

Dipl.-Ing. H. Bennoit, Steinbeis Transferzentrum Meschede, Völklingen

Prof. Dr.-Ing. C. Schuster, Fachhochschule Südwestfalen, Meschede

## **Einfluss der Schlammeigenschaften auf die Trennverfahren bei der biologischen Abwasserreinigung**

Bei der biologischen Abwasserreinigung sind die Verfahren zur Abtrennung des belebten Schlammes in der Nachklärung von entscheidender Bedeutung. Dabei können die spezifischen Schlammeigenschaften das Trennverhalten und damit die Funktion der Abwasserreinigungsanlage erheblich beeinflussen.

Das vorliegende Referat behandelt die Schwierigkeiten durch das Abtreiben von belebtem Schlamm aus der Nachklärung wegen der Oberflächenladung der Mikroorganismen. Am Beispiel von kommunalen und industriellen Kläranlagen werden die Betriebserfahrungen und Problemlösungen vorgestellt.

### **1. Einleitung**

In den letzten 10 Jahren sind im Rahmen der Abwasser-VwV die Anforderungen an die Reinigungsleistung der Kläranlagen stetig gestiegen. Die geforderte Abwasserqualität bewirkt, dass der technische Aufwand bei den Verfahren und Anlagen zunimmt. Bild 1 zeigt das Verfahrensbild einer kommunalen Kläranlage mit biologischer Stickstoff- und Phosphor-Elimination. Wie aus dem Bild zu ersehen ist, besteht die Anlage aus einer mechanischen Vorklärung und einer biologischen Reinigung des Abwassers sowie einer Eindickung des Überschussschlammes und einer Faulschlammbehandlung.

Bei der biologischen Abwasserreinigung sind die Flocken des belebten Schlammes ein zentraler Bestandteil des gesamten Verfahrens. Viele Betriebsschwierigkeiten beruhen unmittelbar darauf, dass die Flocken keine optimale Qualität besitzen. Die Kenntnis über die Qualität der Belebtschlammflocken ist notwendig, um eine schlechte Reinigungsleistung der Anlage zu interpretieren.

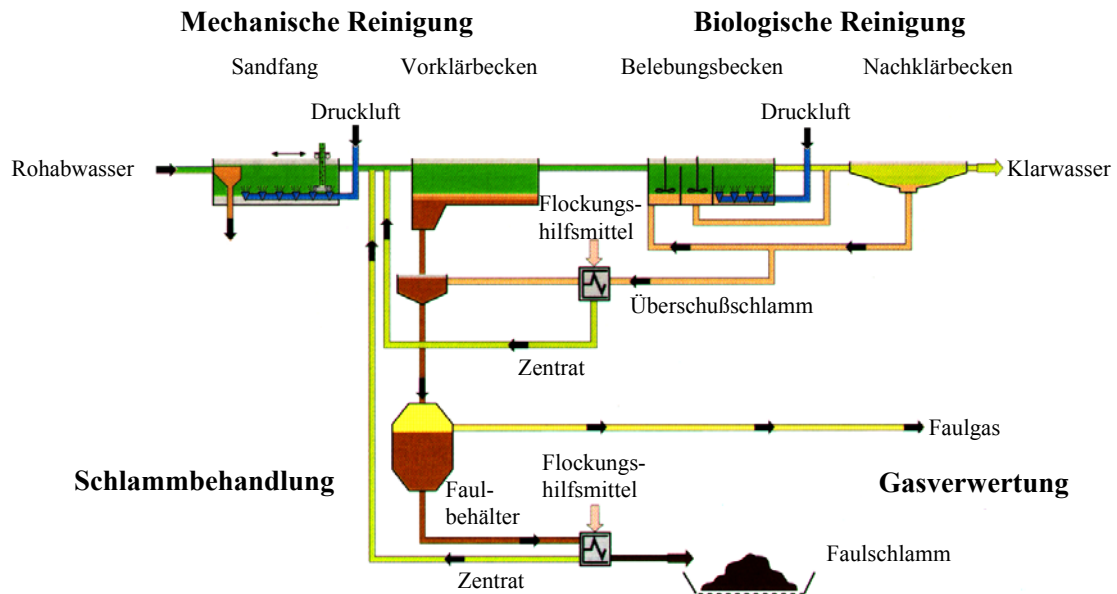


Bild 1: Verfahrensfliessbild einer kommunalen Kläranlage

## 2. Eigenschaften des belebten Schlamms

### 2.1 Einflussparameter und Schlammeigenschaften

Die Einflussparameter auf die Eigenschaften des belebten Schlamms und damit auf seine Flockung können aus dem Rohabwasser, dem biologischen Verfahren und der Schlammbehandlung kommen. Ein Teil der Schlammeigenschaften beruht auch auf der genetischen Ausstattung der Mikroorganismen. Bei dem Rohabwasser beeinflussen insbesondere überhöhte hydraulische Belastungen und Abwasserinhaltsstoffe sowie ein pH-Wert  $\leq 6,8$  und Temperaturen  $\leq 14 \text{ }^\circ\text{C}$  erheblich die Schlammeigenschaften. Die Eigenschaften werden beim biologischen Verfahren durch die Raum- und Schlammbelastung sowie durch die Sauerstoffkonzentration in der Biologie bestimmt. Von wesentlicher Bedeutung sind auch die Einflussparameter aus dem Rücklaufwasser einer anaeroben Schlammbehandlung.

Für die natürliche Flockung des belebten Schlamms sind die physikalisch-chemischen und biologischen Eigenschaften der Mikroorganismen maßgebend. Die trenntechnischen Stoffeigenschaften des Schlamms werden einerseits durch Größe, Form und Dichte, andererseits durch Verformbarkeit, Scherfestigkeit und Grenzflächeneigenschaften bestimmt.

Dabei darf ihre Komplexität und Zusammenwirken nicht außer acht gelassen werden. Die wichtigsten Schlammeigenschaften können wie folgt zusammengefasst werden:

- Feststoffgehalt in der Belebungsanlage
- Morphologie der Belebtschlammflocken
- Zusammensetzung der Belebtschlammflocken
- Oberflächenladung des belebten Schlammes
- Schlammvolumen und Schlammindex

Von diesen Schlammeigenschaften wurde über die Morphologie und Zusammensetzung der Belebtschlammflocken in verschiedenen Publikationen (z.B. /1/) berichtet. Dagegen wurde über den Einfluss der Oberflächenladung des Schlammes auf die Flockenqualität und den Trennprozess bisher sehr wenig veröffentlicht /2/.

## **2.2 Oberflächenladung des belebten Schlammes**

Mikroorganismen verhalten sich im Abwasser ähnlich wie andere Feststoffe. Sie besitzen durch den Aufbau ihrer Zellwand und Zellsubstanz eine mehr oder weniger starke elektrische Ladung, die sich unmittelbar auf ihr natürliches Flockungsverhalten auswirkt. Weiterhin zeigen die Schleimkapseln von Bakterien aus Polysacchariden die elektro-chemische Reaktion eines Proteins. Da für den Zellaufbau Kohlenstoff-, Stickstoff- und Phosphor-Verbindungen benötigt werden, hat auch die Zusammensetzung der Nährstoffe einen Einfluss auf die elektrische Ladung. Außerdem haben die Mikroorganismen auch ein sehr großes Adsorptionsverhalten für die gelösten Stoffe im Abwasser und damit auf ihre Oberflächenladung bzw. natürliches Flockungsverhalten. So können z.B. anionische Tenside, Emulgatoren, kationische Flockungshilfsmittel und hohe Salzgehalte im Abwasser die Oberflächenladung des belebten Schlammes und damit seine Flockenqualität verändern.

Bei unseren Untersuchungen dient als Messgerät zur Bestimmung der Oberflächenladung des belebten Schlammes eine PC-gestützte Mikroelektrophorese-Apparatur vom Typ Pen Kem 501. Die Methode des Gerätes beruht darauf, dass kolloidale Teilchen in einem elektrischen Feld zur Elektrode entgegengesetzter Ladung wandern. Die Richtung der Teilchenbewegung, ihre Wanderungsgeschwindigkeit sowie die Spannung des angelegten elektrischen Feldes erlauben die Berechnung der elektrophoretischen Beweglichkeit. Diese physikalische Größe steht mit dem Zeta-Potential in engem Zusammenhang. Beim eingesetzten Messgerät kann durch eine spezielle Technik das Zeta-Potential direkt abgelesen werden. Eine Flockung von Mikroorganismen ist nur dann möglich, wenn die elektrostatischen Abstoßungskräfte von den sogenannten van der Waalschen Anziehungskräften kompensiert werden. Die Anziehungskräfte

haben in der Regel in einem bestimmten Stoffsystem einen konstanten Wert, während sich die Abstoßungskräfte mit Hilfsmitteln von außen beeinflussen lassen.

Die nachfolgende Tabelle gibt einen anschaulichen Überblick über die Qualität der Belebtschlammflocken in Abhängigkeit vom Zeta-Potential. Diese Ergebnisse resultieren aus langjährigen Messungen an über hundert kommunalen und industriellen Kläranlagen.

Zeta-Potential	Mögliche Ursache	Qualität der Flocke
< - 20 mV	Abwasserinhaltsstoffe	Zerfall der Flocke
- 14 bis -18 mV		Geringe Scherstabilität
- 6 bis -12 mV		Natürliches Zeta-Potential
- 4 bis + 6 mV	Abwasserinhaltsstoffe	Geringe Scherstabilität
> + 8 mV	Kationische Polymere	Zerfall der Flocke

Das Zeta-Potential des belebten Schlammes liegt normalerweise aufgrund der genetischen Ausstattung der gramnegativen Bakterien überwiegend im Bereich von – 6 bis – 12 mV. Bei dieser Oberflächenladung bildet der belebte Schlamm eine kompakte Flocke mit relativ niedrigem Schlammindeks und gutem Abscheidevermögen. Die Spezialisten unter den Bakterien – Nitrosomas und Nitrobacter – haben eine höhere Oberflächenladung von – 12 bis – 20 mV. Sie werden normalerweise in die Belebtschlammflocken eingebunden. Liegt das Zeta-Potential außerhalb dieses Bereiches, so ist die Flockenbildung schlechter und der Schlammindeks höher. Ab einem Zeta-Potential von – 14 bis – 18 mV bzw. – 4 bis + 6 mV lässt die Scherstabilität der Belebtschlammflocke nach. Weiterhin haben die Untersuchungen ergeben, dass bei einem Zeta-Potential größer – 20 mV ein Eigenzerfall der Belebtschlammflocken eintritt. Dadurch wird die Abtrennung des belebten Schlammes im Nachklärbecken durch Sedimentation oder Flotation erheblich beeinträchtigt.

### 3. Trennprobleme in kommunalen Kläranlagen

#### 3.1 Einflussparameter aus dem Rohabwasser

Bei der biologischen Abwasserreinigung kann es zu Schwierigkeiten durch das Abtreiben von belebtem Schlamm aus der Nachklärung kommen. So kann ein trüber Ablauf der Kläranlage auf schlecht absetzende oder zu kleine Belebtschlammflocken und auf die Anwesenheit von frei schwimmenden Bakterien beruhen. Damit verbunden ist meistens ein Anstieg der Ablaufkonzentration an summarischen Wirkungs- und Stoffkenngrößen über die zulässigen Grenzwerte. Durch eine Untersuchung des belebten Schlammes, kann eine Verschlechterung der Schlammqualität bereits sehr früh festgestellt und geeignete Maßnahmen eingeleitet werden.

Die Ursache für eine schlechte Qualität der Belebtschlammflocken kann vielfältiger Natur sein. Sie ist aber fast immer mit einer Veränderung der Oberflächenladung des Schlammes verbunden. Bild 2 zeigt die Oberflächenladung des belebten Schlammes von zwei Kläranlagen mit einem Zeta-Potential von 90 % = - 8 mV und 80 % = - 18 mV. Im ersten Fall handelt es sich um ein Großklärwerk bei dem der Überschussschlamm in das Rohabwasser eingemischt wird und der Mischschlamm aus der Vorklärung nach der Entwässerung mit Dekantierzentrifugen direkt einer Verbrennungsanlage zugeleitet wird. Der belebte Schlamm bildet eine kompakte Flocke mit einem Schlammdindex je nach Jahreszeit von 60 bis 100 ml/g und gutem Abscheidevermögen in der Nachklärung.

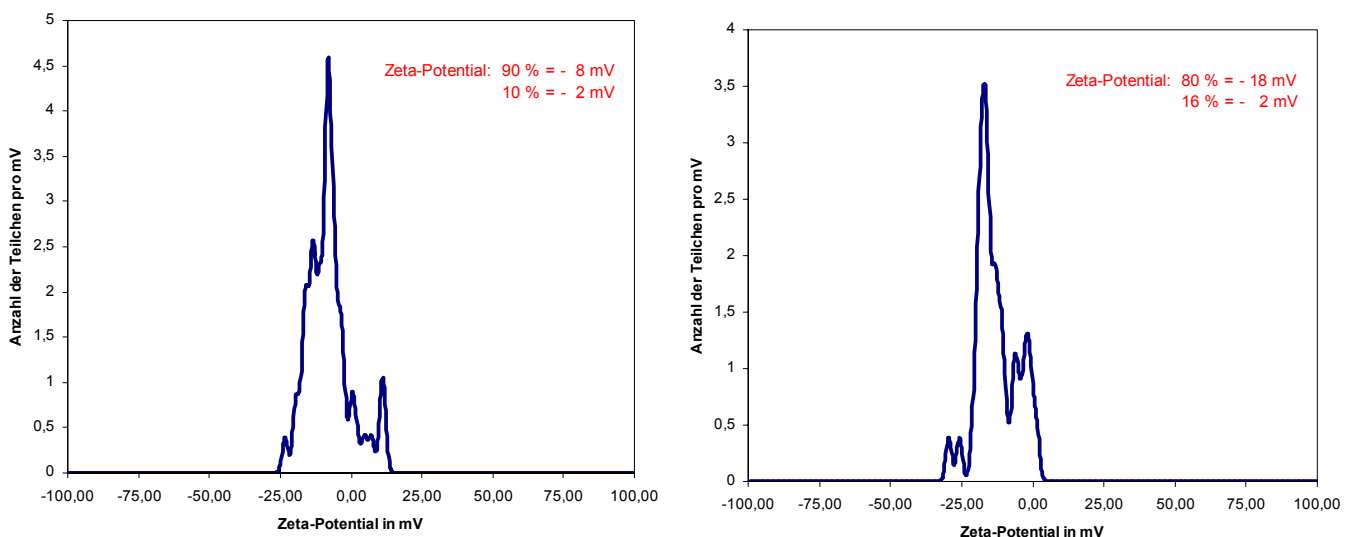


Bild 2: Zeta-Potential des belebten Schlammes

Bei dem zweiten Klärwerk ist durch die Ladungsverhältnisse der Bakterien eine Scherstabilität der Belebtschlammflocken in turbulenter Strömung oder in Kreiselpumpen nicht gegeben. Die Folge davon ist ein trüber Ablauf des biologisch gereinigten Abwassers aus der Nachklärung mit Sedimentation trotz vertikaler Durchströmung und Flockenfilter. Eine ganzheitliche Betrachtung der gesamten Anlage ergab, dass ein Teilstrom des Rohabwassers aus einem Industriegebiet einen hohen Gehalt an anionischen Tensiden und Emulgatoren besitzt. Durch das große Adsorptionsvermögen des Schlammes werden die gelösten Abwasserinhaltsstoffe aufgenommen. Es entsteht die hohe negative Oberflächenladung des belebten Schlammes und damit die schlechte Flockenqualität.

Aufgrund dieser Erkenntnis bieten sich zur Lösung der Trennprobleme in der Nachklärung folgende Maßnahmen an:

- Dezentrale Abwasserbehandlung im Industriebetrieb
- Einleitung des Überschussschlammes in das Rohabwasser

Die dezentrale Abwasserbehandlung besteht aus einer physikalisch-chemischen Vorbehandlung und einer mechanischen Vorklärung des Abwassers. Bei der Einleitung des Überschussschlammes in das Rohabwasser kann aufgrund unserer Erfahrungen eine maximale Klärflächenbelastung der Vorklärbecken von etwa  $2 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$  und eine Durchflusszeit von ca. 1,5 h zugrunde gelegt werden.

### **3.2 Einflussparameter aus der Schlammbehandlung**

Bei der anaeroben Schlammbehandlung treten insbesondere bei Kläranlagen mit BIO-P erhebliche Schwierigkeiten bei den Trennverfahren zur Entwässerung des Faulschlammes auf. Die Schwierigkeiten werden durch die P-Rücklösung im Faulbehälter und durch den niedrigen Glührückstand des Schlammes von 30 bis 40 % verursacht. Diese Probleme können nur teilweise durch eine hohe Einsatzmenge an kationischen Flockungshilfsmitteln von 10 bis 16 kg WS/t TS gelöst werden. Durch das Rücklaufwasser aus der Schlammbehandlung in die Belebungsanlage werden durch die Abwasserinhaltsstoffe, wie z.B. hoher Polymergehalt, die Qualität der Belebtschlammflocken in der Nachklärung beeinträchtigt und damit das Abtrennverhalten.

Wie aus Bild 2 zu ersehen ist, beträgt das Zeta-Potential des belebten Schlammes 10 % bzw. 16 % = - 2 mV. Bei unseren Untersuchungen wurde im Extremfall auch ein Zeta-Potential von 14 % = + 25 mV gemessen. Dadurch entstehen in der Nachklärung der biologischen Abwasserreinigung erhebliche Schwierigkeiten durch die Flockenqualität. Um diese Probleme zu lösen, werden folgende Maßnahmen empfohlen:

- Physikalisch-chemische Vorbehandlung des Faulschlammes
- Einleitung des Rücklaufwassers in den Überschussschlamm.

Die physikalisch-chemische Vorbehandlung des Faulschlammes besteht aus der Entgasung und Entstabilisierung des Schlammes. Bei einer Höhe des Faulbehälters von 20 bis 30 m kann sich bei Temperaturen von 30 bis 35 °C eine große CO<sub>2</sub>-Menge lösen. Das gelöste CO<sub>2</sub> entweicht beim Entspannen auf Atmosphärendruck aus dem Schlamm und bewirkt eine Veränderung des pH-Werts von ca. 6,8 bis 7,0 auf  $\geq 7,8$  und damit des Lösungsgleichgewichts im Schlamm. Die Entstabilisierung des Schlammes erfolgt mit anorganischen Fällungsmitteln. Hierzu zeigt Bild 3 das Zeta-Potential des Faulschlammes ohne und mit Vorbehandlung. Wie aus dem Bild hervorgeht, wird das Zeta-Potential des Schlammes von  $-28$  mV in den normalen Bereich von  $-10$  mV herabgesetzt.

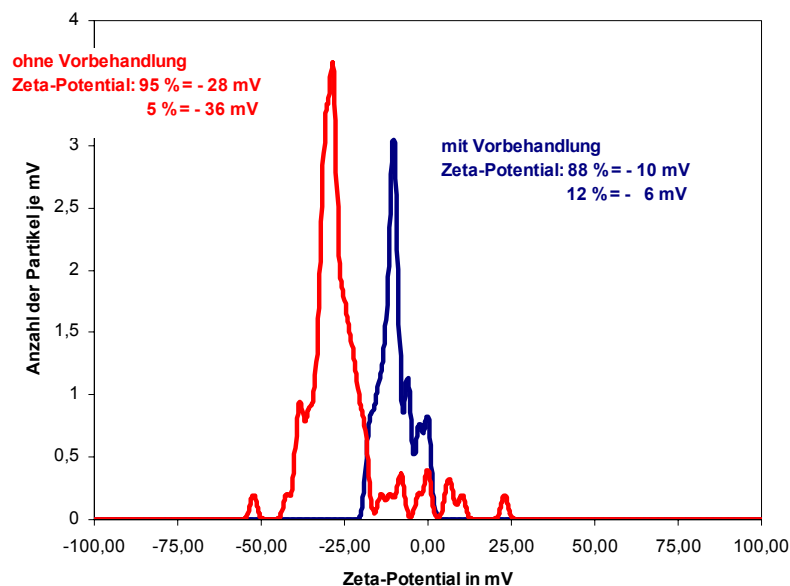


Bild 3: Zeta-Potential von Faulschlamm mit und ohne Vorbehandlung

Mit dieser Verbesserung der Schlammigenschaften kann der Trennprozess zur Entwässerung des Faulschlammes wesentlich verbessert werden. So konnte in einem Anwendungsfall der Durchsatz der Dekantierzentrifugen von 30 bis 35 m<sup>3</sup>/h auf 40 bis 45 m<sup>3</sup>/h Schlamm und der Trockenstoffgehalt im Feststoffaustrag von 22 bis 25 Gew. % auf 28 bis 30 Gew. % gesteigert werden. Dabei ist der Flockungshilfsmittelverbrauch mit 6 bis 8 kg WS/t TS nur halb so hoch wie ohne Vorbehandlung des Schlammes. Durch diese Betriebsweise der Schlammbehandlung enthält das Rücklaufwasser erheblich weniger Restpolymere, was die Qualität der Belebtschlammflocken positiv beeinflusst.

#### 4. Kläranlagen in der Öl- und Fettveredelung

Bei der Gewinnung von Pflanzenölen und Fetten müssen die Rohprodukte noch einen Raffinationsprozess zur Abscheidung von Harz- und Schleimstoffen durchlaufen. Dieser Prozess setzt sich im Allgemeinen aus den technologischen Grundoperationen – Entschleimung, Entsäuerung, Entfärbung, Desodorierung und Polieren – zusammen. Das dabei anfallende Abwasser wird entweder kommunalen Kläranlagen zugeführt oder in betriebseigenen Kläranlagen gereinigt. Bei dem Abwasser treten die Naturstoffe aus physikalisch-chemischen Gründen mit ihren Nebenprodukten und Hilfsmitteln als Abwasserinhaltsstoffe auf. Öle und Fette können im Abwasser gelöst, emulgiert und in freien Verbindungen vorliegen. Sie können nur nach Einbettung in feinste Dispersionen von Mikroorganismen als Nahrung inkorporiert werden.

Bild 4 zeigt das Verfahrensfließbild einer zentralen Kläranlage, bestehend aus einer Neutralisation und Vorklärung des Abwassers durch Flotation sowie einer zweistufigen biologischen Reinigung. Zu diesen Verfahrensschritten gehören unterschiedliche Verweilzeiten des Abwassers aus denen wiederum die entsprechenden Abmessungen der einzelnen Stufen resultieren. Diese Anlagen werden auch ohne physikalisch-chemische Vorbehandlung und mechanischer Vorklärung des Abwassers ausgeführt. Nach dem letzten Stand der Technik ist auch eine Kläranlage mit einer sogenannten 3. Reinigungsstufe zur P-Elimination ausgeführt worden.

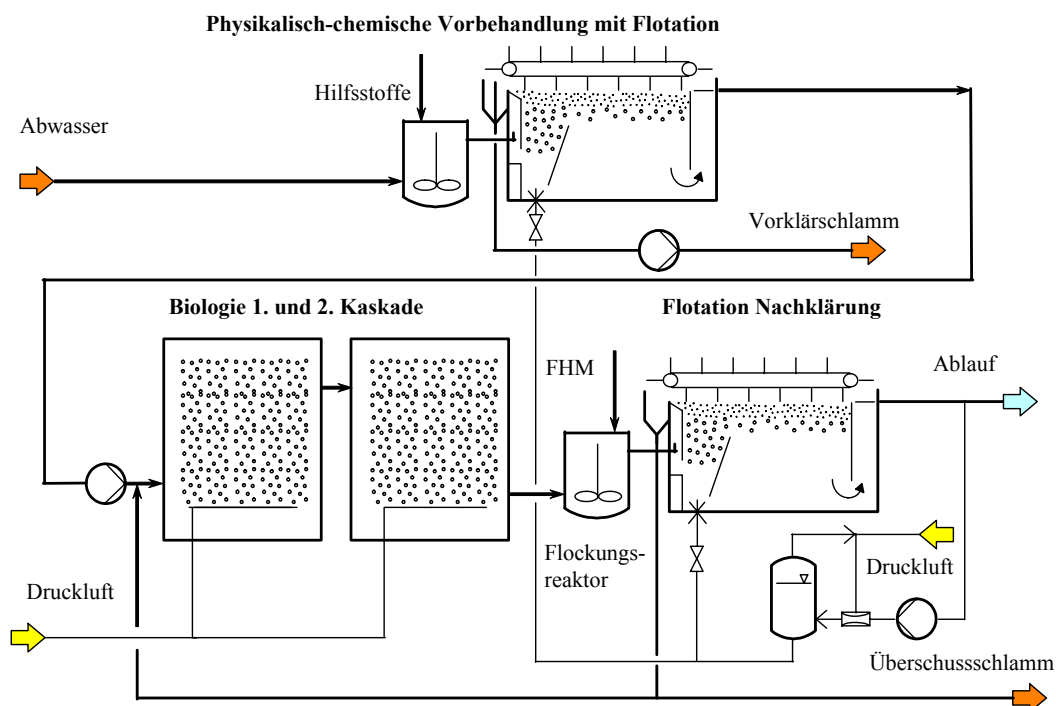


Bild 4: Kläranlage aus der Öl- und Fettveredelung



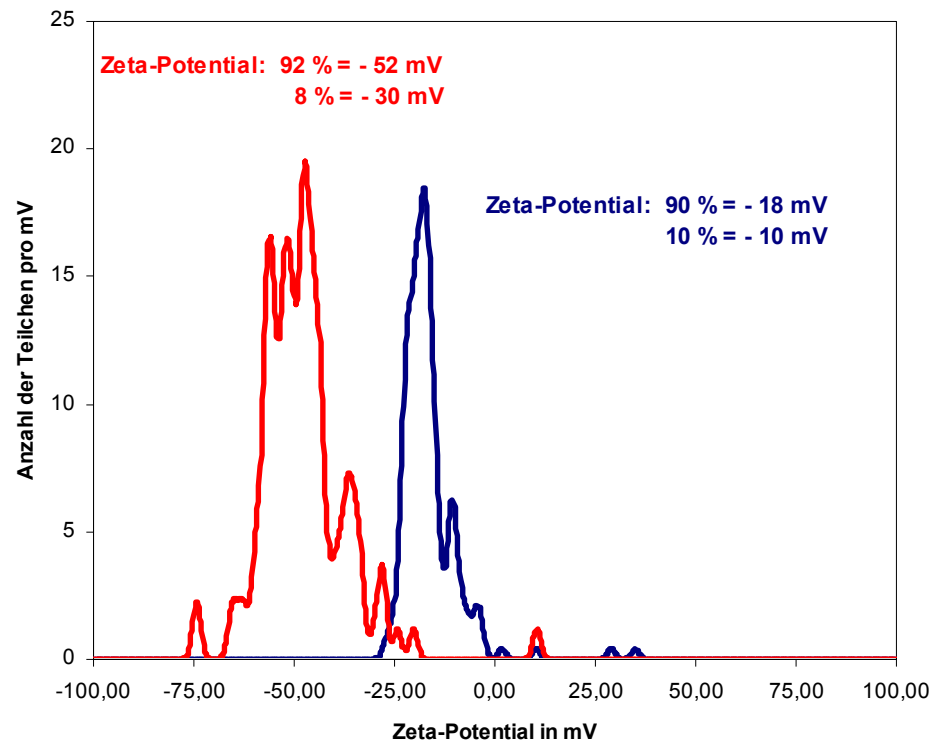


Bild 5: Zeta-Potential von belebtem Schlamm mit und ohne Vorbehandlung

Bei einer Anlage ohne Vorbehandlung und mechanischer Vorklärung des Abwassers treten erhebliche Trennprobleme bei der biologischen Abwasserreinigung in der Nachklärung auf. Die Ursache hierfür liegt bei der Oberflächenladung des belebten Schlamms und damit bei der Qualität der Belebtschlammflocken. Bild 5 zeigt das Zeta-Potential des belebten Schlamms ohne und mit Vorbehandlung des Abwassers. Wie aus dem Bild zu ersehen ist, beträgt das Zeta-Potential des Schlamms im erstgenannten Fall 92 % = - 52 mV und 8 % = - 30 mV sowie im zweiten 90 % = - 18 mV und 10 % = - 10 mV. Das anstehende Trennproblem ohne Vorbehandlung konnte nur gelöst werden, indem neben der Zugabe von organischen Flockungshilfsmitteln eine Dosierung von Eisensalzen in die biologische Abwasserreinigung erfolgte.

Die physikalisch-chemische Vorbehandlung des Abwassers erfolgt je nach Gehalt an lipophilen Stoffen durch eine pH-Wert Einstellung von 8,5 bis 11 mit Kalkmilch. Durch diese Behandlung des Abwassers werden sowohl die freien als auch die emulgierten fetthaltigen Verunreinigungen als unlösliche Feststoffe ausgefällt. Voraussetzung für die Bildung einer Makroflocke mit gutem Abscheidevermögen ist die Zugabe eines anionischen

Flockungshilfsmittels und zwar  $5 \text{ g/m}^3$  Abwasser. Durch die mechanische Vorklärung mit Flotation kann der CSB-Wert im Abwasser um 40 bis 50 % reduziert werden.

Die Nachklärung der biologischen Abwasserreinigung besteht aus einer Flotationsanlage mit einer Klärfläche von  $8 \text{ m}^2$  und einem Klärvolumen von  $16 \text{ m}^3$ . Für die optimale Einstellung der Flotation ist bei einer Abwasser-Flächenbeschickung von 3 bis  $4 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$  und einer Feststoff-Flächenbelastung von 15 bis  $20 \text{ kg/m}^2\text{h}$  eine Druckwasserzugabe von 20 % sowie ein Sättigungsdruck von 4 bar und ein Flockungshilfsmittelverbrauch von  $5 \text{ g/m}^3$  Abwasser erforderlich. Der anfallende Rücklaufschlamm hat einen Feststoffgehalt von 30 bis 40 g/l. Das biologisch gereinigte Abwasser fließt unter Einhaltung der Grenzwerte direkt in den Vorfluter.

### **5. Zusammenfassung und Ausblick**

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass mit der Messung der Oberflächenladung des belebten Schlammes die bestehenden Trennprobleme durch die Qualität der Belebtschlammflocken analysiert und geeignete Maßnahmen eingeleitet werden können. Die Grundlagenforschung und angewandte Forschung auf diesem Gebiet werden weiter geführt. So ist es zur Zeit das Ziel eines vom BMBF geförderten Forschungsvorhabens, die relevante Laboranalytik in eine kontinuierliche Online-Messung für den Betrieb umzusetzen.

### **6. Literatur**

- /1/ van Buijsen, H.J.J. und Eikelboom, D.H.: Handbuch für die mikroskopische Schlammuntersuchung, F. Hirthammer Verlag, München
- /2/ Schories, G. und Vogelpohl, A.: Einfluss abwasser- und belebtschlammspezifischer Parameter auf die flotative Belebtschlammabtrennung. Korrespondenz Abwasser 43 (12), 2162-2171, 1996.