

Dipl.-Ing. Horst Bennoit, Völklingen und Prof. Dr.-Ing. Claus Schuster, Meschede

## **Einfluss der physikalischen Stoffdaten von Schlämmen auf die Entwässerung mit Dekantierzentrifugen**

Vortrag beim GVC-Fachausschuss „Mechanische Flüssigkeitsabtrennung“  
vom 26. bis 28. März 2003 in Düsseldorf

### 1. Einleitung

Bei der mechanisch-biologischen Abwasserreinigung sind die Verfahren zur Fest/Flüssigkeit-Trennung von größter Bedeutung für die Funktion einer Kläranlage. Das erste **Bild 1** zeigt eine kommunale Abwasserreinigungsanlage, bestehend aus einer mechanischen Vorklärung und einer biologischen Reinigung des Abwassers sowie der Eindickung und Entwässerung des Schlammes.

Der Vortrag behandelt den Einfluss der physikalischen Stoffdaten von Faulschlamm auf die Entwässerung mit Dekantierzentrifugen. Dabei wird insbesondere auf den Einfluss der Schlammeigenschaften auf die Leistung der Zentrifugen, wie Durchsatz und Trockenstoffgehalt im Feststoffaustrag, eingegangen.

Bevor auf den Trennprozeß und die Ergebnisse eingegangen wird, sollen zunächst die Einflußparameter auf die Schlammeigenschaften betrachtet werden.

### 2. Eigenschaften des Faulschlammes

#### 2.1 Einflußparameter auf die Schlammeigenschaften

Aus dem **Bild 2** ist zu ersehen, dass die Einflussparameter auf die Eigenschaften des Schlammes vielschichtiger Natur sind. Sie können aus dem Vorklär- und Überschussschlamm sowie aus der Abwasser- und Schlammbehandlung hervorgehen. Beim Vorklärschlamm führen insbesondere hohe Salz- und Tensitgehalte sowie Restpolymere aus der Schlammbehandlung zu ungünstigen Eigenschaften. Beim Überschussschlamm sind es Bakterien mit fadenförmiger Struktur und erhöhter Phosphataufnahme.

Von der biologischen Abwasserreinigung geht ebenfalls ein großer Einfluß auf die Schlammeigenschaften aus. Dieser resultiert aus dem bestehenden Verfahren, wie z.B. Anlagen ohne und mit biologischer P-Elimination. Bei der anaeroben Schlammbehandlung sind es Störungen im Faulbehälter durch toxische Stoffe, wie z.B. Schwermetalle und organische Säuren. Weiterhin sind eine hohe P-Rücklösung und eine zu kurze Faulzeit von wesentlicher Bedeutung.

## 2.2 Charakterisierung des Faulschlamm

Die physikalischen Stoffdaten und Eigenschaften des Schlamm können aufgrund der vorgenannten Einflussparameter von Anlage zu Anlage und auch je nach Jahreszeit unterschiedlich sein. Die wichtigsten Stoffdaten des Schlamm sind in **Bild 3** dargestellt.

- Feststoffgehalt und Sedimentvolumen
- Trockenrückstand und Glührückstand
- Korngrößenverteilung und Oberfläche
- Elektrische Leitfähigkeit und pH-Wert
- Schlamminhaltstoffe und Gasgehalt
- Oberflächenladung des Faulschlamm

Diese Kenngrößen können durch anwendungsspezifische Untersuchungen, wie z.B. den CST-Wert, ergänzt werden.

**Bild 4** zeigt stellvertretend für eine große Anzahl von Kläranlagen einen Vergleich der physikalischen Stoffdaten zwischen drei Großklärwerken mit und ohne biologischer P-Elimination. Beachtenswert in dem Bild ist der große Unterschied beim Sedimentvolumen und Glührückstand sowie bei der Korngrößenverteilung und der Oberflächenladung des Schlamm.

Bei den Anlagen ohne BIO-P liegt das Sedimentvolumen zwischen 30 und 36 Vol. % und der Glührückstand zwischen 48 und 54 %. Dagegen beträgt bei der Anlage mit BIO-P das Sedimentvolumen etwa 60 bis 69 Vol. % und der Glührückstand nur 30 bis 36 Gew. %. Weiterhin gibt es einen erheblichen Unterschied bei der Oberflächenladung des Schlamm zwischen Kläranlagen ohne und mit BIO-P, wie sehr anschaulich aus dem **Bild 5** hervorgeht.

Die Oberflächenladung des Schlamm wurde mit Hilfe einer PC-gestützten Mikroelektrophorese-Apparatur von Typ PenKem 501 gemessen. Die Methode des Gerätes beruht darauf, dass kolloidale Teilchen in einem elektrischen Feld zur Elektrode entgegengesetzter Ladung wandern. Dabei steht die elektrophoretische Beweglichkeit mit dem Zeta-Potential in engem Zusammenhang.

Wie aus dem Bild zu entnehmen ist, beträgt das Zeta-Potential des Faulschlamm aus Anlagen ohne bzw. mit BIO-P überwiegend von  $-5$  bis  $-8$  mV bzw.  $-28$  bis  $-36$  mV.

In der Praxis ist es schwierig, alle vorgenannten physikalischen Stoffdaten zu messen und ihre gegenseitige Abhängigkeit zu erfassen. Deshalb wurde in der Abwassertechnik als Kenngröße für den belebten Schlamm sowohl das Schlammvolumen als auch der Schlammindex eingeführt. In Anlehnung an diese Kenngrößen wird seit einigen Jahren in der Schlammbehandlung mit dem Sediment- bzw. Schleuderindex gearbeitet. Er ist definiert als Quotient aus dem Sedimentvolumen einer abgeschleuderten Probe und der Feststoffkonzentration.

Diese summarische Kenngröße steht in einem engen Zusammenhang mit dem Trockenstoffgehalt im Feststoffaustrag einer Dekantierzentrifuge, wie auch dem **Bild 6** hervorgeht. In diesem Bild ist eine große Anzahl von Analysewerten aus Betriebsanlagen aufgetragen. Die Darstellung ermöglicht eine gute Voraussage für das erzielbare Trennergebnis bei der Entwässerung von Faulschlamm mit Dekantierzentrifugen.

Unter diesem Gesichtspunkt zeigt **Bild 7** einen Vergleich bei den vorgenannten drei Großklärwerken. Beachtenswert in dem Bild ist der große Unterschied beim Sedimentindex von 9 bis 22 ml/g und Trockenstoffgehalt im Feststoffaustrag von 22 bis 34 Gew. %. Der erhebliche Unterschied im Trennergebnis ist zweifellos auf das Verfahren der biologischen Abwasserreinigung zurückzuführen, weil die Kläranlagen II und III zur gleichen Kommune gehören.

Durch den niedrigen Trockenstoffgehalt im Feststoffaustrag von 22 bis 25 Gew. % im Klärwerk III treten erhebliche Schwierigkeiten bei der nachfolgenden Verfahrensstufe – der Schlamm Trocknung – auf. Die Trocknungsanlage ist auf einen TR-Gehalt im Feststoff von  $\geq 28$  Gew. % ausgelegt. Um die Schwierigkeiten zu beheben, war eine physikalisch-chemische Vorbehandlung des Faulschlammes notwendig.

### 3. Vorbehandlung des Faulschlammes

#### 3.1 Ausführung der Anlage

Die Vorbehandlung des Faulschlammes besteht aus der Entgasung und Entstabilisierung des Faulschlammes sowie der Kristallisation des Fällproduktes MAP, wie aus dem **Bild 8** hervorgeht. Bei einer Höhe von Faulbehälters von 20 bis 30 m können sich bei Temperaturen von 30 °C in einem m<sup>3</sup> Wasser theoretisch etwa 4 bis 5 kg CO<sub>2</sub> lösen. Das gelöste CO<sub>2</sub> entweicht beim Entspannen auf Atmosphärendruck aus dem Schlamm und bewirkt eine Veränderung des pH-Wertes von ca. 6,8 bis 7,0 auf  $\geq 7,8$ .

Mit der Anhebung des pH-Wertes tritt eine unkontrollierte Ausfällung von MAP im Schlamm auf. Die Folge davon ist eine starke Inkrustation in den Rohrleitungen und Apparaturen des Klärwerkes. Durch die Zugabe von organischen Hilfsmitteln wird versucht die Inkrustationen zu vermeiden. Diese Hilfsmittel haben aber einen starken negativen Einfluss auf die Flockenbildung und die Leistung der Dekantierzentrifugen bei der Entwässerung des Faulschlammes.

Um diese Schwierigkeiten zu vermeiden, wurde in der Schlammbehandlung des Klärwerkes eine Vorbehandlungsanlage für 100 m<sup>3</sup>/h Faulschlamm installiert. Wie aus dem **Bild 9** zu ersehen ist, besteht die Anlage aus einem Fällungsreaktor mit einem nutzbaren Volumen von 750 m<sup>3</sup>. Aus dem Reaktor werden 120 m<sup>3</sup>/h Schlamm mit einer Pumpe entnommen und über einen Injektor in den Reaktor zurückgeführt.

Der Injektor ermöglicht einen starken Drucksprung und eine große Phasengrenzfläche zur Entgasung des Faulschlammes. Dadurch wird die Entgasungszeit zum Erreichen des angestrebten pH-Wertes im Schlamm von  $\geq 7,8$  erheblich gekürzt. Außerdem wird in den Injektormischer ein Fällungsmittel dosiert um die MAP-Fällung zu beschleunigen.

### 3.2 Entstabilisierung des Faulschlamm

Bei der Entstabilisierung des Faulschlamm mit Fällungsmittel entsteht zusammen mit Magnesium, Ammonium und Phosphat das Produkt MAP. Das Produkt ist ein schwerlösliches Salz mit der Formel  $MgNH_4PO_4$ . **Bild 10** zeigt die Löslichkeit von MAP in Abhängigkeit vom pH-Wert des Schlamm. Aus dem Bild geht hervor, dass die Ausfällung von MAP bei einem pH-Wert von 7,5 bis 10 stattfindet. Weiterhin ist die Löslichkeit von MAP von der Temperatur abhängig.

Die Reaktionszeit der MAP-Ausfällung ist sehr kurz. Nach der Zugabe des Fällungsmittels und der Einstellung des pH-Wertes ist im Allgemeinen die Fällung in wenigen Minuten abgeschlossen. Das MAP kristallisiert im rhombischen System gut erkennbar aus und ist bei Raumtemperatur an der Luft beständig. Die Ausfällung von MAP kann erheblich durch Calciumionen beeinträchtigt werden.

Die Entstabilisierung des Faulschlamm ist neben dem Transportvorgang eine primäre Voraussetzung für ein hohes Leistungsvermögen der Dekantierzentrifugen. Für die Dosierung des Fällungsmittels kommen eine Reihe von Möglichkeiten in Betracht, wie z.B. die Zugabe in Gerinne und Rohrleitungen sowie die Verwendung von statischen Mischern und Reaktoren mit verschiedenen Rührern. Im vorliegenden Fall erfolgt die Einmischung des Fällungsmittels in einen speziellen Injektormischer. Bedingt durch die hohen Strömungsgeschwindigkeiten am Eintritt des Injektors herrscht in der Mischstrecke eine starke Turbulenz, die zu einem weitgehenden Ladungsausgleich führt.

**Bild 11** zeigt das Zeta-Potential des Faulschlamm ohne und mit Vorbehandlung. Wie aus dem Bild zu ersehen ist, wird das Zeta-Potential des Schlamm von  $-28$  auf  $-10$  mV herabgesetzt.

### 4. Entwässerung des Faulschlamm

Nach diesen Ausführungen zeigt **Bild 12** die Schlammeigenschaften und die Trennergebnisse der Dekantierzentrifuge mit und ohne Vorbehandlung des Faulschlamm. Wie aus dem Bild zu ersehen ist, konnte der CST-Wert von 2260 auf 480 s und der Sedimentindex von 20 bis 22 ml/g auf 12 bis 13 ml/g herabgesetzt werden. Dabei ist besonders zu beachten, dass die Vorbehandlung des Schlamm keinen Einfluß auf den Glührückstand von nur 30 bis 36 % hatte.

Mit dieser Verbesserung der Schlammeigenschaften konnte der Durchsatz der Dekantierzentrifuge von 30 bis 35 m<sup>3</sup>/h Schlamm und der Trockenstoffgehalt im Feststoffaustrag von 22 bis 25 Gew. % auf 28 bis 30 Gew. % gesteigert werden. Der Flockungsmittelverbrauch ist mit 6 bis 8 kg WS/t TR nur etwa halb so hoch wie ohne Vorbehandlung des Schlamm. Durch diese Leistungssteigerung bei der Entwässerung des Faulschlamm konnten die bestehenden Schwierigkeiten im Klärwerk behoben werden.

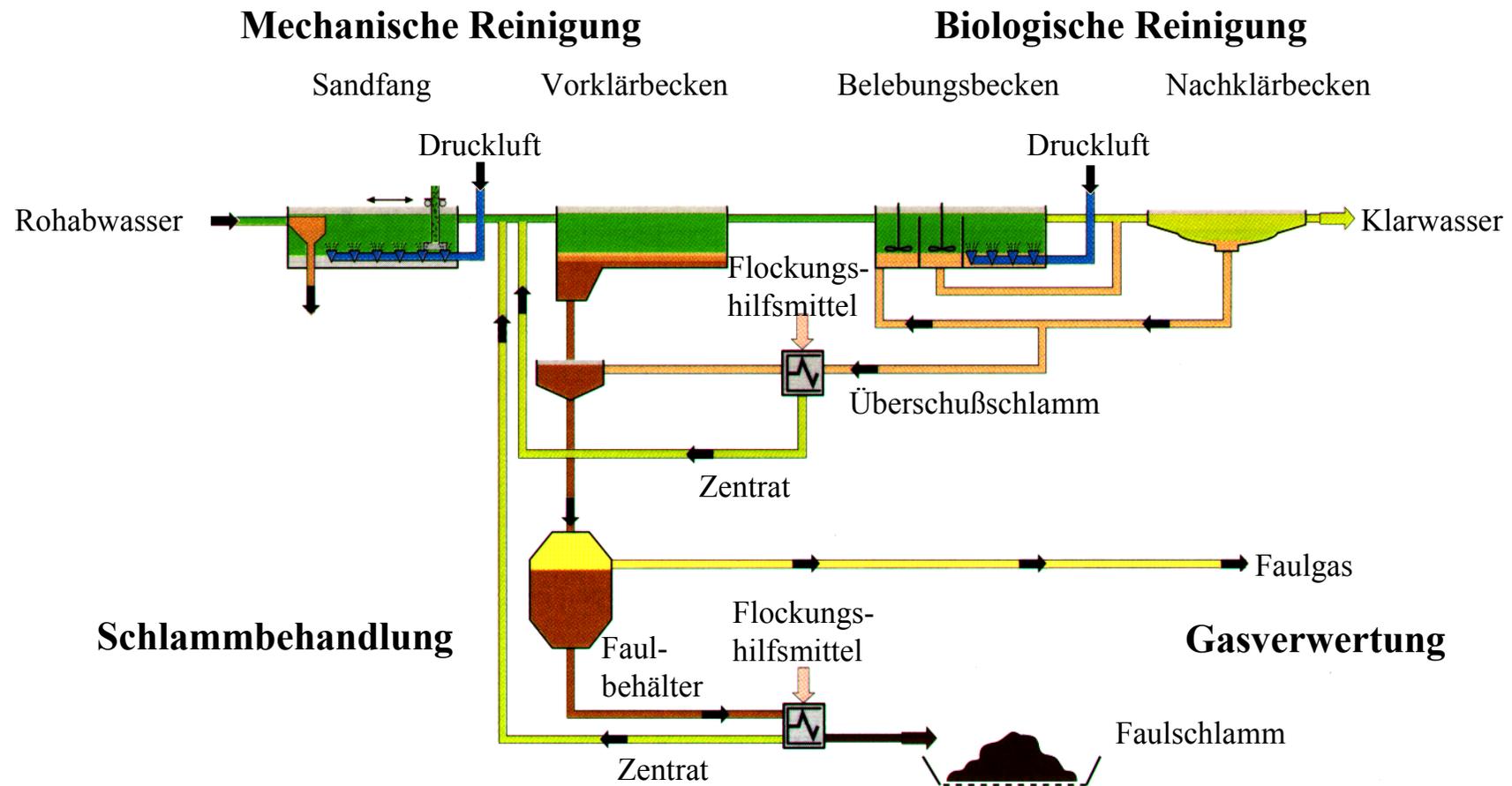
## 5. Zusammenfassung und Ausblick

Die Ausführungen machen eindrucksvoll den Einfluss der physikalischen Stoffdaten auf die Trennergebnisse der Dekantierzentrifugen bei der Entwässerung von Schlämmen deutlich. Dabei ist die Oberflächenladung des Schlammes von entscheidender Bedeutung.

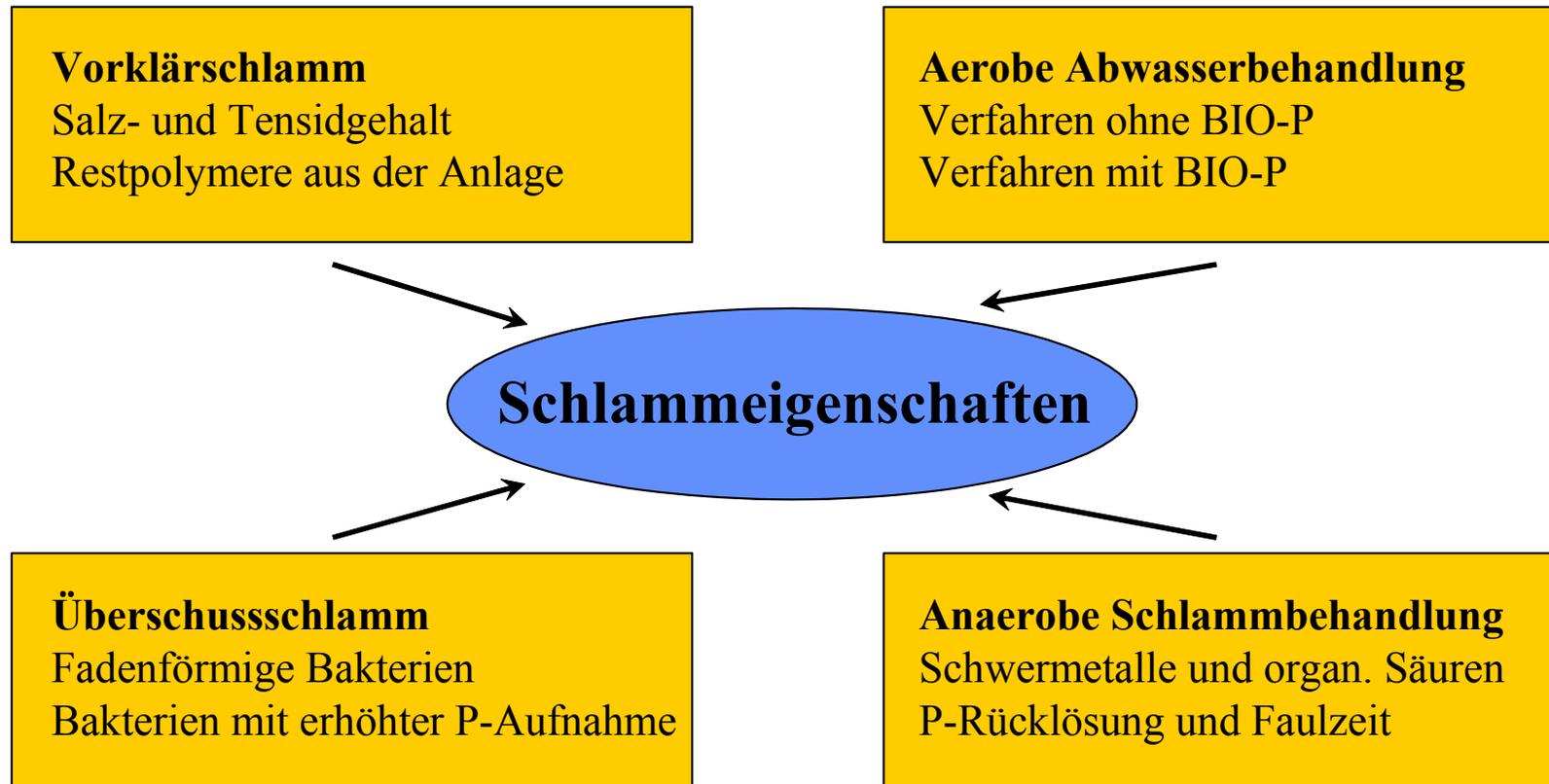
Mit der Einführung der Kenngröße, Sediment- bzw. Schleuderindex, ist es möglich bei der Planung von neuen Anlagen oder bei der Optimierung von bestehenden Anlagen eine Voraussage über die zu erwartenden Trennergebnisse zu treffen.

Natürlich bedürfen die Untersuchungen einer Vertiefung, um die Zusammenhänge zwischen den einzelnen Stoffdaten und dem Sedimentindex zu bekommen.

# Bild 1: Mechanisch-biologische Abwasserreinigung



## Bild 2: Einflussparameter auf die Schlammigenschaften



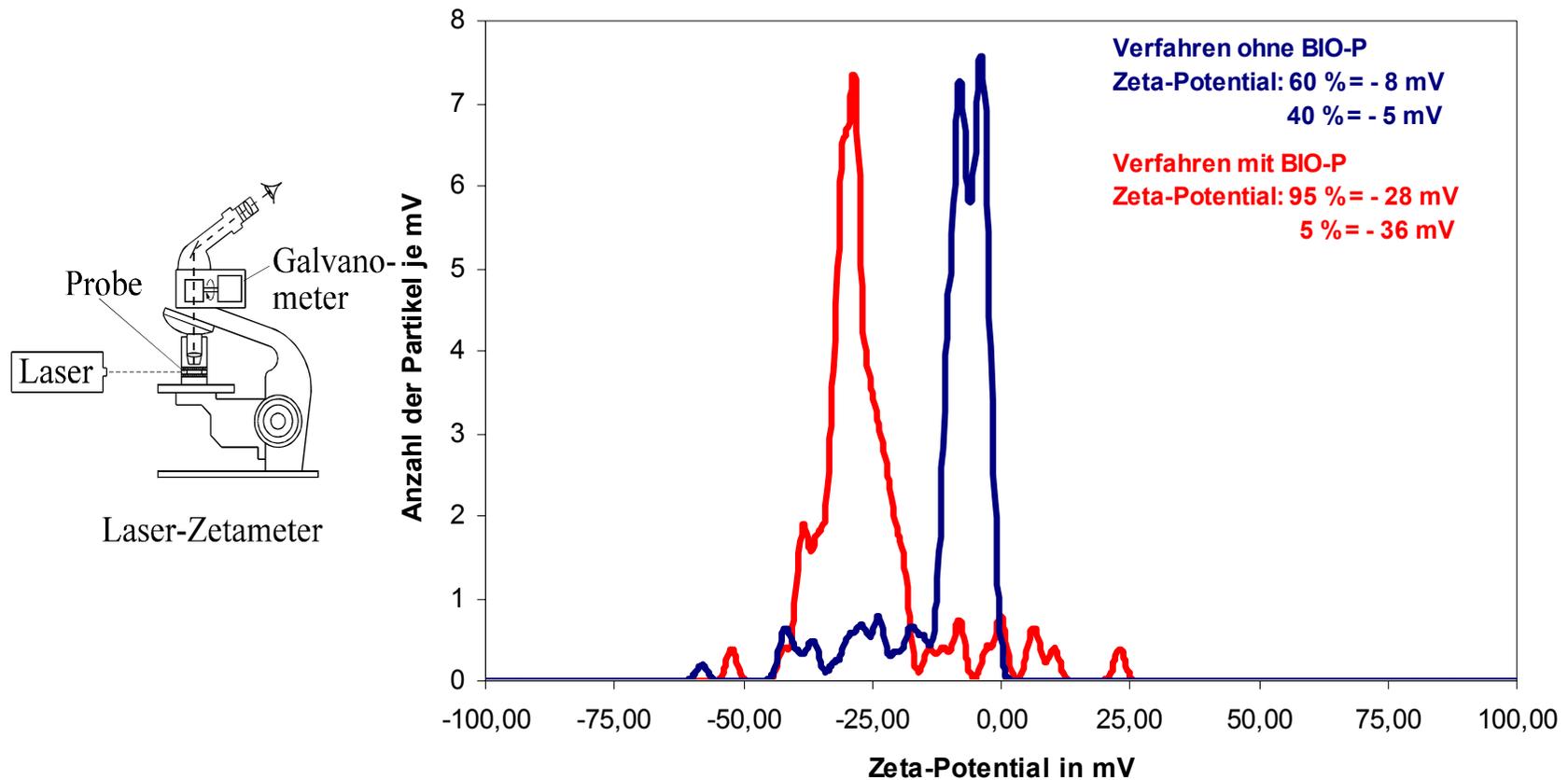
## **Bild 3: Vorbehandlung des Faulschlamm**

- Feststoffgehalt und Sedimentvolumen
- Trockenrückstand und Glührückstand
- Korngrößenverteilung und Oberfläche
- Elektrische Leitfähigkeit und pH-Wert
- Schlamminhaltsstoffe und Gasgehalt
- Oberflächenladung des Faulschlamm

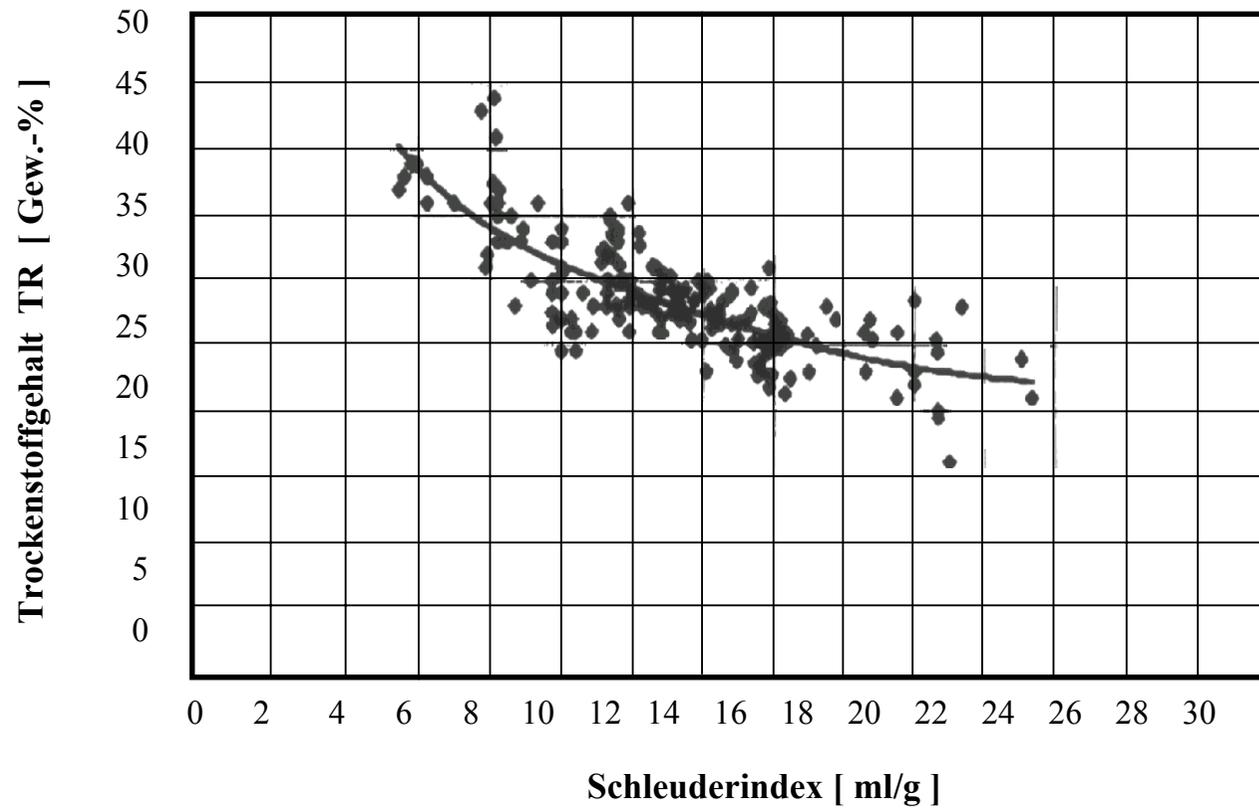
## Bild 4: Vergleich der physikalischen Stoffdaten von Kläranlagen

Kläranlage		I	II	III
		ohne BIO-P	ohne BIO-P	mit BIO-P
Feststoffgehalt	g/l	34 – 38	28 – 32	30 – 32
Sedimentvolumen	Vol. %	32 – 36	30 – 34	60 – 68
Glührückstand	%	52 – 54	48 – 50	30 – 36
Korngröße $X_{50}$	$\mu\text{m}$	20 – 22	22 – 24	40 – 42
Zeta-Potential	mV	- 5 bis -8	-6 bis -8	-28 bis -36

## Bild 5: Zeta-Potential des Faulschlammes mit und ohne BIO-P



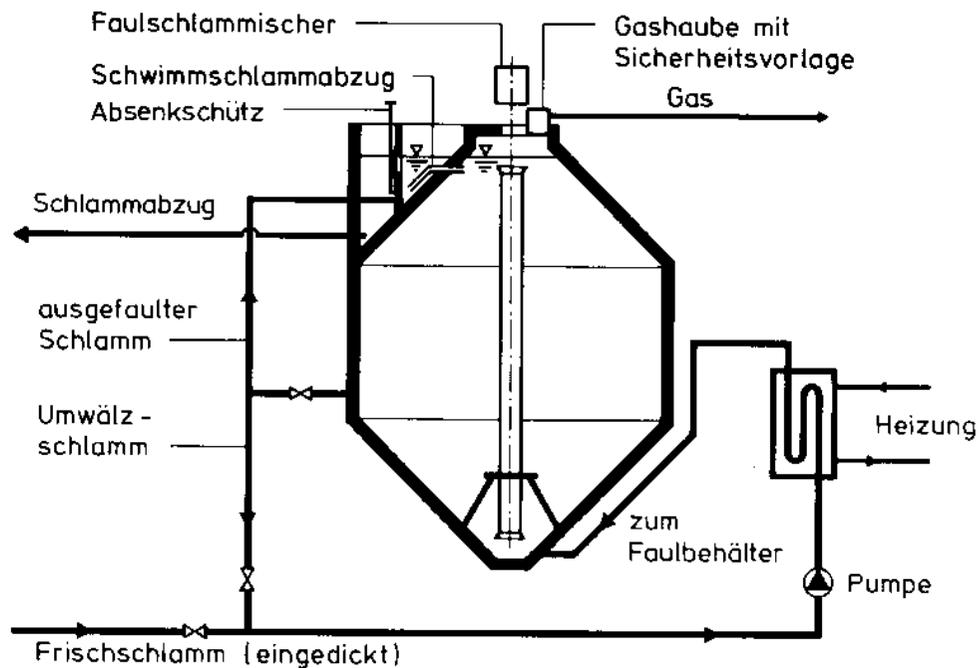
**Bild 6: Trockenstoffgehalt im Feststoffaustrag in Abhängigkeit vom Schleuderindex nach A. Karolis**



## Bild 7: Vergleich der Trockenstoffgehalte im Feststoffaustrag

Kläranlage		I	II	III
		ohne BIO-P	ohne BIO-P	mit BIO-P
Feststoffgehalt	g/l	34 – 38	28 – 32	30 – 32
Sedimentvolumen	ml/l	320 – 360	300 – 340	600 – 680
Sedimentindex	ml/g	9 – 10	11 – 12	20 – 22
CST-Wert	s	340	420	2260
Dekantierzentrifuge	Typ	F	B	B
TR-Feststoffaustrag	Gew. %	32 – 34	28 – 30	22 – 25

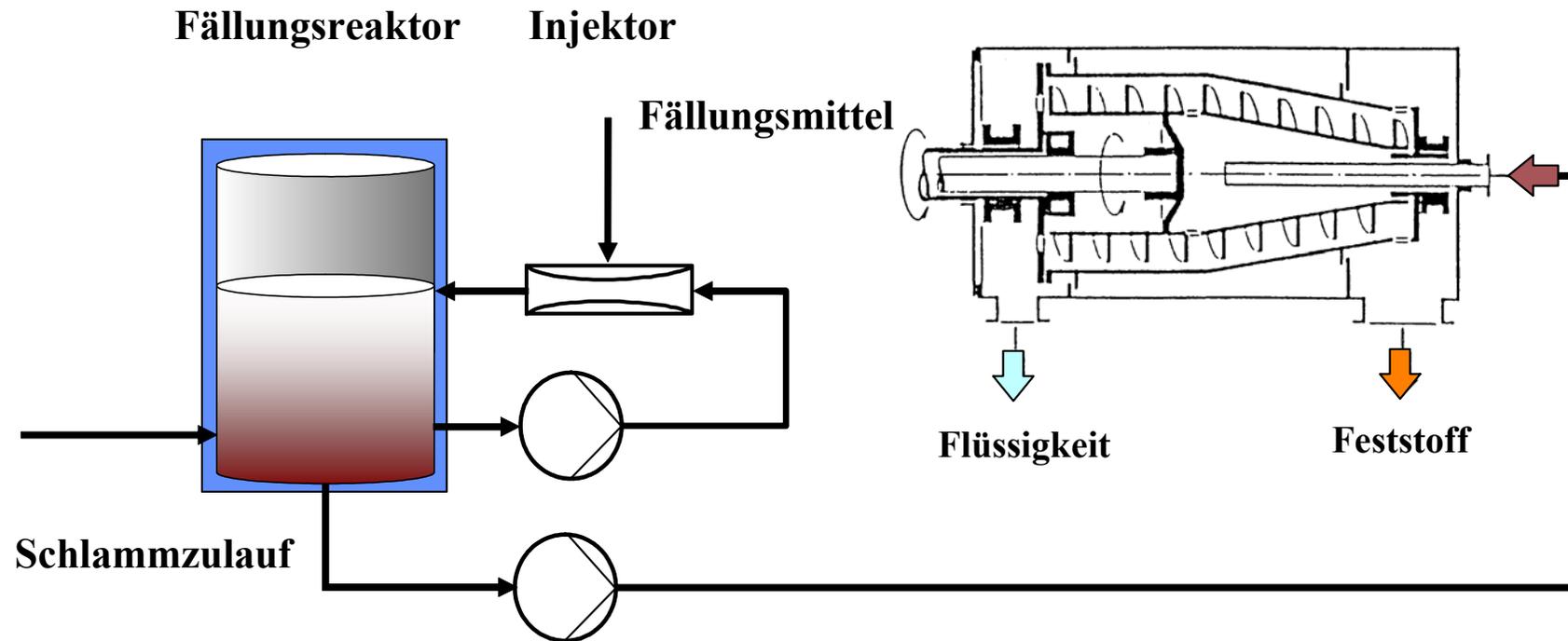
## Bild 8: Vorbehandlung des Faulschlamms



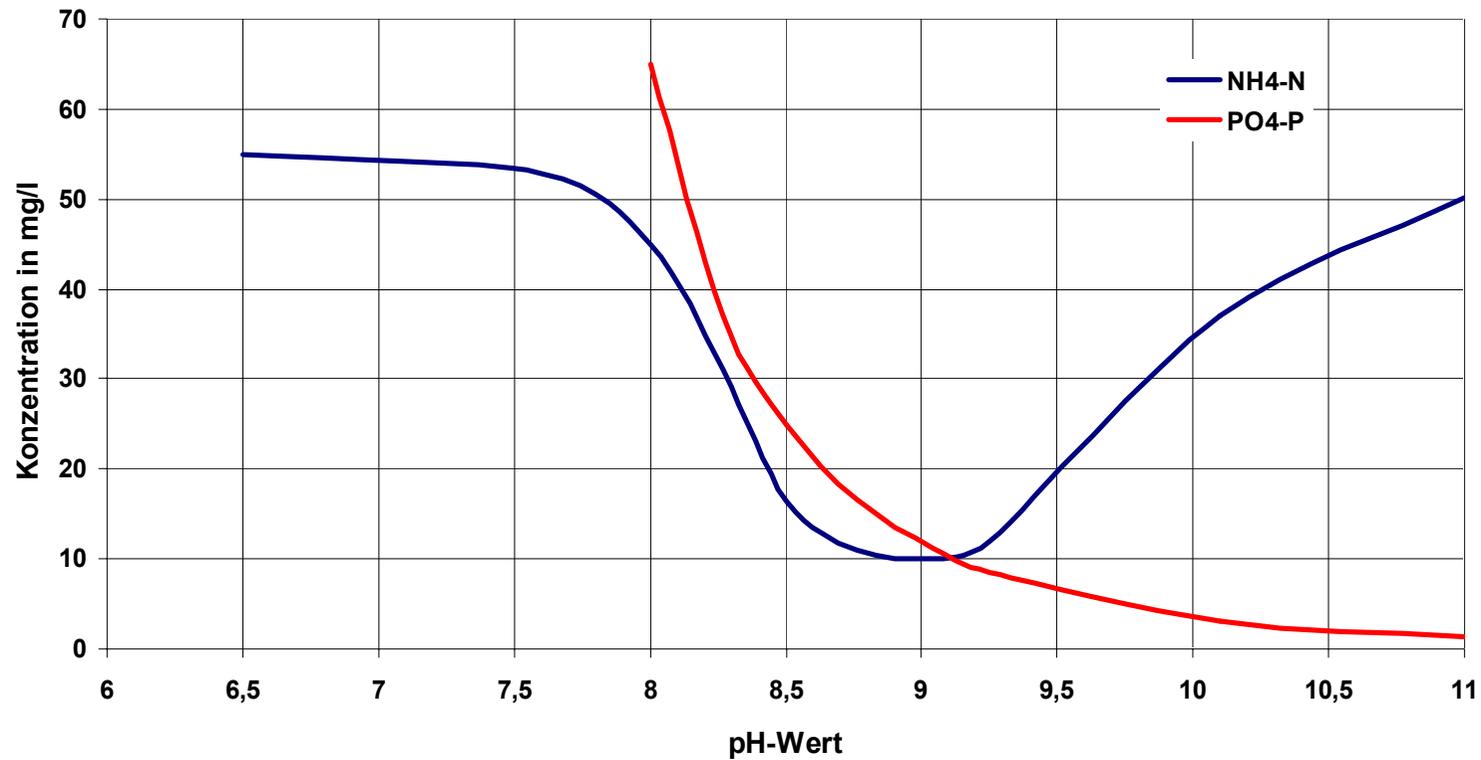
### Vorbehandlung

- Entgasung des Schlammes
- Entstabilisierung des Schlammes
- Kristallisation des Fällprodukts

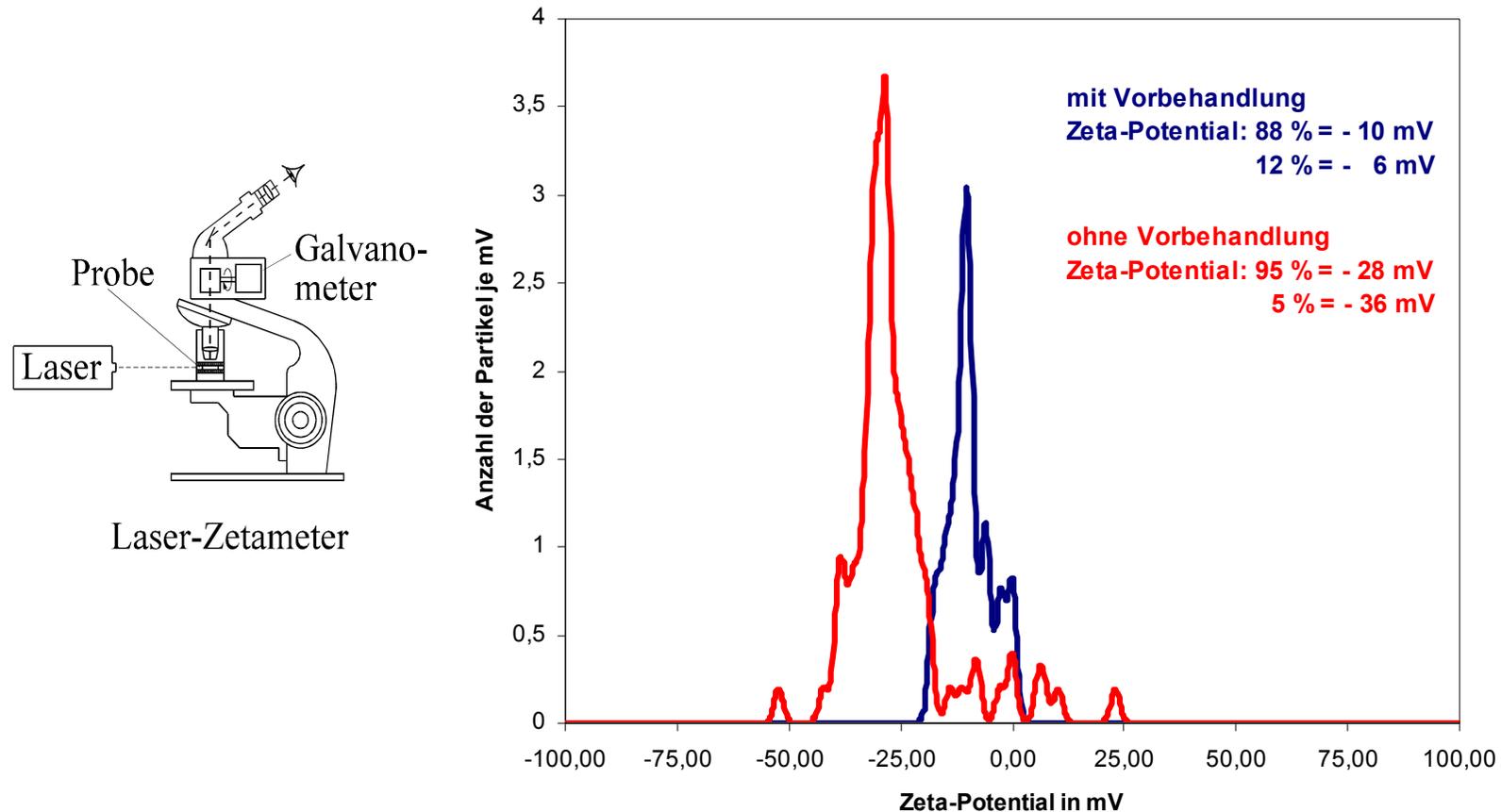
**Bild 9: Schematische Darstellung der optimierten Behandlung**



**Bild 10: Löslichkeit von MAP in Abhängigkeit vom pH-Wert nach Schulze-Rettmer**



## Bild 11: Zeta-Potential des Faulschlammes mit und ohne Vorbehandlung



## Bild 12: Entwässerung des Faulschlammes ohne und mit Vorbehandlung

Vorbehandlung		ohne	mit
CST-Wert	s	2260	480
Sedimentindex	ml/g	20 – 22	12 – 13
Dekanter	Typ	B	B
Durchsatz	m <sup>3</sup> /h	30 – 35	40 – 45
FHM-Verbrauch	kg/t TR	12 – 14	6 – 8
TR-Feststoffaustrag	Gew. %	22 – 25	28 – 30