



STEIGERUNG DER ENERGIEEFFIZIENZ EINER ARA

FALLBEISPIEL MIT WETTERDATEN: ARA BAD RAGAZ

Zur Senkung des Energieverbrauchs in der ARA Bad Ragaz wurden verschiedene Massnahmen definiert. Diese werden schrittweise und konsequent umgesetzt, sodass die Kläranlage neben guten Ablaufwerten auch eine ausgezeichnete Energiebilanz aufweist. Darüber hinaus zeigte sich, dass durch den intelligenten Einsatz von Wetterdaten der Energieverbrauch noch weiter gesenkt werden kann.

Ruedi Moser*, Hunziker Betatech AG
Markus Möhl, Chestonag Automation AG
Peter Zai, ARA Bad Ragaz

RÉSUMÉ

EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE ACCRUE DANS LA STEP DE BAD RAGAZ

Outre de bonnes valeurs d'écoulement, la station d'épuration des eaux usées (STEP) de Bad Ragaz présente également un bilan énergétique exemplaire. En effet, la STEP respecte les valeurs optimales du guide VSA «Énergie dans les stations d'épuration» pour sa consommation électrique globale ainsi que pour celle en lien avec le traitement biologique.

Une phase d'essai réalisée en 2018/2019 a permis de montrer que la voie d'eau pouvait être désactivée la nuit en cas de temps sec et de prévisions météorologiques favorables. De cette manière, les dispositifs d'épuration biologique des eaux usées ne sont plus exploités avec une sous-charge durant cette période. En parallèle, des économies d'électricité de l'ordre de 5% sont possibles lors de telles journées. L'agencement de la STEP de Bad Ragaz, les canalisations en amont ainsi que le Rhin en tant que cours d'eau récepteur sont des facteurs permettant ce type d'exploitation afin d'augmenter davantage l'efficacité énergétique. À cet égard, l'interprétation des prévisions météorologiques joue un rôle central.

AUSGANGSLAGE UND MOTIVATION

Die ARA Bad Ragaz ist für 25 500 Einwohnerwerte ausgelegt und reinigt das Abwasser der Gemeinden Bad Ragaz, Pfäfers, Maienfeld, Fläsch und Jenins. Die ARA liegt am Alpenrhein und wurde 2008 bis 2011 umfassend saniert und erweitert. 2011 wurden im Rahmen eines energetischen Grobchecks und einer Feinanalyse zahlreiche Massnahmen gemäss dem Leitfaden «Energie in ARA» [1] formuliert. Im Rahmen dieses Massnahmenplans war der intermittierende Betrieb von Aggregaten zu prüfen, und zwar insbesondere derjenige der Rücklaufschlammumpfen, des Zulaufhebewerks und des Sandfangs. Durch die schrittweise Abarbeitung des Massnahmenplans und den aufmerksamen Betrieb der biologischen Abwasserreinigung wurden Reduktionen erzielt, die sich sehen lassen können: Der Elektrizitätsverbrauch der ARA sank von 564 605 kWh im Jahr 2011 auf 482 435 kWh im Jahr 2017. Dies entspricht einer Verminderung von 15%. 2018 betrug der gesamte Elektrizitätsverbrauch der ARA e_{ges} 29,7 kWh pro Einwohner. Für die biologische Behandlung lag der Stromverbrauch e_{bb} bei 20,0 kWh pro Einwohner, was dem Idealwert nach Leitfaden «Energie in ARA» [1] entspricht. Trotz diesem vorbildlichen Resultat wurde von den ARA-Betreibern eine Projektgruppe mit dem Verfahrensplaner und dem

* Kontakt: ruedi.moser@hunziker-betatech.ch

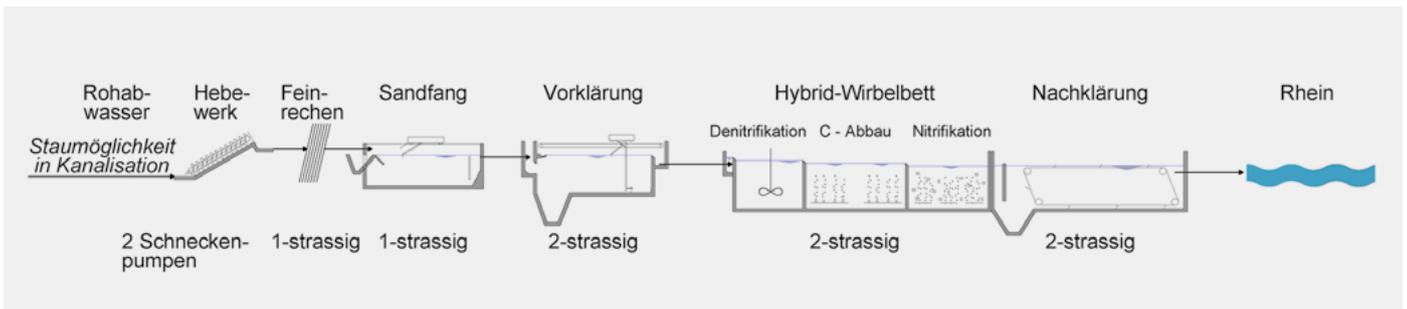


Fig. 1 Schema der Wasserstrasse ARA Bad Ragaz

Automatisierungsingenieur gebildet, um zu prüfen, welche weitergehenden Massnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz geeignet und innovativ sind. Dabei geht es nicht mehr um die Einstellung von Sollwerten und die Optimierung von Betriebszeiten, sondern um die konsequente Ausnützung von Anlagereserven. Dazu gehört auch das kontrollierte Abschalten von Aggregaten und ganzen Strassen zu Unterlast-Zeiten.

RANDBEDINGUNGEN

Betrieben wird die ARA Bad Ragaz von drei Fachpersonen (160 Stellenprozent). Neben einem Zulaufhebewerk und der mechanischen Reinigung umfasst der Betrieb als Spezialität die biologische Abwasserreinigung im Hybrid-Wirbelbett-Verfahren (Fig. 1 und 2). Die ARA ist heute mit ca. 16 000 EW belastet und weist damit bedeutende Reserven auf. Dadurch kommt es immer wieder zu Perioden der Unterlast in der biologisch-chemischen Belastung, vor allem nachts bei Trockenwetter.

Das Hybrid-Wirbelbett-Verfahren wurde ausgewählt, damit bei weiterer Bautätigkeit in den Einzugsgebieten der Kantone St. Gallen und Graubünden eine grosse Flexibilität besteht. Durch die zusätzliche Zugabe von Füllkörpern in die Stickstoff-Stufe und die allfällige Installation von grösseren Gebläsen lässt sich die Leistungskapazität bis auf 25 500 EW erhöhen. Die hydraulische Dimensionierung beträgt maximal 222 Liter pro Sekunde. Der Betrieb der Hybrid-Wirbelbett-Anlage in der ARA Bad Ragaz zeigt, dass mit aufmerksamem Betrieb und einer O_2 -Sollwerteeinstellung mithilfe eines NH_4-N -Signals die Energieeffizienz einer Belebtschlammanlage erreicht werden kann. Periodisch und saisonal auftretender Schwimmschlamm bzw. Schaum lässt sich in der ARA Bad Ragaz als Folge von Unterlast-Zeiten interpretieren. Trotz tadellosen Ablaufwerten und gene-

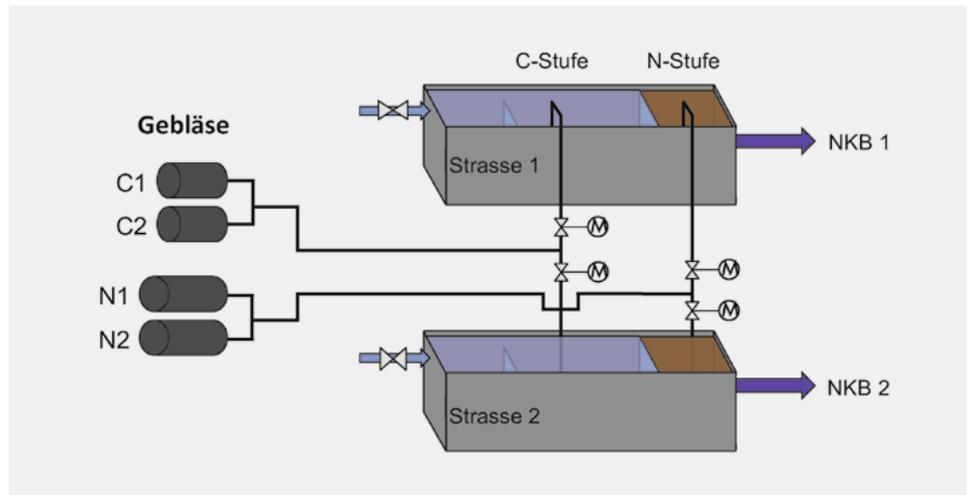


Fig. 2 Gebläsekonzept der zweistrassigen biologischen Abwasserreinigung im Hybrid-Wirbelbett-Verfahren

rell gutem Schlammvolumenindex gibt es Spielraum für verfahrenstechnische Optimierung.

Um solchen Unterlast-Zeiten in der Nacht zu begegnen, erwog die Projektgruppe 2018 einen Versuch mit Abschaltung einzelner Anlageteile. Beim aktuell gewählten Layout lässt sich jedoch nicht eine der beiden Biologiestrassen automatisiert abstellen. Dazu fehlen die notwendigen Motorschützen (Fig. 2). Deswegen entschied die Projektgruppe, für den Versuch nachts über mehrere Stunden den Rohabwasser-Zulauf durch das Abstellen des Hebewerks und damit der gesamten Wasserstrasse zu unterbrechen (Fig. 3). Das kantonale Amt für Wasser und Energie (AWE) wurde über den Versuch informiert.

Ein derartiger Probebetrieb ist nur deshalb möglich, da die Kanalisation vor dem Eintritt in den Pumpensumpf des Hebewerks mit 130 cm Durchmesser ein beträchtliches Volumen aufweist. Ausserdem würde – falls das Hebewerk bei einem Anstieg im Pumpensumpf nicht wieder automatisch einschaltet und der Kanal zu zwei Dritteln gefüllt ist – ein Überlauf in das Regenbecken auf dem ARA-Areal erfolgen. Ein Abfluss von Rohabwasser in den Rhein kann ausge-



Fig. 3 Zentral ist beim Versuchsbetrieb das Hebewerk. Es wird nachts bei Trockenwetter und günstiger Wetterprognose ausgeschaltet.



Fig. 4 Übersicht ARA Bad Ragaz mit dem Rhein im Hintergrund

geschlossen werden (Fig. 4). Folglich sind vergleichsweise gute Voraussetzungen gegeben, um während mindestens vier Stunden, z. B. zwischen 2 Uhr nachts und 6 Uhr morgens, das Zulaufhebwerk auszuschalten.

DAS WETTER BESTIMMT DEN ARA-BETRIEB

Das Einzugsgebiet der ARA Bad Ragaz besteht nicht nur aus fünf Gemeinden, sondern auch aus unterschiedlichen Geländekammern. Dies ist deshalb von Bedeutung, weil die Wetter-

prognosen in die Überlegungen einfließen sollten. Durch vier Meteostationen in Bad Ragaz, Bad Pfäfers, Maienfeld und Jenins liegen für das ganze Einzugsgebiet Prognosen vor. Diese werden im Prozessleitsystem der ARA visualisiert: Es wird eine Wetterprognose für die nächsten 12 Stunden dargestellt, die stündlich aktualisiert wird (Fig. 5).

Nur bei Trockenwetter kann die ganze Wasserstrasse nachts durch die Ausserbetriebnahme des Zulaufhebwerks stillgelegt werden. Es wird also aufgrund der Wetterprognose jeden Abend entschieden, ob in der folgenden Nacht eine Abschaltung stattfinden wird oder nicht. Die Wetterdaten geben zum einen Auskunft darüber, mit welcher Wahrscheinlichkeit es in den kommenden zwölf Stunden im Einzugsgebiet zu einem Niederschlagsereignis kommt. Zum anderen geben sie an, welche Niederschlagsmenge in den nächsten zwölf Stunden im Einzugsgebiet zu erwarten ist. Um diese beiden Aspekte einzubeziehen, wurde als zentrale Entscheidungsgrösse – neben verschiedenen anderen Ausschaltkriterien – der Ragazer Faktor (%mm) als Produkt der Niederschlagswahrscheinlichkeit (%) und der prognostizierten Niederschlagsmenge (mm) eingeführt. So kann beispielsweise bei hoher Wahrscheinlichkeit eines Regenereignisses mit geringer Niederschlagsmenge die Wasserstrasse trotzdem ausgeschaltet werden.

VERSUCHSBETRIEB

Der Versuchsbetrieb startete im November 2018 und wurde vor Weihnachten 2018 wegen der sehr kalten Witterung unterbro-

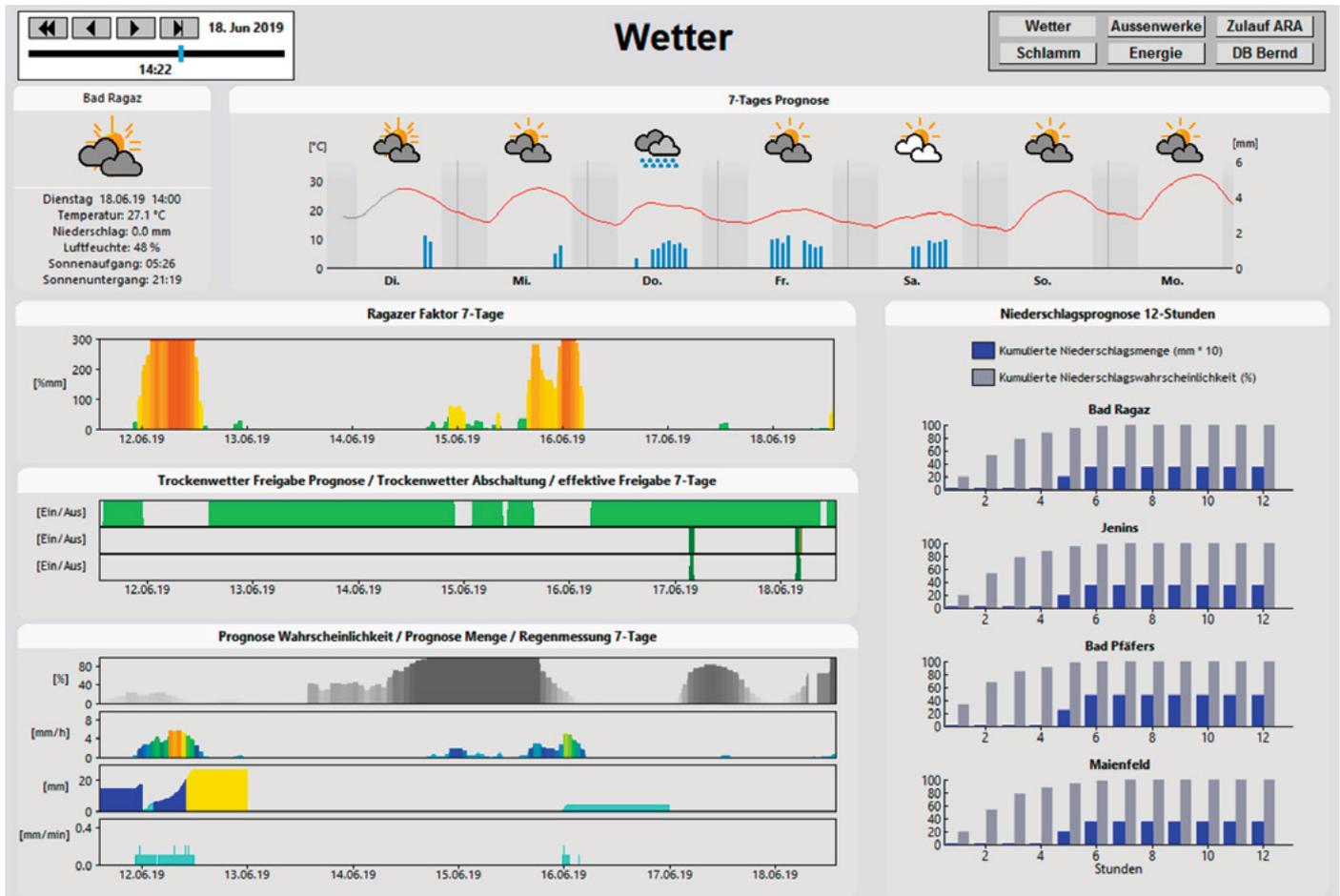


Fig. 5 Die Wetterprognose im Einzugsgebiet der ARA Bad Ragaz wird im Prozessleitsystem dargestellt.

chen, um anschliessend ab April 2019 wieder aufgenommen zu werden (Fig. 6 und 7).

STROMVERBRAUCH

Es zeigte sich, dass der mittlere Stromverbrauch an den Versuchstagen um 50 bis 60 kWh bzw. 4 bis 5% vermindert werden konnte. Wie erwartet ist der Einspareffekt nicht übermässig gross, aber deutlich beobachtbar. Dies muss vor dem Hintergrund gesehen werden, dass die ARA Bad Ragaz – wie beschrieben – bereits vor dem Versuchsbetrieb über eine ausgezeichnete Energieeffizienz verfügte. Angenommen dass während neun Monaten an 20 Tagen pro Monat Abschaltungen vorgenommen werden, so beträgt die auf das Jahr hochgerechnete Energieeinsparung 11 000 kWh bzw. 2 bis 3% des Stromverbrauchs.

ABLAGERUNGEN UND GERUCHSEMISSIONEN

Ablagerungen bzw. Geruchsbelästigungen im Zulaufkanal wurden bisher keine festgestellt. Dies hat sicherlich mit der Anordnung im Fall der ARA Bad Ragaz zu tun. Andererseits muss darauf geachtet werden, dass es im Biologiebecken, insbesondere bei mehrstündigem Abschalten der Gebläse in der C-Stufe, nicht zu anhaltenden Schlammablagerungen kommt. Dem konnte durch die Anwendung des Membraspülprogramms der Rohrbelüfter während der Abstellphase entgegengewirkt werden.

AUSWIRKUNGEN AUF DIE BIOLOGIE

In *Figur 8* ist ein Ausschnitt aus der Sensorüberwachung der Nitrifikation während des Versuchsbetriebs bei Trockenwetter gezeigt. Von 2.30 bis 6.00 Uhr war das Zulaufhebwerk ausgeschaltet. Der Verlauf des O_2 -Gehalts zeigt, dass bereits ab ungefähr Mitternacht eine Niederlastsituation einsetzte und der Gebläsebetrieb trotz minimaler Leistung zu einem erhöhten Sauerstoffgehalt in der N-Zone führte. Die Abschaltung hätte also bereits früher erfolgen können. Andererseits zeigen die Messdaten auch, dass die NH_4 -N-Konzentration in der N-Zone während der Abschaltung auf tiefem Niveau ansteigt. Sobald die Gebläse eingeschaltet wurden, begann die Nitrifikation sofort wieder und Ammonium wurde vollständig umgewandelt. Auswirkungen auf die gemessenen Konzentrationen in den 24-Stunden-Sammelproben im Ablauf wurden keine beobachtet. Der gerechnete Sollwert für den

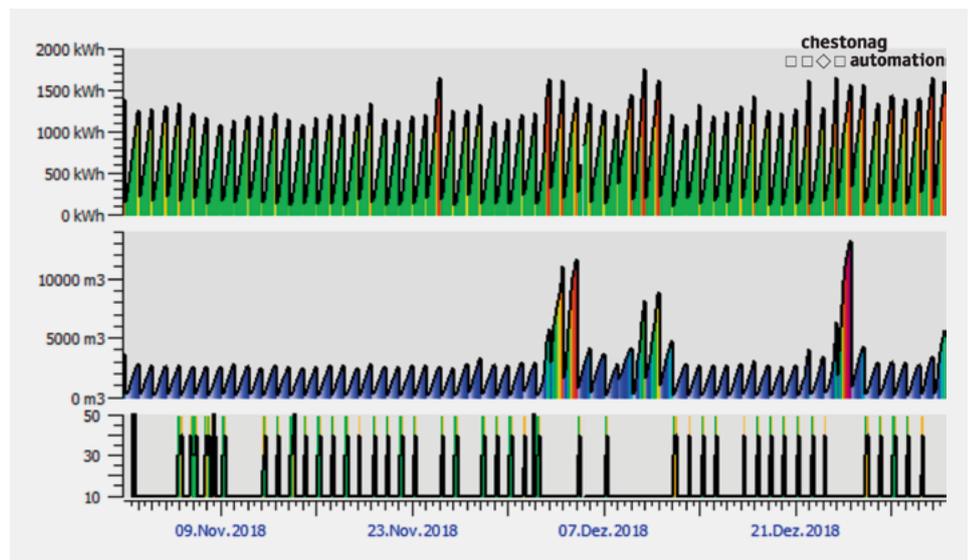


Fig. 6 Versuchsbetrieb November/Dezember 2018 mit Abschalten der Wasserstrasse bei Trockenwetter (oben: Energiebedarf ARA; Mitte: Abwasseranfall; unten: Tage mit Abschaltung)

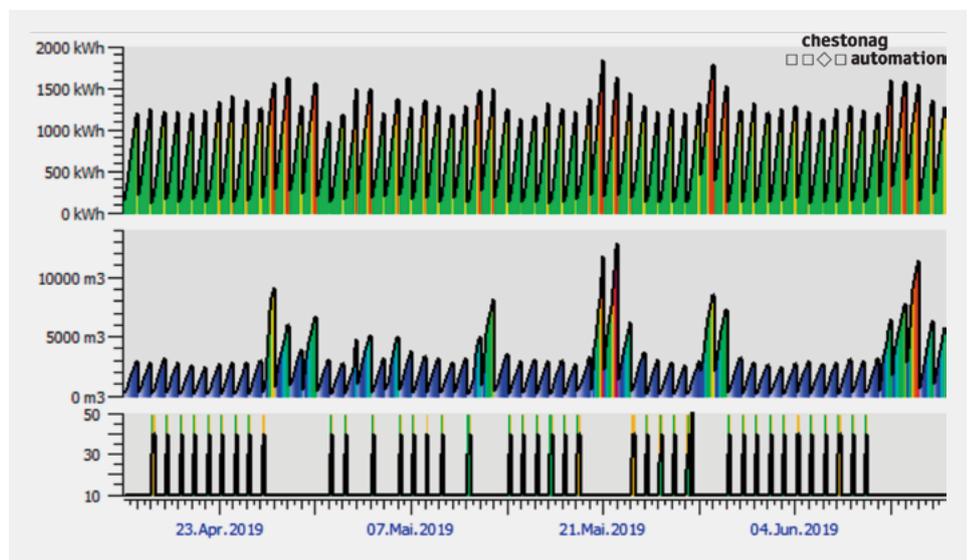


Fig. 7 Versuchsbetrieb April bis Juni 2019 mit Abschaltung der Wasserstrasse bei Trockenwetter (oben: Energiebedarf ARA; Mitte: Abwasseranfall; unten: Tage mit Abschaltung)

O_2 -Bedarf stieg in dieser Abschaltphase ebenfalls an, was dazu führte, dass die Gebläse nach Wiedereinschalten sofort auf hohe Leistung gingen. Dieser Einblick mittels Sensorüberwachung in die Dynamik der Ausserbetriebnahmephase ist aufschlussreich und dient der Optimierung der weiteren Versuchsschritte. Neben der Ausschaltung des Hebwerks muss auch die Faulwasserzugabe in die Nitrifikationsstufe synchronisiert werden. Beim Ausschaltbetrieb darf kein Faulwasser in die Biologie gepumpt werden, da sonst NH_4 -N-Durchbrüche nicht auszuschliessen sind (Fig. 9). Der direkte Einfluss des Faulwassers auf die Nitrifikation zeigte sich deutlich. Der Wegfall der Faulwasserdosierung führte in Schwach-

lastzeiten wieder zu einem sofortigen und unnötigen Anstieg des O_2 -Gehalts in der Nitrifikation (Fig. 9, rechts).

Mit der intelligenten Nutzung der zahlreichen Sensoren in der ARA und einer visuell gut aufbereiteten Darstellung erhalten die ARA-Betreiber rasch einen klaren Einblick in die Dynamik der verfahrenstechnischen Prozesse. Auf diese Weise können Versuchsversuche generell gut geplant und beobachtet werden. Dies gilt bei diesem Versuchsbetrieb zur erweiterten Energieeffizienz und Optimierung des ARA-Betriebs im besonderen Masse. Nicht nur konnte die Energieeffizienz erhöht werden, sondern es wurde auch im November und Dezember 2018 kein Schaum oder Schwimmschlamm auf

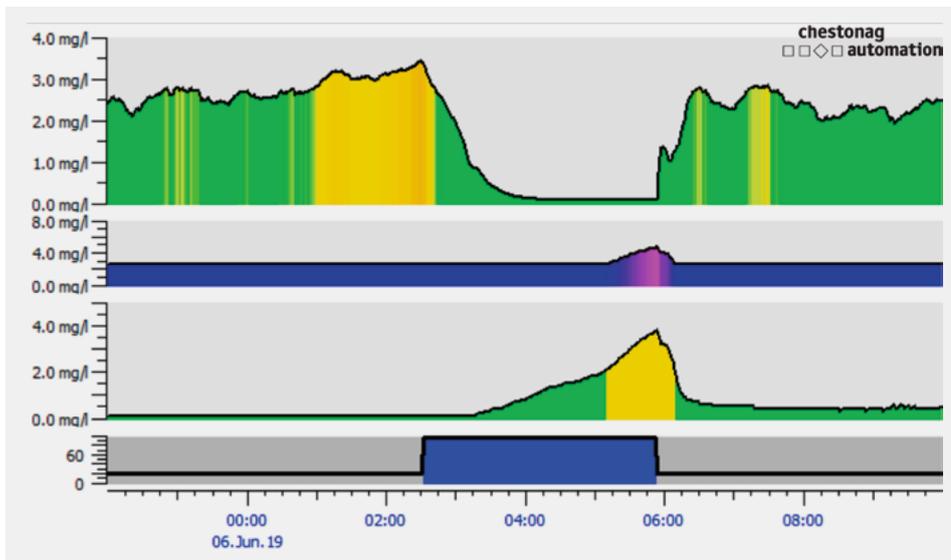


Fig. 8 Abschaltbetrieb von 2.30 bis 6.00 Uhr (ganz oben: O_2 -Messung Nitrifikation BB 1; Mitte oben: berechneter O_2 -Sollwert Biologie; Mitte unten NH_4 -N-Messsonde BB 1; ganz unten: Zeitfenster der Verriegelung Hebewerk)

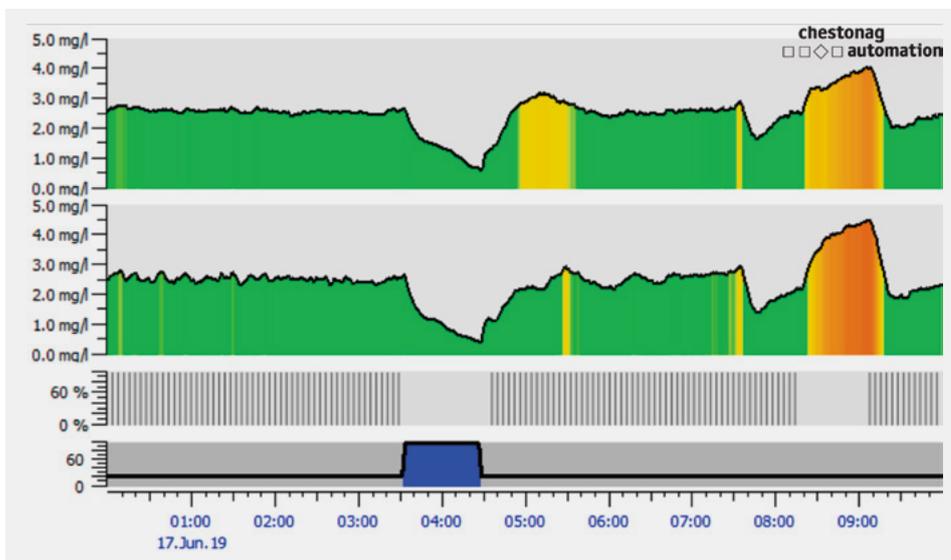


Fig. 9 Abschaltung der Wasserstrasse synchron mit gesperrter Zugabe des Faulwassers (obere beide Verläufe: O_2 -Messung, Nitrifikation BB 1 und BB 2; Mitte unten: Betrieb Faulwasserpumpe; ganz unten: Zeitfenster Verriegelung Hebewerk)

der Biologie festgestellt. Dieser positive Effekt ist verfahrenstechnisch ebenfalls bedeutsam.

AUSBLICK

Der Versuchsbetrieb in der ARA Bad Ragaz zeigte, dass auch eine kontinuierlich betriebene Kläranlage mit sehr guter Energieeffizienz gemäss Leitfaden «Energie in ARA» [1] weiteres Einsparpotenzial hat, indem zumindest ein Teil der Wasserstrasse zeitlich befristet ausgeschaltet wird. Dem Versuch lag die An-

nahme zugrunde, dass wirkliche Stromersparungen erst dann auftreten, wenn Anlagenteile nicht nur leistungsmässig zurückgefahren, sondern komplett abgeschaltet werden.

Die Elektrizitätseinsparung betrug an den Tagen mit Ausschaltung 4 bis 5% und lag damit in einem ähnlichen Bereich wie Einsparungen, die durch betriebliche Sofortmassnahmen erreicht werden [4]. Die Reinigungsleistung der ARA war durch die Abschaltungen nicht eingeschränkt. Es muss aber auch festgehalten werden, dass mit dem Alpenrhein ein sehr gros-

ser Vorfluter vorliegt, der Versuche mit einem Abschaltbetrieb überhaupt erst ermöglichte. Grundsätzlich gilt, je empfindlicher ein Vorfluter ist, desto sorgfältiger sind die Aus- bzw. Wiedereinschaltbedingungen zu definieren.

Das Konzept wird momentan verfeinert und es werden weitere Erfahrungen gesammelt. Die Versuchsergebnisse bestätigen auch die Feststellung, dass eine Kläranlage sinnvollerweise saisonal betrieben wird. Im Sommer mit einer Abwassertemperatur von ca. 20 °C kann und muss eine andere Strategie gefahren werden als im Winter mit Abwassertemperaturen um 10 °C. Dies gilt einerseits für den Trockensubstanzgehalt in der Biologie bzw. für die Belüftungszeiten in alternierend/intermittierenden (A/I) Prozessen oder SBR (Sequencing-Batch-Reactor)-Anlagen und andererseits – wie gezeigt – für das Abschalten von Anlagenteilen.

Basis für alle Überlegungen und den Versuchsbetrieb in der ARA Bad Ragaz bildete die 2011 erstellte energetische Feinanalyse gemäss dem Leitfaden «Energie in ARA». Es sei darauf hingewiesen, dass seit 2018 eine neue Muster-Feinanalyse für ARA, durchgeführt für die ARA Kloten Opfikon, vorliegt [3]. Die Anwendung dieses bewährten Planungsinstruments wird empfohlen. Erwähnenswert ist ausserdem, dass die beschriebenen Optimierungen durch reine Software-Ergänzungen und ohne Anpassungen an der ARA (weder in baulicher noch elektrischer Hinsicht) umgesetzt werden konnten.

Nach Einschätzung der Projektgruppe liegen hiermit Erfahrungen vor, die für andere ARA, vor allem solche mit schwankenden Frachten, wie sie typischerweise in Tourismusorten auftreten, in ihrem Kontext, mit ihrem Einzugsgebiet und ihrem Vorfluter eine Perspektive aufzeigen. Deshalb hofft die Projektgruppe auf weitere Fachdiskussionen und engagierte Nachahmer.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] VSA (2008/2010): Leitfaden «Energie in ARA»
- [2] Jahresberichte 2018 und 2017 der ARA Bad Ragaz. http://www.badragaz.ch/de/verwaltung/aemter/?amt_id=12572
- [3] Bundesamt für Energie BFE (2018): Energie in ARA – Muster-Feinanalyse ARA Kloten-Opfikon
- [4] EnergieSchweiz; Bundesamt für Energie BFE (2017): Betriebliche Sofortmassnahmen – Grobcheck für Kläranlagen