

**Projektsteckbrief Förderprogramm des
Ministeriums für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des
Landes Nordrhein-Westfalen**

Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft,
Natur- und Verbraucherschutz
des Landes Nordrhein-Westfalen



Förderprogramm	Ressourceneffiziente Abwasserbeseitigung NRW II – Förderbereich 6 Forschungs- und Entwicklungsprojekte in der Abwasserbeseitigung	
Antragstitel	„Steigerung der Energieausbeute kommunaler Kläranlagen durch intensivierete mehrstufige Schlammfäulung - Untersuchung am GWK Köln-Stammheim - SEKIS“	
Laufzeit	17.11.2016 – 29.02.2020	
Bewilligungsempfänger	Ansprechpartner	
Lehrstuhl für Siedlungswasserwirtschaft und Umwelttechnik der Ruhr-Universität Bochum	Prof. Dr.-Ing. habil. Marc Wichern	
Stadtentwässerungsbetriebe Köln AöR		
Wupperverbandsgesellschaft für integrale Wasserwirtschaft mbH		

Zielsetzung und Anlass des Vorhabens

Kläranlagen haben aus energetischer Sicht einen besonderen Stellenwert. Einerseits sind sie vielfach der größte Einzelverbraucher einer Kommune an Energie, andererseits aber auch Energieerzeuger, da bei Anlagen mit separater anaerober Schlammstabilisierung Klär- bzw. Faulgas als Nebenprodukt anfällt. Dieses kann für die Eigenproduktion von Strom und Wärme in Anlagen der Kraft-Wärme-Kopplung eingesetzt werden. Eine weitestgehende Deckung des Energiebedarfs der Abwasserreinigung und Schlammbehandlung durch die Eigenproduktion ist ein maßgeblicher Ansatzpunkt zur Steigerung der Energieeffizienz kommunaler Kläranlagen. Sie ist aus Gründen der Nachhaltigkeit mit einer Reduktion des standortbezogenen CO₂-Ausstoßes, wie auch aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten aufgrund der weiter steigenden Kosten für fremdbezogene Energie von großer Relevanz.

Die Mehrheit der Großklärwerke in Deutschland betreibt einstufige Faulungsanlagen, obwohl eine mehrstufige Faulung reaktionskinetische Vorteile durch die Kaskadenverschaltung mit einer erhöhten Substratkonzentration in der vorderen Stufe bietet. Zudem ergeben sich keine oder geringere Kurzschlussströmungen, der gesteigerte Abbau der organischen Substanz verbessert die Entwässerungseigenschaften des Faulschlammes und kann den Polymerverbrauch der Schlammfäulung reduzieren. Weiterhin reduzieren sich die zu entsorgenden Schlammengen. Da die Kosten für die Klärschlamm Entsorgung nach den Personalkosten üblicherweise den zweitgrößten Anteil an den Betriebskosten ausmachen, ist auch dieser Aspekt von Interesse.

Bezüglich der verfahrenstechnischen Möglichkeiten der Energiebereitstellung für Kläranlagen mit zwei oder mehreren Faulbehälter liegen bisher jedoch nur unzureichende Erfahrungswerte vor. Im Rahmen dieses Projektes wurde daher ein kombinierter Ansatz aus reaktionskinetischen und strömungstechnischen Simulationen, mikrobiologischer und umsatzspezifischer labortechnischer Untersuchungen sowie eine großtechnische Erprobung auf dem Großklärwerk Köln-Stammheim durchgeführt. Mit den so gewonnenen Erkenntnissen und Empfehlungen sollen die Vorteile einer mehrstufigen Faulung für möglichst viele Kläranlagen nutzbar gemacht werden.

Projektdurchführung

In Voruntersuchungen wurden zunächst reaktionskinetische Simulationen der Faulprozesse durchgeführt, wobei sowohl Parallel- und Reihenbetrieb, als auch Kombinationen daraus simuliert wurden. Auf Grundlage der Simulationsergebnisse und weiterer Vorüberlegungen wurden Vorzugsvarianten für die Verschaltung im großtechnischen Maßstab entwickelt und Langzeitstudien im realen Betrieb durchgeführt.

Die Untersuchungen erfolgten am Großklärwerk Köln-Stammheim der Stadtentwässerungsbetriebe Köln. Das Klärwerk gehört mit einer Anschlusskapazität von 1,57 Mio. EW der Größenklasse 5 an. Die Schlammfäulung mit fünf Faulbehältern, die jeweils ein Volumen von 11.000 m³ aufweisen, wurde zuvor verfahrens- und rohrlinientechnisch so umgebaut, dass sowohl ein Parallel- als auch ein mehrstufiger Reihenbetrieb der Faulbehälter möglich war.

Versuchsbegleitend wurden weitere reaktionskinetische Modellierungen und Strömungssimulationen der Faulbehälter durchgeführt, die Aufschluss über die optimale Betriebsweise der einzelnen Faulbehälter in den verschiedenen Verschaltungsszenarien gaben. Neben routinemäßigen chemischen Analysen erfolgte eine detaillierte Betrachtung der Mikrobiologie in den fünf Faulbehältern während der Langzeitstudien, um die

Auswirkungen der unterschiedlichen Prozessführungen auf die mikrobielle Biozönose und somit auf die Effizienz der Faulgasbildung erfassen zu können.

Die Ergebnisse des Anlagenbetriebs des GWK Köln-Stammheim wurden anschließend auf andere Abwasserreinigungsanlagen in Nordrhein-Westfalen übertragen. Hierzu wurde eine Potentialanalyse zur Optimierung vorhandener kommunaler Kläranlagen in NRW durchgeführt und die Voraussetzungen für eine technische Umsetzbarkeit beschrieben und kostenmäßig bewertet.

Wesentliche Ergebnisse

Mit den großtechnischen Untersuchungen auf dem GWK Köln-Stammheim konnte gezeigt werden, dass mit der Umstellung vom Parallelbetrieb zu einer dreistufigen Reihe mit 30 Tagen Aufenthaltszeit ein um bis zu 15 % deutlich verbesserter oTR-Abbau erreicht werden kann. Der spezifische Gasertrag konnte um 3 % - 6 % gesteigert werden. Darüber hinaus ergaben die Entwässerungsversuche für den Reihenbetrieb um 1 bis 2 Prozentpunkte höhere Entwässerungsleistungen bei gleichzeitig besserer Trennschärfe.

Rheologische Untersuchungen zeigten eine Abnahme der Viskosität im Verlauf der Reihenschaltung, sowie eine Korrelation zwischen geringerer Viskosität und einem verbesserten Entwässerungsverhalten. Es stellte sich des Weiteren heraus, dass die Viskosität innerhalb eines Faulbehälters nicht konstant ist, sondern eine Schichtung in der Vertikalen existiert. Die Untersuchungen dienten auch als Grundlage für Strömungsberechnungen, anhand derer wichtige Erkenntnisse zur Betriebsoptimierung bezüglich der Durchmischung und Ausnutzung des Faulbehältervolumens sowie zur Vermeidung hydraulischer Kurzschlussströmungen gewonnen werden konnten. Als eine der ersten Strömungsuntersuchungen weltweit gelang es, ein realitätsnahes instationäres Mehrphasenmodell mit Gasproduktion für großtechnische Faulbehälter aufzustellen.

Untersuchungen der Mikrobiologie zeigten, dass die Faulbehälterverschaltung keinen Einfluss auf die mikrobielle Lebensgemeinschaft hat, allerdings führte die Reduzierung der Verweilzeit auf 8 Tage zu einer Auswaschung der Bakterien und somit zu einer Verringerung der Zelldichte, die sich jedoch nach einiger Zeit wieder erholte. Die verringerte Verweilzeit führte ebenfalls zu einer Abnahme der Abundanz der acetoklastischen Methanosaetaceae von ca. 90 % (HRT > 8d) bis ca. 45 % (HRT = 8d) und zu einer Erhöhung der Abundanz hydrogenotropher Methanbildner von ca. 5 % (HRT > 8d) bis ca. 55 % (HRT = 8d). Auch konnte bei der Reihenverschaltung mit einer Verweilzeit von 8 Tagen eine Reduzierung des Methangehaltes um 2,4 % und eine Erhöhung der Konzentration organischer Säuren auf 450mg/L ermittelt werden. Es liegt die Vermutung nahe, dass durch eine vermehrte hydrogenotrophe Methanogenese eine stärkere Verringerung des Methangehaltes verhindert wurde. Zusammenfassend konnte gezeigt werden, dass sich ein stabiler Betrieb für die Reihenverschaltung bei einer Verweilzeit größer 8 Tagen pro Reaktor einstellt.

Mit der Simulation der Reaktionskinetik konnte sowohl das mittlere Abbauverhalten des Parallelbetriebs als auch des Reihenbetriebs gut dargestellt werden. In allen Versuchsphasen zeigte sich ein deutlich verbesserter oTR-Abbaugrad bei gleichbleibender bzw. etwas geringerer Gasproduktion im Vergleich zum parallelen Betrieb und bestätigt die geringe Verbesserung des gemessenen spezifischen Gasertrages. Die reaktionskinetischen Variantensimulationen für eine 500.000 EW-Anlage mit einer konventionellen Belebungsstufe und anaerober Schlammstabilisierung wiesen im zweistufigen Reihenbetrieb bei einer hydraulischen Aufenthaltszeit von 20 d für die gesamte Reihe eine Verbesserung von 10 % oTR-Abbau im Vergleich zum Parallelbetrieb auf. Mit der Umsetzung einer dreistufigen Reihe kann eine Erhöhung des Abbaugrades um 14 % erreicht werden. Die Ergebnisse bestätigen die gute Abbauleistung der großtechnischen Untersuchungen.

Maßnahmen zum Wissenstransfer

Klein, T., Klauke, L.; Nettmann, E.; Lübken, M.; Wichern, M.; Hobus, I.; Kolisch, G. (2019) Verbesserung der Abbauleistung in der Schlammfaulung durch mehrfache Reihenverschaltung der Faulbehälter - erste Ergebnisse aus dem Forschungsprojekt SEKIS. Kompetenz Wasser, Kölner Fachjournal für Abwasser, Hochwasserschutz und Gewässer, 28/2019, S. 38-40.

Hobus, I.; Klauke, L.; Klein, T.; Kolisch, G.; Nettmann, E.; Lübken, M.; Wichern, M. (2020): Steigerung der Energieausbeute kommunaler Kläranlagen durch intensiviertere mehrstufige Schlammfaulung – Untersuchung am GWK Köln-Stammheim SEKIS. Abschlussbericht zum gleichnamigen Forschungsvorhaben, gefördert vom Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen.

Hobus, I.; Meyer zu Berstenhorst, P.; Klein, T.; Klauke, L.; Kolisch, G.; Nettmann, E.; Lübken, M.; Wichern M. (2021) Steigerung der Energieausbeute kommunaler Kläranlagen durch intensivierete mehrstufige Schlammfäulung – SEKIS. 12. Klärschlammstage, Tagungsband, DWA.

Fazit / Erkenntnisse für die Zukunft

Die biologische Schlammstabilisierung rückt neben der Abwasserreinigung zunehmend in den Fokus. Durch die Steigerung der Gasproduktion mit anschließender Verstromung stellt sie einen weiteren Baustein auf dem Weg zu einer energieneutralen Kläranlage dar. Dieser Aspekt gewinnt auch vor dem Hintergrund hoher und vermutlich weiter steigender Energiepreise an Bedeutung. Bei den Betriebskosten einer Kläranlage spielen insbesondere auch die Schlammstabilisierung und die Schlamm Entsorgung zunehmend eine wichtige Rolle. Nach den Personalkosten sind die Kosten für die Klärschlamm Entsorgung der zweitgrößte Kostenfaktor. Ziel war es somit auch, die zu entsorgende Schlammmenge durch einen erhöhten Abbaugrad und eine verbesserte Entwässerungsleistung zu verringern.

In diesem Forschungsprojekt wurde untersucht, inwieweit eine Reihenverschaltung der Faulbehälter dazu beitragen kann, die genannten Ziele zu erreichen. In einem ganzheitlichen Ansatz wurden neben den üblichen Labor- und Betriebsdaten einer Faulungsanlage mikrobiologische und rheologische Parameter über den gesamten Versuchszeitraum bestimmt. Weiterhin wurden strömungstechnische und reaktionskinetische Simulationen durchgeführt mit dem Ziel, die Ergebnisse der Versuche zu bestätigen und hierauf aufbauend Handlungsempfehlungen für den mehrstufigen Betrieb der Faulungsanlage zu entwickeln.

Im Ergebnis der Untersuchungen zeigte sich ein um bis zu 15 % deutlich verbesserter oTR-Abbau und eine Steigerung des spezifischen Gasertrags um maximal 6 %. Darüber hinaus wurden für den Reihenbetrieb um bis zu 2 Prozentpunkte höhere Entwässerungsleistungen bei gleichzeitig besserer Trennschärfe beobachtet. Insbesondere durch den besseren oTR-Abbau und die gesteigerte Entwässerungsleistung können die Klärschlamm Entsorgungskosten um bis zu 18 % gesenkt werden.

Das Potential, das sich durch eine Umstellung von Faulungsanlagen von einstufigen auf einen mehrstufigen Betrieb für die Kläranlagen in NRW ergibt, wurde abgeschätzt. In NRW haben ca. 285 Kläranlagen eine Faulungsanlage. Da es sich hierbei überwiegend um Anlagen der Größenklassen 4 und 5 handelt, entsprechen diese Anlagen zusammen 31,5 Mio. EW und damit 90 % der gesamten Reinigungskapazität in NRW. Ungefähr 40 % der Faulungsanlagen besitzen zwei Faulbehälter. Weiterhin weisen ein Großteil der Faulungsanlagen hydraulische Aufenthaltszeiten von größer 20 Tagen auf, so dass ein stabiler Betrieb der Faulung bei einem zweistufigen Betrieb der Anlage gewährleistet werden kann. Durch die Umstellung von ca. 28 % der Faulungsanlagen in NRW kann eine jährliche Einsparung von 8,3 Mio. Euro erreicht werden, dem stehen überwiegend nur geringe Investitionskosten gegenüber.

Für die Umstellung von einstufigem auf mehrstufigen Betrieb der Faulbehälter sind meist nur geringe technische Maßnahmen erforderlich. Da die Faulbehälter in der Regel mit gleicher Füllhöhe errichtet sind, werden für die Überleitung bei einer Reihenschaltung Transferpumpen und rohrleitungstechnische Anbindungen nötig. Bei der Beschickung des Faulbehälters muss gleichzeitig ein Abzug über die Transferpumpe erfolgen. Hier muss über eine Höhenstandsmessung des Faulbehälters mit frequenzgeregelten Transferpumpe ein konstanter Füllstand im Faulbehälter eingestellt werden. Die Einbindung von zusätzlichen Wärmepumpen für die nachgeschalteten Stufen einer mehrstufigen Reihe ist in von den Transmissionsverlusten der Faulbehälter abhängig. Bei den großtechnischen Versuchen in diesem Projekt war die Aufheizung des Faulschlammes im ersten Reaktor ausreichend, dies ist aber im Einzelfall zu prüfen. Als verfahrenstechnische Randbedingung wird eine hydraulische Aufenthaltszeit in der ersten Stufe von mindestens 8 bis 10 Tagen empfohlen.