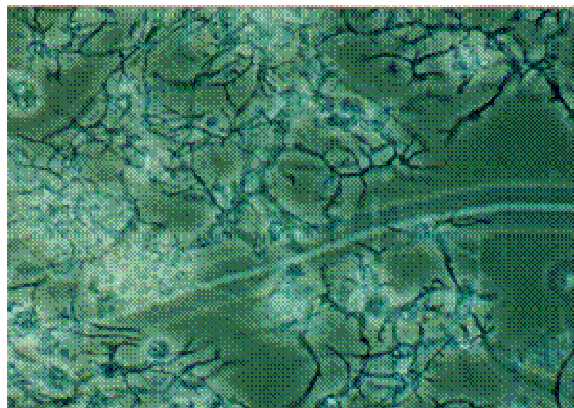
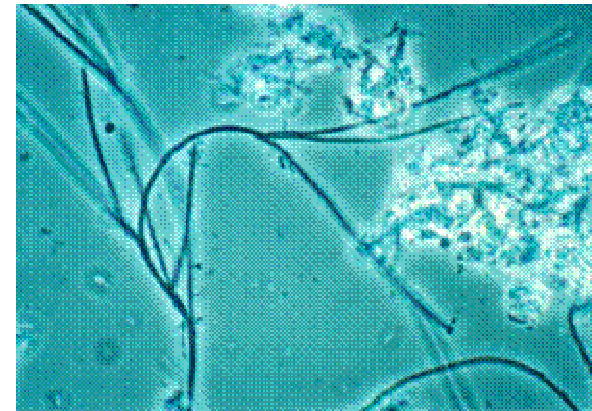
Fällmittel – P-Elimination und Blähschlamm- und Schwimmschlammbekämpfung – Erfahrungen aus der Schweiz

- ❖ Grundsätze der P-Fällung
 - ❖ Bewertung der Wirtschaftlichkeit der P-Elimination
 - ❖ Beispiele
 - ❖ kalkulatorische P-Bilanz
 - ❖ Einsatzmenge und allenfalls spezifische Fällmittelkosten (€/mol Me³⁺) stellen Potenzial zur Kostenoptimierung dar



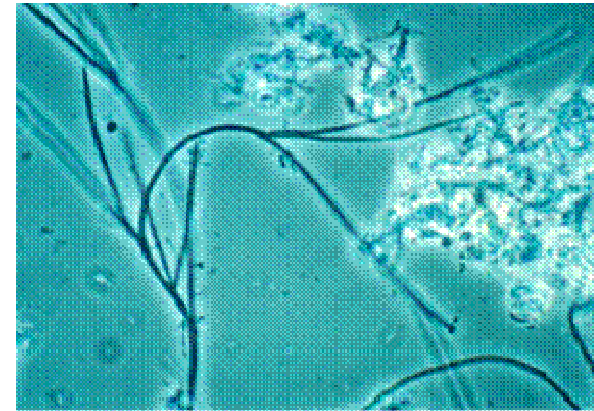
Fällmittel – P-Elimination und Blähschlamm- und Schwimmschlammbekämpfung – Erfahrungen aus der Schweiz

- ❖ Blähschlamm und Schwimmschlamm
 - ❖ 3 Phänomen-Gruppen
 - ❖ Gram negative Hochlastbakterien
 - ❖ Sulfidoxidierer
 - ❖ Gram positive Schwachlastbakterien inkl. Actinomyceten (*Nocardia*)



Fällmittel – P-Elimination und Blähschlamm- und Schwimmschlammbekämpfung – Erfahrungen aus der Schweiz

- ❖ Blähschlamm und Schwimmschlamm
 - ❖ Gram negative Hochlastbakterien
 - ❖ Vertreter: Sphaerotilus natans, Typ 021N etc.
 - ❖ Selektionsvorteile: schnell abbaubare Substrate, Nährstofflimitierung (N, P), O₂-Limitierung in nicht nitrifizierenden Anlagen
 - ❖ Wachstum: obligat aerob
 - ❖ Phänomen: Blähschlamm
 - ❖ verfahrenstechnische Massnahmen: aerober oder anoxischer Selektor, Produkte mit Flockungshilfsmitteln





Fällmittel – P-Elimination und Blähschlamm- und Schwimmschlammbekämpfung – Erfahrungen aus der Schweiz

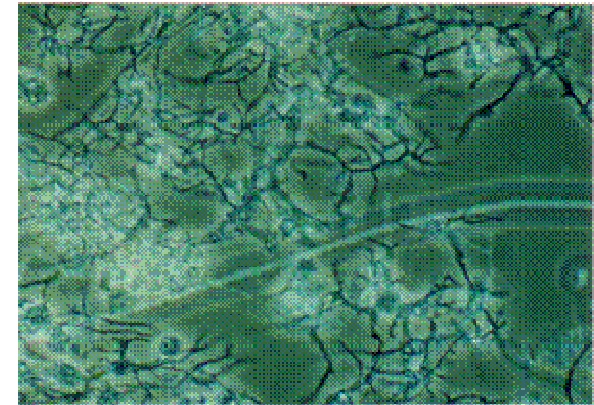
- ❖ Blähschlamm und Schwimmschlamm
 - ❖ Sulfidoxidierer
 - ❖ Vertreter: Thiothrix, Beggiatoa
 - ❖ Selektionsvorteile: H_2S , geringe O_2 -Konzentrationen in nicht nitrifizierenden Anlagen, gelöste schnellabbaubare Substrate
 - ❖ Wachstum: (obligat) aerob
 - ❖ Phänomen: Blähschlamm
 - ❖ verfahrenstechnische Massnahmen:
Erhöhung O_2 -Gehalt, für teilweise Nitrifikation ausreichendes Schlammalter





Fällmittel – P-Elimination und Blähschlamm- und Schwimmschlammbekämpfung – Erfahrungen aus der Schweiz

- ❖ Blähschlamm und Schwimmschlamm
 - ❖ Gram positive Schwachlastbakterien
 - ❖ Vertreter: Actinomyceten (Nocardia)
 - ❖ Selektionsvorteile Nocardia: Fette (kurz- und langkettige Fettsäuren), oberflächenaktive Stoffe, Schlammalter für Nitrifikation knapp ausreichend



Fällmittel – P-Elimination und Blähschlamm- und Schwimmschlammbekämpfung – Erfahrungen aus der Schweiz

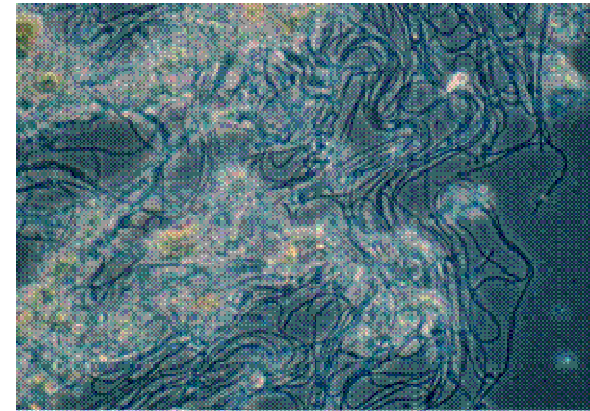
- ❖ Blähschlamm und Schwimmschlamm
 - ❖ Gram positive Schwachlastbakterien
 - ❖ Vertreter: Actinomyceten (Nocardia)
 - ❖ Wachstum: obligat aerob
 - ❖ Phänomen: Schwimmschlamm
 - ❖ verfahrenstechnische Massnahmen:
anoxischer Selektor,
aluminiumhaltige Produkte





Fällmittel – P-Elimination und Blähschlamm- und Schwimmschlammbekämpfung – Erfahrungen aus der Schweiz

- ❖ Blähschlamm und Schwimmschlamm
 - ❖ Gram positive Schwachlastbakterien
 - ❖ Vertreter: *Microthrix parvicella*, Typ 0041 etc.
 - ❖ Selektionsvorteile: Fette (langkettige Fettsäuren (für *Microthrix* zwingend, im Zulauf oder freigesetzt), auch kurzkettige Fettsäuren), oberflächenaktive Stoffe, erhöhte NH_4 -Konzentrationen, Nitrifikation, Temperaturen $< 15^\circ\text{C}$, $\text{pH} > 7.0$ (pH-Optimum 8.0))





Fällmittel – P-Elimination und Blähschlamm- und Schwimmschlammbekämpfung – Erfahrungen aus der Schweiz

- ❖ Blähschlamm und Schwimmschlamm
 - ❖ Gram positive Schwachlastbakterien
 - ❖ Vertreter: *Microthrix parvicella*, Typ 0041 etc.
 - ❖ Wachstum: aerob, anoxisch, anaerob
 - ❖ Phänomen: Blähschlamm und Schwimmschlamm
 - ❖ verfahrenstechnische Massnahmen:
kaum wirtschaftliche Möglichkeiten
(Reduktion NH_4 -Konzentration,
z.B. Erhöhung O_2 im Winter,
separate Behandlung der Rückläufe etc.),
aluminiumhaltige Produkte



Fällmittel – P-Elimination und Blähschlamm- und Schwimmschlammbekämpfung – Erfahrungen aus der Schweiz

❖ Möglichkeiten der Beeinflussung von Blähschlamm und Schwimmschlamm

❖ Motivation

- ❖ verfahrenstechnische Massnahmen nicht immer einfach umsetzbar (z.B. aerober oder anoxischer Selektor, Erhöhung O_2 -Konzentration)
- ❖ verfahrenstechnische Massnahmen nicht immer wirtschaftlich (z.B. bei Kampagnen, aufwändige Umbaumasnahmen)
- ❖ Idee: Nutzung der Eigenschaften oder Modifikation von Fällungsmitteln zur Blähschlamm- und Schwimmschlammbekämpfung



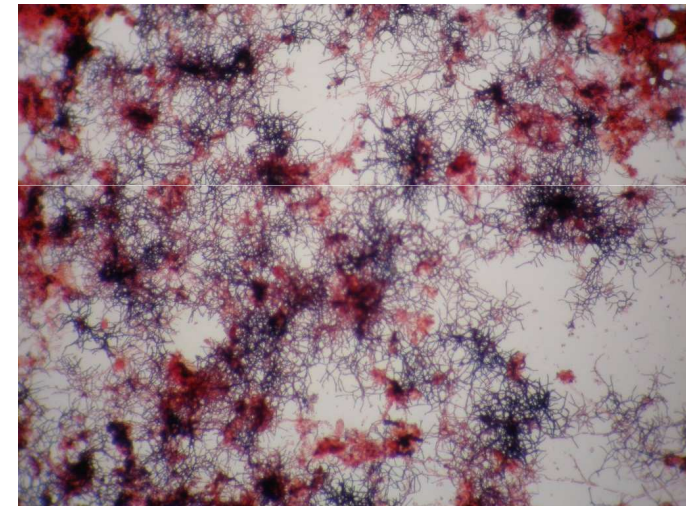


Fällmittel – P-Elimination und Blähschlamm- und Schwimmschlammbekämpfung – Erfahrungen aus der Schweiz

- ❖ Möglichkeiten der Beeinflussung von Blähschlamm und Schwimmschlamm
 - ❖ Strategien
 - ❖ Vorfällung (Belastungsreduktion, allenfalls Elimination „unerwünschter“ Abwasserinhaltsstoffe)
 - ❖ Simultanfällung (Beschwerung der Belebtschlammflocken durch Erhöhung des anorganischen Anteils)
 - ❖ Simultanfällung (Veränderung der Oberflächenladung in den Schlammflocken)
 - ❖ Simultanfällung (Hemmung des Wachstums fadenförmiger Mikroorganismen)
 - ❖ Simultanfällung (Hemmung der Hydrolyse partikulärer Abwasserinhaltsstoffe)

Fällmittel – P-Elimination und Blähschlamm- und Schwimmschlammbekämpfung – Erfahrungen aus der Schweiz

- ❖ Möglichkeiten der Beeinflussung von Blähschlamm und Schwimmschlamm
 - ❖ Allgemeine Erkenntnisse (DWA-Arbeitsgruppen KA 6.1 „Blähschlamm, Schwimmschlamm, biologische Zusatzstoffe“)
 - ❖ Beurteilung oft schwierig, da oft relativ wenige zuverlässige Angaben zu den Zusatzstoffen bzw. schlecht dokumentiert





Fällmittel – P-Elimination und Blähschlamm- und Schwimmschlammbekämpfung – Erfahrungen aus der Schweiz

- ❖ Möglichkeiten der Beeinflussung von Blähschlamm und Schwimmschlamm
 - ❖ Gram negative Hochlastbakterien (Sphaerotilus natans oder Typ 021N etc.) und Sulfidoxidierer
 - ❖ Beispiel Kläranlage 1
 - ❖ Belastung ca. 100'000 EW_{CSB} (davon ca. 50'000 EW_{Papier} , ca. 20'000 EW_{Zucker})
 - ❖ Anlage überlastet, nur C-Abbau (keine Nitrifikation)
 - ❖ SVI 100 – 1'000 ml/g (unverdünnt)
 - ❖ Massnahmen: schockartiger Einsatz von Al, nach Bedarf reduziert
 - ❖ Erfolg: anhand genauer Datenanalyse nicht nachvollziehbar (auch grosse Ungenauigkeiten infolge $SVI_{unverdünnt}$)



Fällmittel – P-Elimination und Blähschlamm- und Schwimmschlammbekämpfung – Erfahrungen aus der Schweiz

- ❖ Möglichkeiten der Beeinflussung von Blähschlamm und Schwimmschlamm
 - ❖ Gram positive Schwachlastbakterien: Actinomyceten
 - ❖ Beispiel Kläranlage 5
 - ❖ Belastung ca. 150'000 EW_{CSB} (davon ca. 80'000 EW_{Ind})
 - ❖ Hybrid-Wirbelbettverfahren
 - ❖ teilweise Nitrifikation im Winter, Frühling bis Herbst vollständige Nitrifikation
 - ❖ drastische Schwimmschlamm- und Schaumprobleme, ungenügende Ablaufwerte (BSB_5 , GUS etc.)
 - ❖ massives Auftreten nocardioformer Actinomyceten



Fällmittel – P-Elimination und Blähschlamm- und Schwimmschlammbekämpfung – Erfahrungen aus der Schweiz

- ❖ Möglichkeiten der Beeinflussung von Blähschlamm und Schwimmschlamm
 - ❖ Gram positive Schwachlastbakterien: Actinomyceten
 - ❖ Beispiel Kläranlage 5
 - ❖ Einsatz verschiedenster Zusatzstoffe (auch Poly-Al von verschiedenen Lieferanten) erfolglos





Fällmittel – P-Elimination und Blähschlamm- und Schwimmschlammbekämpfung – Erfahrungen aus der Schweiz

- ❖ Möglichkeiten der Beeinflussung von Blähschlamm und Schwimmschlamm
 - ❖ Gram positive Schwachlastbakterien: Actinomyceten
 - ❖ Beispiel Kläranlage 5
 - ❖ verfahrenstechnische Lösung: Verbesserung der Verhältnisse in suspendierter Biomasse und auf Trägermaterial (Redoxpotenzial)
 - ❖ Einbau Tauchwände in Nachklärung und Installation einer konsequenten Schwimmschlammmentfernung
 - ❖ Umsetzung weiterer Massnahmen (Industrieabwasservorbehandlung, Fettfang etc.)
 - ❖ Problem: äusserst komplexe Verhältnisse in hybridem Wirbelbett, relativ wenig Know-how vorhanden



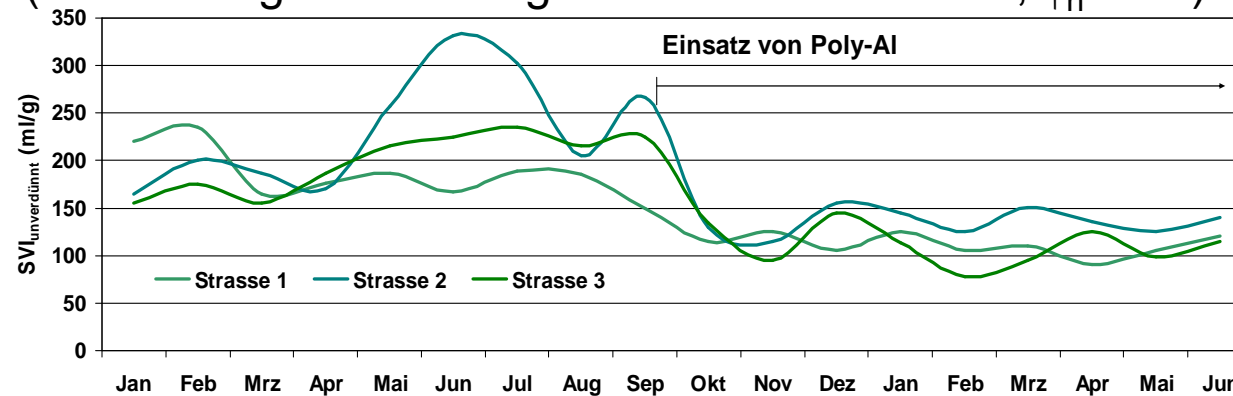
Fällmittel – P-Elimination und Blähschlamm- und Schwimmschlammbekämpfung – Erfahrungen aus der Schweiz

- ❖ Möglichkeiten der Beeinflussung von Blähschlamm und Schwimmschlamm
 - ❖ Gram positive Schwachlastbakterien: *Microthrix parvicella*
 - ❖ Beispiel Kläranlage 2
 - ❖ Belastung ca. 100'000 EW_{CSB}
(davon ca. 40'000 $EW_{Brauerei}$)
 - ❖ volle bis teilweise Nitrifikation
von Frühling bis Herbst
 - ❖ $SVI > 200$ ml/g



Fällmittel – P-Elimination und Blähschlamm- und Schwimmschlammbekämpfung – Erfahrungen aus der Schweiz

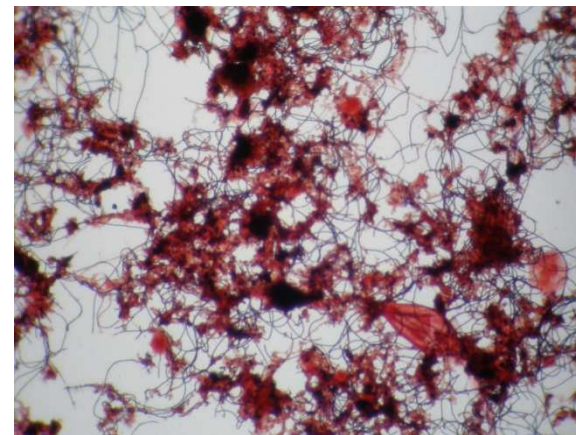
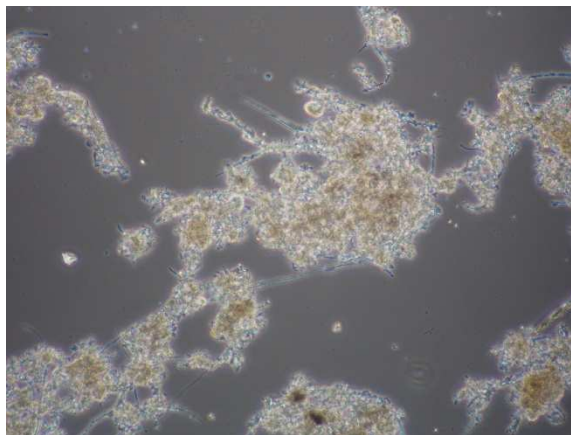
- ❖ Möglichkeiten der Beeinflussung von Blähschlamm und Schwimmschlamm
 - ❖ Gram positive Schwachlastbakterien: *Microthrix parvicella*
 - ❖ Beispiel Kläranlage 2
 - ❖ Massnahmen: Vorfällung Fe^{2+} (belüfteter Sandfang), Zudosierung Polyaluminium-Produkt in Rücklaufschlamm
 - ❖ deutliche Verbesserung SVI und Ablaufwerte; Verschlechterung Entwässerungseigenschaften des ausgefaulten Klärschlammes (Dekanter), Ursache unklar (Annahme grosser Mengen an Fremdschlamm, ϕ_h 14 d)





Fällmittel – P-Elimination und Blähschlamm- und Schwimmschlammbekämpfung – Erfahrungen aus der Schweiz

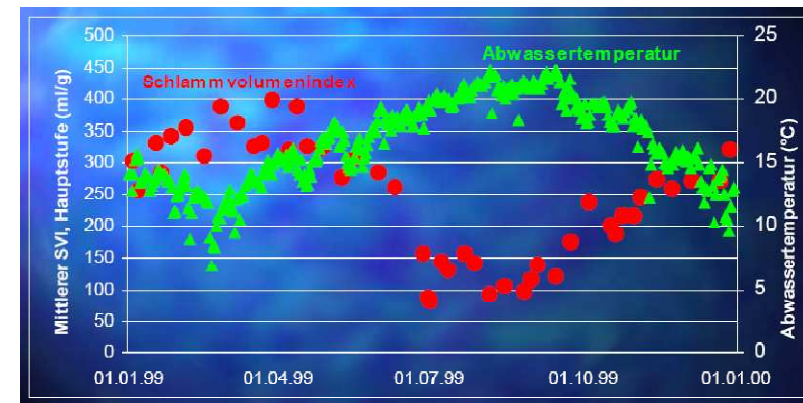
- ❖ Möglichkeiten der Beeinflussung von Blähschlamm und Schwimmschlamm
 - ❖ Gram positive Schwachlastbakterien: *Microthrix parvicella*
 - ❖ Beispiel Kläranlage 3
 - ❖ Massnahme: Einsatz von Poly-Al (zwei unterschiedliche Produkte von zwei verschiedenen Lieferfirmen) in verschiedenen Strassen
 - ❖ Erfolg: ein Produkt scheinbar wirksamer als anderes (unterschiedliche Fädigkeit)





Fällmittel – P-Elimination und Blähschlamm- und Schwimmschlammbekämpfung – Erfahrungen aus der Schweiz

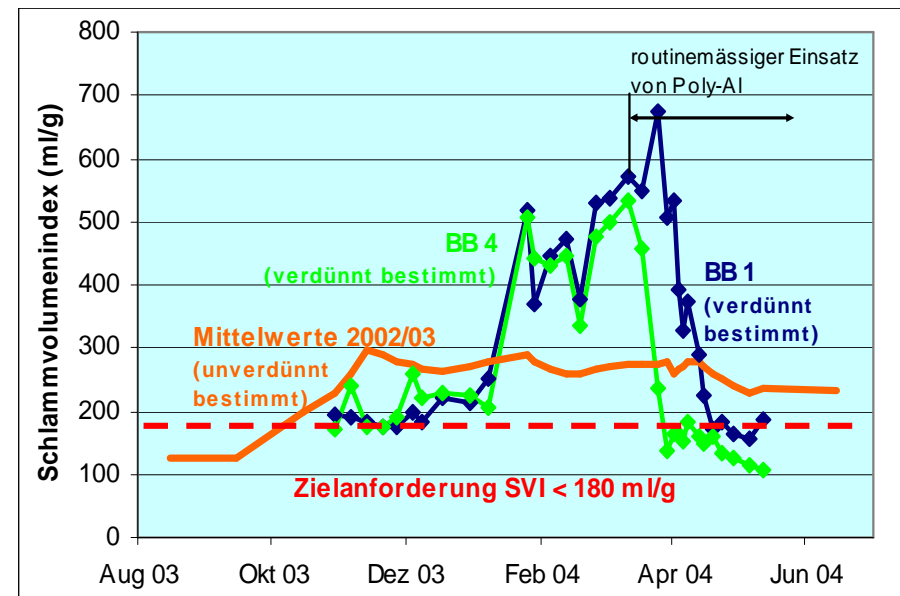
- ❖ Möglichkeiten der Beeinflussung von Blähschlamm und Schwimmschlamm
 - ❖ Gram positive Schwachlastbakterien: *Microthrix parvicella*
 - ❖ Beispiel: Kläranlage 6
 - ❖ Belastung ca. 70'000 EW_{CSB} (davon ca. 20'000 EW_{Ind}, hoher Fettanteil)
 - ❖ ganzjährig vollständige Nitrifikation mit vorgeschalteter Denitrifikation
 - ❖ in kalter Jahreszeit massive Blähschlamm- und Schwimmschlammbildung sowie Schaumprobleme
 - ❖ SVI 100 – 400 ml/g





Fällmittel – P-Elimination und Blähschlamm- und Schwimmschlammbekämpfung – Erfahrungen aus der Schweiz

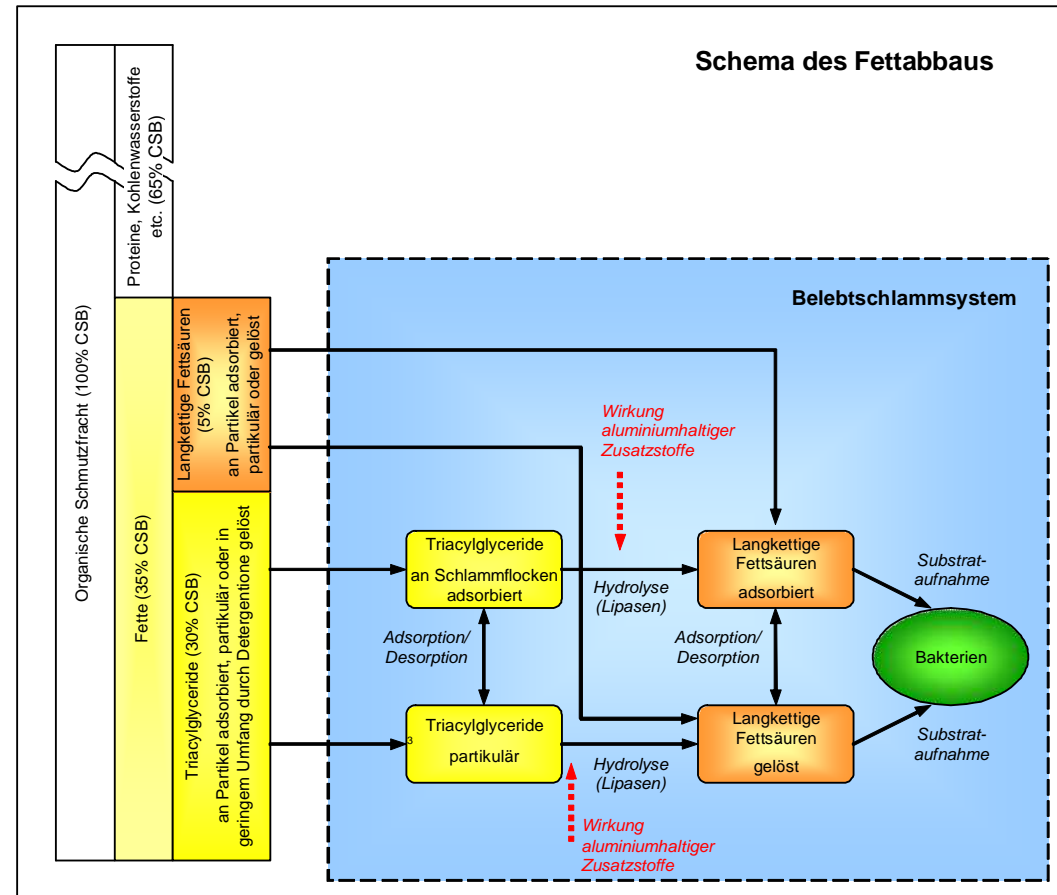
- ❖ Möglichkeiten der Beeinflussung von Blähschlamm und Schwimmschlamm
 - ❖ Gram positive Schwachlastbakterien: *Microthrix parvicella*
 - ❖ Beispiel: Kläranlage 6
 - ❖ vor kürzerer Zeit nochmaliger Einsatz von Polyaluminium
 - ❖ positive Wirkung
 - ❖ Ersatz und Kapazitätssteigerung Belüftung: deutliche Verbesserung, kein Bedarf mehr nach Poly-Al



Fällmittel – P-Elimination und Blähschlamm- und Schwimmschlammbekämpfung – Erfahrungen aus der Schweiz

❖ Möglichkeiten der Beeinflussung von Blähschlamm und Schwimmschlamm

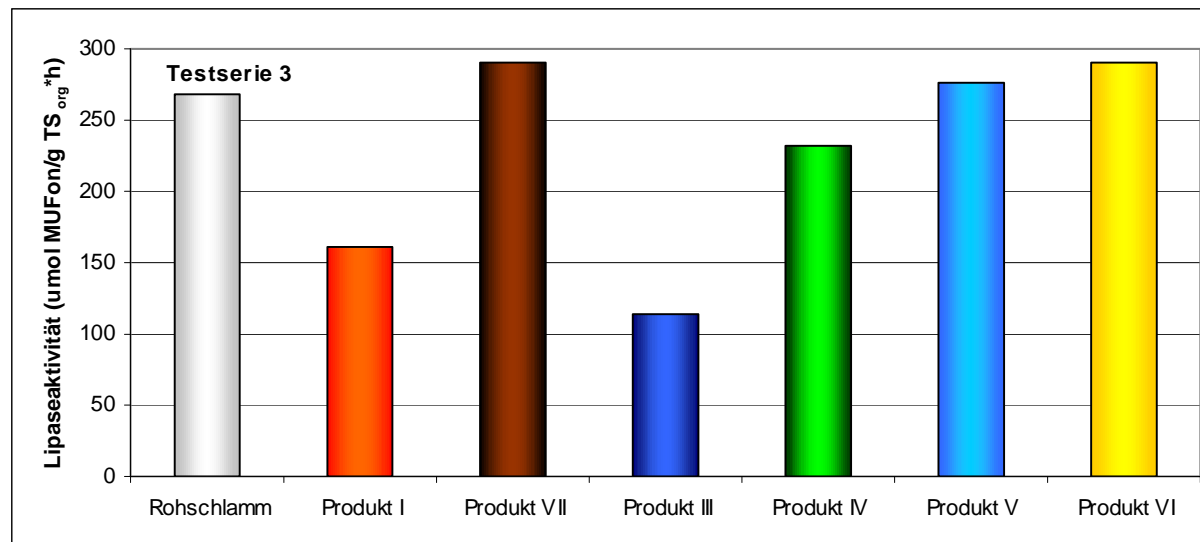
- ❖ Gram positive Schwachlastbakterien: *Microthrix parvicella* inkl. Actinomyceten (*Nocardia*)
- ❖ Ursache für unterschiedliche Wirkung von Aluminiumprodukten
- ❖ Modell des Fettabbaus





Fällmittel – P-Elimination und Blähschlamm- und Schwimmschlammbekämpfung – Erfahrungen aus der Schweiz

- ❖ Möglichkeiten der Beeinflussung von Blähschlamm und Schwimmschlamm
 - ❖ Gram positive Schwachlastbakterien: *Microthrix parvicella* inkl. Actinomyceten (*Nocardia*)
 - ❖ Beurteilung der Wirksamkeit: Messung der Lipaseaktivität





Fällmittel – P-Elimination und Blähschlamm- und Schwimmschlammbekämpfung – Erfahrungen aus der Schweiz

- ❖ Zusammenfassung:
 - ❖ verfahrenstechnische Massnahmen zur Bekämpfung der Phänomene nicht immer einfach umsetzbar und wirtschaftlich, daher Nutzung von Fällmitteln
 - ❖ erfolgreicher Einsatz von aluminiumhaltigen Zusatzstoffen
 - ❖ Auswahl des geeigneten aluminiumhaltigen Produktes durch Messung der Lipaseaktivität