

AEROBER GRANULIERTER SCHLAMM MIT NEREDA®

ARA SARNERAATAL HAT FÜNF JAHRE BETRIEBSERFAHRUNG

Die ARA Sarneraatal ist die erste Schweizer Abwasserreinigungsanlage, auf der das Nereda®-Verfahren auf Basis von aerob granuliertem Schlamm eingesetzt wurde. Mittlerweile sind es fünf Jahre – Zeit für einen Überblick über die beobachtete Leistung und gemachten Erfahrungen mit Nereda®. Hervorzuheben ist vor allem die Denitrifikation mit 70 Prozent. Aus diesem Grund ist das Verfahren hinsichtlich der zukünftigen erhöhten Anforderungen an die Stickstoffelimination als interessante Variante einzustufen – insbesondere dann, wenn der Platz knapp ist.

Martin Baggenstos, Hunziker Betatech AG

Noah Joller, Hunziker Betatech AG

RÉSUMÉ

NEREDA® SUR LA BASE DE BOUES AÉROBES GRANULAIRES – CINQUE ANNÉES D'EXPÉRIENCE À LA STEP DE SARNERAATAL

Le procédé Nereda® sur la base de boues aérobies granulaires a été appliqué pour la première fois en Suisse à la STEP de Sarneraatal avec une mise en service en 2018. L'élimination d'azote de la biologie est stable et de l'ordre de 70% malgré un rapport C/N bas. A cause de ce rapport bas, l'élimination du phosphore ne peut pas être réalisée par voie biologique. Toutefois, une bonne granulation et des bons indices de boues de 40–60 ml/g peuvent être observés. Suite à l'élimination du phosphore par précipitation (à la place par voie biologique), les charges en retour en phosphore restent faibles. La consommation spécifique d'électricité se situe avec 18 kWh/EHa entre la valeur idéale (16 kWh/EHa) et la valeur indicatrice (23 kWh/EHa). Le procédé Nereda® représente une option de procédé intéressante pour des demandes exigeantes notamment au niveau de l'élimination d'azote.

EINFÜHRUNG

Das Nereda®-Verfahren ist das aktuell verbreitetste Verfahren zur biologischen Abwasserreinigung auf Basis von aerob granuliertem Schlamm (AGS). Es wurde in den Niederlanden von Royal HaskoningDHV (RHDHV) und der Technischen Universität (TU) Delft entwickelt und patentiert. Das Verfahren wird von meist national tätigen Lizenznehmern umgesetzt (CH: HFS Aqua, ehemals WABAG Wassertechnik). Bisher wurde in der Schweiz das Verfahren auf zwei Abwasserreinigungsanlagen (ARA) implementiert: ARA Sarneraatal und ARA Kloten Opfikon.

Auf der ARA Sarneraatal (65 000 EW) wurde ein neuer Reinigungsblock erstellt und ist seit gut fünf Jahren in Betrieb. Auf der ARA Kloten Opfikon (125 000 EW) erfolgt die Umsetzung etappiert im Bereich der bisherigen Biologie. Zurzeit sind dort zwei von vier Becken in Betrieb.

Das Nereda®-Verfahren ist in die Gruppe der diskontinuierlichen AGS-Verfahren einzuordnen, d.h. mit einer Prozessführung auf Basis SBR (*Sequencing Batch Reactor*, dt. Sequenzielles Biologisches Reinigungsverfahren). Charakteristisch ist das Befüllen am Reaktorboden durch das sedimentierte Schlammbett, während gleichzeitig an der Reaktoroberfläche das Klarwasser abgezogen wird (Fig. 1). Im Rahmen dieses Prozesses findet

Kontakt: M. Baggenstos, martin.baggenstos@hunziker-betatech.ch

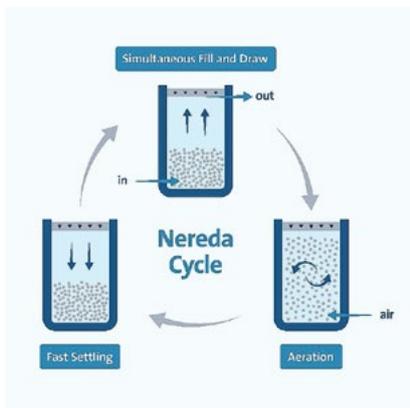


Fig. 1 Nereda®-Zyklus (Beginn oben, ©RHDHV):
1. Beschickung und Klarwasserabzug,
2. Reaktionsphase, 3. Sedimentation.

auch der Überschussschlammabzug statt. Dieses Prinzip fördert zum einen das Granulwachstum und ermöglicht zum anderen die Schlammelektion über den Abzug. Genauere Informationen dazu sind früheren Publikationen in *Aqua & Gas* [1] und *Korrespondenz Abwasser* zu entnehmen [2–4].

Beim Ausbau der ARA Sarneraatal in Alpnach wurde das Nereda®-Verfahren als Alternative zu einem klassischen SBR (ursprüngliches Konzept) aus wirtschaftlichen und leistungstechnischen Gründen gewählt. Vorteilhaft wurde insbesondere die ganzjährige Denitrifikation erachtet, die bei der Auslegung des klassischen SBR nicht vorgesehen war. Zudem wurde mit einer teilweise biologischen Phosphorelimination gerechnet. Dennoch bestanden Unsicherheiten darüber, ob sich das Verfahren für die schweiztypischen Anforderungen bezüglich gesamte ungelöste Stoffe (GUS), bzw. abfiltrierbare Stoffe (AFS) und Ammonium ($\text{NH}_4\text{-N}$) im Ablauf eignen würde. Erfolgreiche Pilotversuche auf der ARA Kloten Opfikon konnten diese Unsicherheiten mehrheitlich beseitigen, was schliesslich zu einem Entscheid für das neue Verfahren führte. Bedenken blieben nur hinsichtlich der Kontrolle der hydraulischen Verhältnis-

se, d. h. hinsichtlich des Erreichens der notwendigen Pfpfenströmung im gross-technischen System.

ERFAHRUNGEN

REINIGUNGSLEISTUNG ALLGEMEIN

Die vorgängig genannten Bedenken erwiesen sich als unbegründet: Die Ablaufwerte bei den erwähnten Parametern liegen im Bereich von konventionellen Belebtschlammanlagen (Tab. 1). Der Wechsel von Trocken- auf Regenwetter ist hingegen etwas heikel und kann zu erhöhten GUS-Werten führen. Diesbezüglich sind immer noch Optimierungen im Gange.

STICKSTOFFELIMINATION

Die ganzjährig hohe und erwartete Stickstoffelimination war mit ausschlaggebend, dass die Wahl auf das Nereda®-Verfahren und nicht auf ein konventionelles SBR-Verfahren fiel. So liegt die Stickstoffelimination ganzjährig bei rund 70%, in den letzten Jahren ist sie etwas gesunken (Fig. 2). Dies ist leicht tiefer als erwartet und ist wohl auf das C/N-Verhältnis von

ca. 6,5 zurückzuführen, das in den letzten Jahren ebenfalls gesunken ist. Es scheint, dass es im sehr grossen Einzugsgebiet der Anlage schon zu einem Teilabbau von organischen Stoffen kommt (vor allem von organischen Fettsäuren).

PHOSPHORELIMINATION

Bei AGS-Systeme wird grundsätzlich von einer biologischen Phosphorelimination (Bio-P) ausgegangen. Überraschender- und auch bedauerlicherweise kommt es auf der ARA Sarneraatal aber zu keiner biologischen Phosphorelimination trotz Granulbildung. Deswegen erfolgt nun die Phosphorelimination mittels konventioneller Simultanfällung. Zur Reduktion des Fällmittelverbrauchs wird dabei der Fällmitteleinsatz auf das notwendige Minimum reduziert, weshalb die Ablaufwerte auch zu hoch sind (Tab. 1). Solange sich die Stufe zur Elimination von Mikroverunreinigungen (MV) im Bau befindet, ist die Fällmitteldosierung zu erhöhen. Ab deren Inbetriebnahme kann die Dosierung wieder auf das heutige Niveau reduziert werden, da der

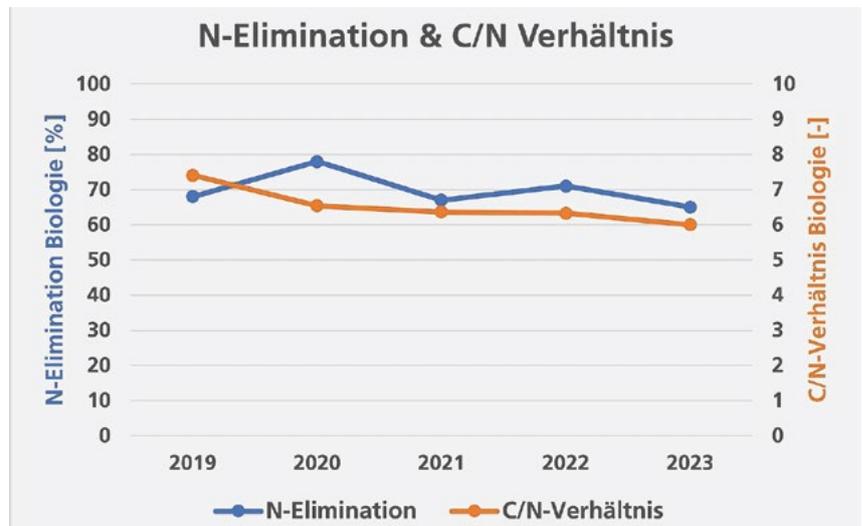


Fig. 2 Jahresmittel der Stickstoffelimination in der Biologie (blau, y-Achse links) und Jahresmittel des Kohlenstoff/Stickstoff-Verhältnisses im Ablauf der Vorklärung, Kohlenstoff als CSB_{tot} (rot, y-Achse rechts).

	ABL Bio- logie CSB Mittel	ABL Bio- logie CSB 90%-Wert	ABL Bio- logie NH_4 Mittel	ABL Bio- logie NH_4 90%-Wert	ABL Bio- logie GUS Mittel	ABL Bio- logie GUS 90%-Wert	ABL Bio- logie P_{tot} Mittel	ABL Bio- logie P_{tot} 90%-Wert	ABL Bio- logie N_{tot} Mittel	ABL Bio- logie N_{tot} 90%-Wert
	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]
2019	31,0	42,7	0,9	2,3	8,1	11,8	0,7	0,9	14,9	19,4
2020	28,2	37,6	0,9	2,6	8,6	9,9	0,8	1,0	9,6	12,6
2021	26,9	35,8	0,5	1,6	6,8	10,0	0,7	0,9	11,0	15,2
2022	27,9	34,3	0,4	1,1	5,0	7,5	0,7	0,8	10,6	13,0
2023	29,0	39,0	0,4	1,2	6,5	10,3	0,8	0,9	10,9	14,6

Tab. 1 Jahresmittelwerte und 90%-Werte der Ablaufkonzentrationen der Biologie.

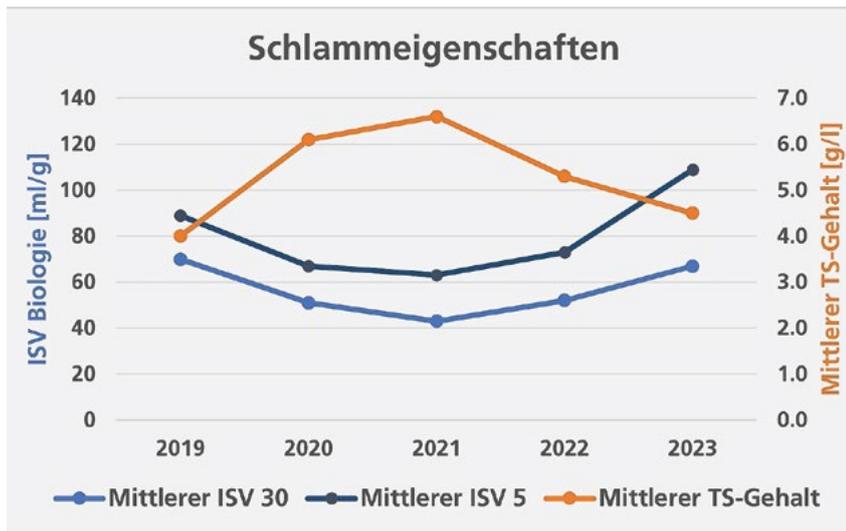


Fig. 3 Schlammparameter der biologischen Reinigung im Jahresmittel. ISV 5 und ISV 30 (blau, y-Achse links); mittlerer Trockensubstanzgehalt (rot, y-Achse rechts).



Fig. 4 Fraktionierung einer Schlammprobe. Ein wesentlicher Anteil der Biomasse liegt in der Grössenklasse > 2 mm vor.

Ablauf ab diesem Zeitpunkt weitgehend schwebstofffrei ist. Das Fehlen einer biologischen Phosphorelimination ist wohl ebenfalls auf die Abwasserzusammensetzung zurückzuführen, d.h. auf einen Teilabbau von organischen Stoffen im Kanalnetz.

GRANULIERUNG UND SCHLAMMSELEKTION

Auch ohne Bio-P kommt es zu einer Schlammgranulierung und zu guten

Schlammindizes im Bereich von 40 bis 60 ml/g (Fig. 3), wobei zusätzlich ein Schlammindex nach fünf Minuten bestimmt wird. Dieser Index sollte idealerweise nicht deutlich höher sein als der klassische nach 30 Minuten. Zwischen 2019 und 2022 war dies der Fall, aber 2023 verschlechterte sich im Zusammenhang mit Fehleinstellungen (s. nachfolgend) der Schlammindex deutlich. Die Bestimmung der Kennwerte des Schlam-

mes (Trockensubstanz-Gehalt, Schlammindex und Granulenananteil) ist relativ heikel: Da sich die Granulen extrem schnell absetzen, ist es schwierig, repräsentative Schlammproben zu nehmen und zu analysieren. So verfälschen zu wenig oder zu viele Granulen in der analysierten Probe die Messresultate. Relativ gute Werte für den Trockensubstanz (TS)-Gehalt liefern hingegen die TS-Sonden, wobei jeweils der Messwert bei der intensivsten Reaktordurchmischung zu berücksichtigen ist. In dieser Phase sind somit auch die Proben für das Labor zu nehmen.

Die Schlammqualität hängt nicht nur von den Prozessbedingungen für das Granulenzwachstum, sondern auch von der Selektion des abgezogenen Überschuss-Schlammes (ÜSS) ab. Diesbezüglich bestehen verschiedene Freiheitsgrade sowohl beim ÜSS-Abzug aus den Reaktoren als auch bei der anschliessenden, statischen Voreindickung vor der mechanischen Eindickung. Es hat sich gezeigt, dass Fehleinstellungen bei einer der beiden Stufen zu einer schlechenden Verschlechterung der Schlammqualität führen, wie dies 2023 der Fall war.

Relevant scheint auch die Beobachtung, dass die Schlamm- und Granulenkonzentration mehrheitlich aus den Zulaufbedingungen resultieren und nur bedingt gesteuert werden können: Die Selektion von schlecht absetzbarem Schlamm führt zu einem minimalen, notwendigen Schlammabzug, der nicht weiter reduziert werden kann. Dies bedeutet, dass bei einer tieferen Anlagenbelastung auch die Schlammkonzentration tendenziell tiefer ist (Fig. 4).

STROMVERBRAUCH

Der Stromverbrauch der Biologie wird massgeblich durch die Gebläse bestimmt (diese werden auch zur Umwälzung benutzt, da keine Rührwerke in den Reaktoren vorhanden sind). Der nächste relevante Verbraucher ist das Rohwasserhebewerk inkl. der Rührwerke in den Vorlagen. Schliesslich folgt der Stromverbrauch der statischen Voreindickung, d.h. der Verbrauch für das Zurückpumpen des Klarwassers aus der Eindickung. Figur 5 zeigt den Verlauf des Stromverbrauchs über die fünf Betriebsjahre. Aufgrund der leicht sinkenden Anlagenbelastung ist der spezifische Stromverbrauch leicht angestiegen, da Elemente wie das Luftrühren und die statische Voreindickung praktisch belastungsunabhängig

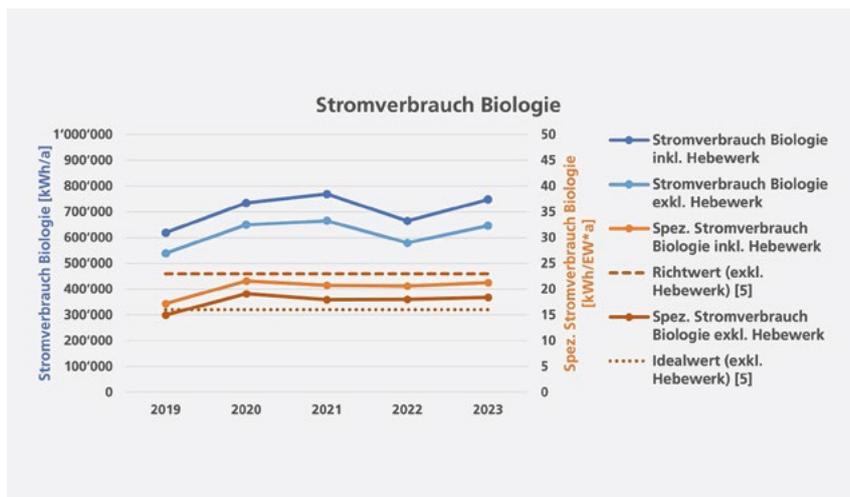


Fig. 5 Totaler Stromverbrauch der Biologie inkl. und exkl. Beschickungshebewerk (blau, y-Achse links). Spezifischer Stromverbrauch der Biologie inkl. und exkl. Beschickungshebewerk (rot, y-Achse rechts). Quelle Ideal- und Richtwert: [5].

funktionieren. Der spezifische Stromverbrauch der Anlage liegt im Bereich zwischen Ideal- und Richtwert gemäss [5]. Es hat sich gezeigt, dass höhere Schlammkonzentrationen zu einem erhöhten Luft- und somit Stromverbrauch führen, wie dies auch aus anderen Systemen mit höheren TS-Konzentrationen bekannt ist. Wenn mit zunehmender Belastung einer Anlage die Schlammkonzentration steigt, wird auch der Luft- und Stromverbrauch etwas ansteigen. Dies kompensiert teilweise eine Verbesserung des spezifischen Verbrauchs im Bereich der konstanten Verbrauchskomponenten.

STEUERUNG

Die Steuerung des Prozesses erfolgt über eine Zusatzsteuerung (*Controller*), die mit der normalen Steuerung der ARA und somit der Ausrüstung kommuniziert (Prozessanforderungen und -rückmeldungen). Bei einem Ausfall der Zusatzsteuerung (bisher nie passiert) würde ein vereinfachtes «Notprogramm» in der normalen Steuerung zur Anwendung kommen. Die Zusatzsteuerung ist transparent und erlaubt die Anpassung aller relevanten Prozessparameter. Da verschiedene Betreiber in den letzten Jahren die Bedienungsfreundlichkeit bemängelt haben, hat sich RHDHV im letzten Jahr dieser Problematik angenommen und eine verbesserte Bedienungsfläche für die Steuerung entwickelt. Diese wird im Frühling 2024 installiert.

Im Weiteren erhält der Betreiber Zugang zu einer Plattform zur Visualisierung von Betriebsdaten. Diese enthält neben verschiedenen Möglichkeiten zur Prozess-

unterstützung auch Auswertungen wie z. B. Bestimmung der Nitrifikationsrate oder anderer Prozessparameter.

SCHLAMMBEHANDLUNG

Relevant erscheint der stark variierende Anfall von ÜSS: Bei Regenwetter steigt der Anfall stark an (mehr und längere Beschickungszyklen sowie erhöhte Zulaufkraft beim Übergang von Trocken- auf Regenwetter). Dies ist bei der Dimensionierung der mechanischen Schlammverdickung zu berücksichtigen.

Aufgrund der fehlenden biologischen Phosphorelimination liegen keine Daten zur Rücklösung des Phosphors in der Faulung vor. Die Rückbelastung liegt mit 5–10% der Zulaufkraft (Biologie) im üblichen Bereich.

Hinsichtlich Biogasanfall ist ein Vergleich mit der alten Anlage schwierig, da diese nur Kohlenstoff eliminiert hat und somit viel organische Substanz in die Faulung brachte. Der aktuelle Biogasanfall liegt bei etwa 28 l/(EW d) (Fig. 6) (einstufige Faulung mit etwa 30 Tagen Aufenthaltszeit und Vorklärung mit hoher Kohlenstoff-Abscheidung) und erscheint ähnlich wie in anderen Anlagen mit Stickstoffelimination.

ALLGEMEINER BETRIEB

Wie bereits beschrieben, sind eine repräsentative Probenahme und die Laboranalytik des Schlammes etwas heikel. Die Bestimmung des Granulanteils inklusive Fraktionierung führt zu einem zusätzlichen Betriebsaufwand gegenüber konventionellen Biologiesystemen, wobei im Normalbetrieb die Bestimmung des Granulanteils nicht zwingend ist. Im Weiteren ist auf der Anlage eine Online-Analytik (z. B. Ammoniumanalyzer) eingesetzt, die sich im Betrieb bewährt hat. Die Wartung erfolgt über den Lieferanten, weshalb sich hier kein nennenswerter Zusatzaufwand für den Betrieb, dafür aber externe Kosten ergeben.

ANLAGENKONZEPTION

Bezüglich der Anlagenkonzeption haben sich verschiedene Erkenntnisse ergeben, die in neue Projekte einfließen sollten. Das Volumen der Zulaufvorlagebecken ist knapp (die Grösse ergab sich aus der Weiterverwendung alter Becken) und die Zulaufmengen sind bei längerem Trockenwetter relativ tief. Diese beiden Gründe

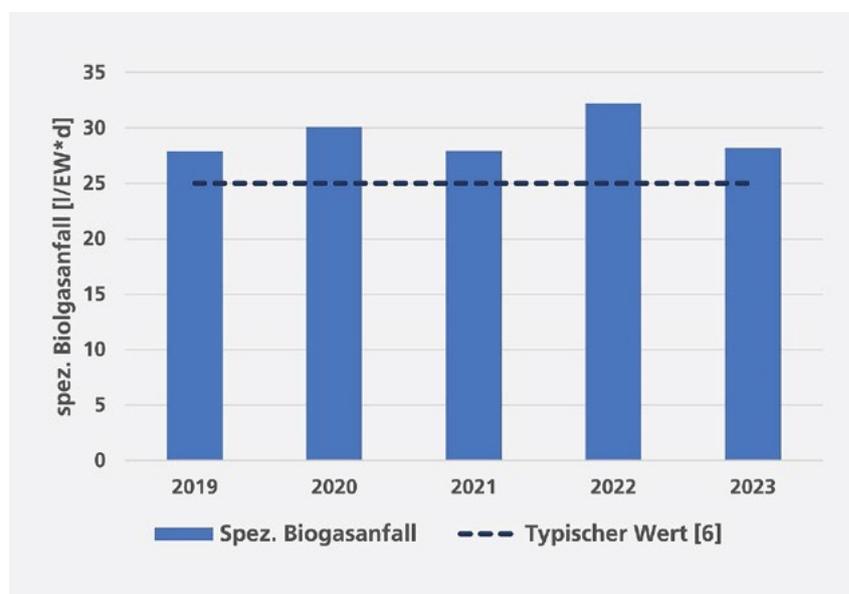


Fig. 6 Mittlerer täglicher spezifischer Biogasanfall. Quelle typischer Wert: [6].

führen bei Trockenwetter zu relativ kurzen Beschickungsphasen, die wahrscheinlich hinsichtlich Bio-P und Schlammselektion suboptimal sind. Es wird deshalb empfohlen, bei der hydraulischen Planung auch die resultierenden Betriebsbedingungen bei längerem Trockenwetter zu prüfen und gegebenenfalls die Vorlagebecken zu vergrössern.

Im Weiteren wird empfohlen, auf eine Kollektorrösung bei der Belüftung (wie realisiert) zu verzichten – dies, obwohl alle drei Reaktoren die gleiche Wassertiefe haben und eine Kollektorrösung somit interessant erscheint. Tatsächlich aber nimmt mit diesem Konzept die Anlagenkomplexität deutlich zu gegenüber einer Lösung mit einem Gebläse pro Reaktor.

Schliesslich ist die Simultanfällung hinsichtlich der effizienten Dosierung des Fällmittels schwieriger, da die Umwälzung des Schlammes nur mittels Belüftung erfolgt. Es ist wahrscheinlich besser, die chemische Phosphorelimination mittels Vorfällung, Fällung im Zulauf zu den Reaktoren oder als Nachfällung, sofern möglich, zu realisieren.

ELIMINATION VON MIKROVERUNREINIGUNGEN (EMV)

Im Normalfall und auch im Fall der ARA Sarneraatal ist der Ablauf des *Nereda*[®]-Verfahrens diskontinuierlich (spezielle Anpassungen wie im Falle der ARA Kloten Opfikon erlauben aber auch einen kontinuierlichen Ablauf). Vorteilhaft ist dabei, dass der Ablauf auf Höhe des maximalen Füllstandes stattfindet, da die Reaktoren nicht entleert werden. Mit diesen Voraussetzungen ist entweder ein Zwischenpuffer zur Beschickung einer Stufe zur EMV notwendig oder alternativ ein Verfahren einzusetzen, das diskontinuierlich betrieben werden kann. Bei der ARA Sarneraatal entschied man sich mit der Filtration mit granulierter Aktivkohle (GAK)-Filtration für Letzteres. Mitentscheidend für diese Verfahrenswahl war die Möglichkeit des Durchflusses über die Filtration im freien Gefälle. Die GAK-Filtration ist zurzeit im Bau und wird 2025 in Betrieb genommen.

FAZIT UND AUSBLICK

Das *Nereda*[®]-Verfahren kann sowohl für schweiztypische Ablaufanforderungen als auch bei suboptimalen Abwasserzusammensetzungen gut eingesetzt werden. Letztere verhindern massgeblich die biologische Phosphorelimination und reduzieren die Leistung der Stickstoffelimination aufgrund des tiefen

DANKSAGUNG

Ein herzlicher Dank gebührt dem Betriebspersonal der ARA Sarneraatal für seine Unterstützung durch die Bereitstellung von Betriebsdaten, die Durchführung der Schlammanalysen und den engagierten Fachaustausch.

C/N-Verhältnisses. Die Denitrifikation ist mit 70 Prozent aber als gut einzustufen, weshalb das Verfahren hinsichtlich der zukünftigen Verschärfungen der Stickstoffelimination als interessante Variante einzustufen ist, und dies insbesondere bei einem knappen Platzangebot. Neue Projekte können unter Berücksichtigung der gemachten Erfahrungen das Potenzial von AGS noch besser umsetzen.

Mit der neuen Version der Steuerung von 2024 werden verschiedene Verbesserungen erwartet. Weitere Verbesserungen könnten im Bereich der Vorklärung (Reduktion der Aufenthaltszeit durch Betrieb mit einem statt zwei Becken) oder der Vorlagebehälter (Umnutzung des neben den Vorlagen befindlichen Havariebeckens) diskutiert werden.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Lehmann, C.; Kasper, M. (2017): *Nereda*[®]: Leistungsfähiges biologisches Abwasserbehandlungsverfahren für die Schweiz. *Aqua & Gas*, 1, 50–55
- [2] Benstöm, F. et al. (2019): *Aerober Granulierter Schlamm in Sequencing-Batch-Reaktoren (AGS-SBR)*. *Korrespondenz Abwasser*, 3/19, S. 187–199. <https://doi.org/10.3242/kae2019.03.002>
- [3] Benstöm, F. et al. (2021): *Aerobe Verfahren mit granuliertem Schlamm zur Abwasserbehandlung – Teil 1. Arbeitsbericht der DWA-Arbeitsgruppe AG-6.3 «Biofilmverfahren»*, *Korrespondenz Abwasser*, 4/21, S. 281–288. <https://doi.org/10.3242/kae2021.04.004>
- [4] Benstöm, F. et al. (2021): *Aerobe Verfahren mit granuliertem Schlamm zur Abwasserbehandlung – Teil 2. Arbeitsbericht der DWA-Arbeitsgruppe AG-6.3 «Biofilmverfahren»*, *Korrespondenz Abwasser*, 5/21, S. 351–356. <https://doi.org/10.3242/kae2021.05.002>
- [5] Müller, E. et al. (2008/2010): *Energie in ARA, Leitfaden zur Energieoptimierung auf Abwasserreinigungsanlagen (08/10)*. Im Auftrag des Bundesamtes für Energie und des Verbandes Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute (VSA), Bern/Zürich
- [6] Kind, E.; Levy, G. A. (2012): *Energieeffizienz und Energieproduktion auf ARA (Energy Efficiency and Energy Generation at WWTP)*



80. VSA-Mitgliederversammlung und Fachtagung

WIE SETZT DER VSA INTEGRALES WASSERMANAGEMENT UM?
Donnerstag, 2. Mai 2024 in der Markthalle Basel



vsa.ch/mv