



DYNAMISCHE SBR-REGELUNG

STEUER- UND REGELKONZEPT FÜR DIE AUTOMATISIERUNG VON BELEBUNGSANLAGEN IM AUFSTAU-BETRIEB

SBR-Anlagen zur biologischen Reinigung von Abwasser haben dank ihrer Flexibilität grosses Potenzial. Zusammen mit dem Amt für Industrielle Betriebe Basel-Landschaft hat die Chestonag Automation AG die SBR-Zyklussteuerung optimiert und in der SBR-Anlage der ARA Birs umgesetzt. Die wesentliche Herausforderung bestand darin, die Zyklussteuerung so zu definieren, dass sich die Zyklen so ideal wie möglich auf die gegenwärtig vorliegende Zufluss- und Belastungssituation einstellen. Inzwischen kann auf fünf Jahre Betriebserfahrung zurückgeblückt werden.

Reto Steinemann*, Chestonag Automation AG

Gerhard Koch, Amt für Industrielle Betriebe Kanton Basel-Landschaft

RÉSUMÉ

RÉGLAGE SBR DYNAMIQUE – CONCEPT DE PILOTAGE ET DE RÉGLAGE POUR L'AUTOMATISATION DE SYSTÈMES D'ACTIVATION

Ces dernières années, l'intérêt porté aux installations SBR et leur utilisation à des fins de nettoyage biologique d'eaux usées se sont accrus. Cela a permis d'améliorer la compréhension des systèmes et de recueillir de nombreuses données relatives à l'exploitation et à l'expérience acquise, en ce qui concerne les processus et l'automatisation qui en découle. Dans le cadre d'une collaboration interdisciplinaire entre les exploitants et les spécialistes en automatisation, l'office AIB du canton de Bâle-Campagne et la société Chestonag Automation SA ont fait progresser l'optimisation de la gestion des cycles SBR. Le résultat, à savoir le nouveau concept de l'installation SBR de la STEP de la Birs, a été mis en application et continuellement amélioré, l'enjeu principal étant de définir la gestion des cycles, de sorte à régler les cycles du mieux possible en fonction de la situation actuelle en matière d'afflux et de charge. Or il a fallu constater que cette exigence ne pouvait être satisfaite qu'en ayant recours à des aspects dynamiques. Les exigences quant aux redondances et aux modes dégradés du système, à la robustesse du processus, à l'ergonomie et au besoin en énergie ont également été prises en compte. Depuis, cinq années riches en expériences se sont écoulées.

KONZEPT DES SBR-VERFAHRENS

Das SBR-Verfahren ist eines von vielen Belebtschlammverfahren in Abwasserreinigungsanlagen. SBR steht für *Sequencing Batch Reaktor*, übersetzt: sequenzieller Chargen-Reaktor. Dabei bezieht sich die Bezeichnung auf den sequenziellen Ablauf, der – anders als bei konventionellen Verfahren – an Ort und Stelle stattfindet. Im Gegensatz zu konventionellen Verfahren, bei denen das Abwasser verschiedene örtlich getrennte Stufen durchläuft, wird bei SBR-Anlagen das Abwasser in einer Stufe, in einem Reaktor, durch den Ablauf verschiedener aufeinanderfolgenden Sequenzen über ein Zyklusprogramm behandelt [1]. Die Zeitdauer der einzelnen Phasen ist oftmals vorgegeben, wobei für stark erhöhte Zulaufmengen die Gesamtzyklusdauer auf eine definierte Länge verkürzt wird. Wegen der Komplexität der Steueraufgabe erfolgte bisher nur in Ausnahmefällen eine flexible Anpassung der gesamten Dauer des Zyklus und seiner einzelnen Phasen aufgrund von Online-Messgrössen [2]. Eine SBR-Anlage besteht in der Regel aus mehreren SBR-Reaktoren. Mindestens zwei Reaktoren werden benötigt, damit eine kontinuierliche Beschickung gewährleistet werden kann. Den Reaktoren vorgeschaltet befindet sich die SBR-Vorlage mit dem Beschickungspumpwerk. Die Vorlage dient zum einen als Pum-

* Kontakt: retosteinemann@chestonag.ch

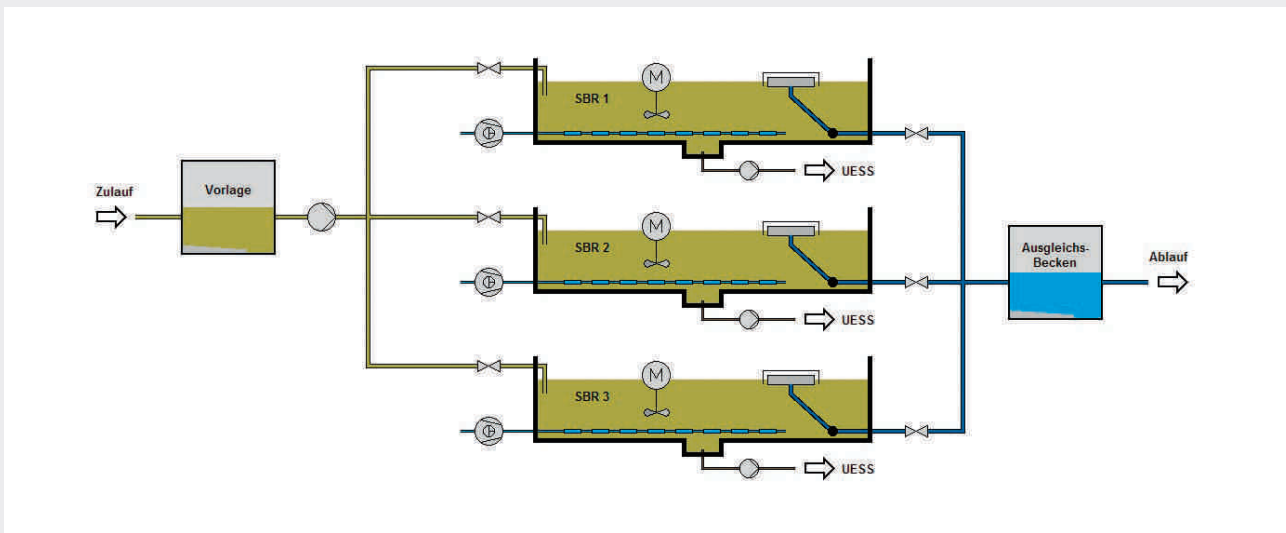


Fig. 1 Prinzipschema einer SBR-Anlage / Schéma de principe d'un système SBR

pensumpf und zum anderen als Puffer, der die Abwassermengen während den Beschickungsumschaltungen aufnehmen kann. Je nach Auslaufkonstellation der Anlage wird den SBR-Reaktoren ein Ausgleichsbecken nachgeschaltet. Dadurch können die beim Dekantieren zum Teil stossartig anfallenden Klarwassermengen zwischengepuffert und danach kontinuierlich weiterbehandelt (z. B. Filtration oder MV-Reduktion) oder dem Vorfluter abgegeben werden. Jeder Reaktor verfügt über eines oder mehrere eigene Gebläse. Der Einsatz von Kollektorsystemen ist ungeeignet, da die verschiedenen Becken während der Belüftungszyklen über verschiedene Beckenniveaus verfügen. Dadurch entstehen die unterschiedlichsten Druckverhältnisse, die sich nur mit grossem energetischen Mehraufwand ausregeln lassen. Der anfallende Überschussschlamm wird am Reaktorboden nach der Sedimentationsphase abgezogen. Zur Phosphatfällung wird dem Reaktor während der belüfteten Phase Fällmittel zudosiert (Fig. 1).

Aus der Sicht der Messtechnik werden zur Steuerung und Regelung eines Reaktors im einfachsten Fall das Beckenniveau, der Sauerstoff und der Trockensubstanz(TS)-Gehalt benötigt. In grösseren Anlagen oder bei erhöhten Anforderungen an die Reinigungsleistung werden zur Optimierung und Überwachung noch weitere Signale wie Redoxpotenzial, Ammoniumkonzentration und der pH-Wert hinzugezogen.

Der Ablauf eines SBR-Zyklus folgt im Grundsatz immer der gleichen Abfolge, wobei die Haupt-Sequenzen durch das Verfahren gegeben sind: Füllen, Reagieren, Sedimentieren, Dekantieren. Je nach Anforderungen und Betriebszielen sind weitere Phasen notwendig: Vor- oder nachgeschaltete Denitrifikation, P-Rücklösung, Schwimmschlammräumung etc. Analog zu der konventionellen Durchlaufbiologie werden die einzelnen Stufen

durchlaufen. Das Wasser durchfließt jedoch nicht die jeweilige Stufe, sondern das Verhalten der jeweiligen Stufe wird im Reaktor eingestellt. Dadurch entsteht die Flexibilität, dass die Aufenthaltszeit in der Stufe durch die Sequenzdauer beeinflusst werden kann. Der Zyklus teilt sich dabei im Wesentlichen in die nachfolgenden Sequenzen:

Ruhephase

Während der Ruhephase befindet sich der SBR in der Grundposition. Der SBR ist, je nach gewähltem Austauschvolumen, zwischen 50 und 70% gefüllt. Darin befindet sich der Belebtschlamm (Fig. 2).

Füllen

Während des Befüllens wird der SBR mit mechanisch vorgeinigtem Abwasser beschickt. Dabei wird das Grundvolumen mit dem neuen Abwasser vermischt. Das Füllen wird beendet, wenn der SBR voll oder die Befülldauer abgelaufen ist (Fig. 3).

Vorgeschaltete Denitrifikation (Mischen)

Die vorgeschaltete Denitrifikation startet parallel zum Befüllen. Dabei wird das im Grundvolumen vorhandene Nitrat des vorangegangenen Zyklus mithilfe des im Abwasser vorhandenen Kohlenstoffs zu elementarem Stickstoff reduziert. Der Abbau ist nach Ablauf der Abbauzeit oder einem Online-Signal (z. B. Redoxpotenzial, Nitratmessung) abgeschlossen (Fig. 4).

Nitrifikation (Belüften)

Während der Nitrifikation wird das im Abwasser vorhandene Ammonium via Nitrit zu Nitrat oxidiert. Dazu wird der SBR belüftet. Genau wie im Durchlauf-Belebtschlammverfahren wird

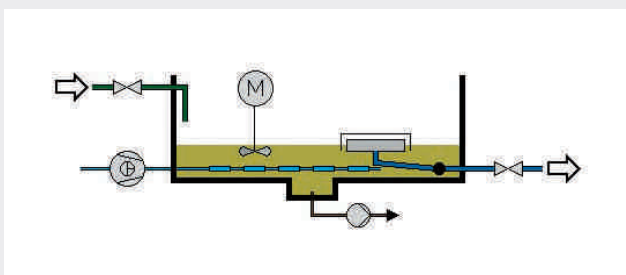


Fig. 2 SBR in der Ruhephase / SBR en phase de repos

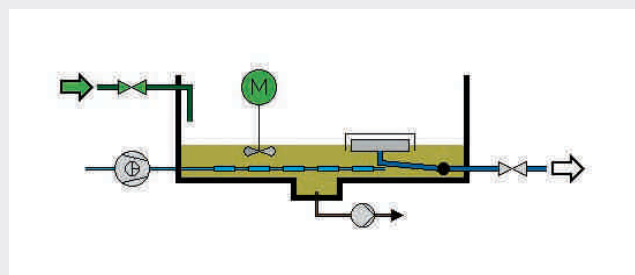


Fig. 3 SBR im Zustand Füllen / Remplissage du SBR

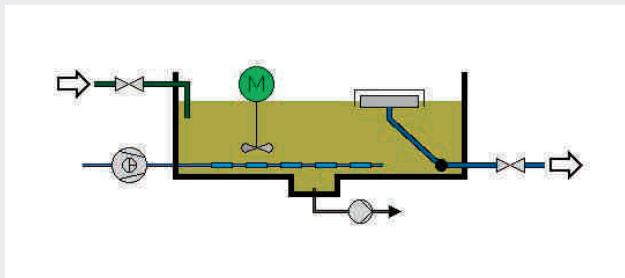


Fig. 4 SBR während der Denitrifikation (Mischen)
SBR en phase de dénitrification (mélange)

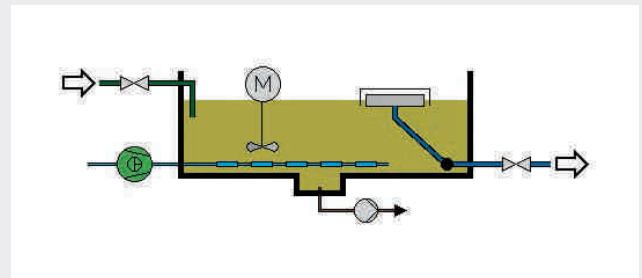


Fig. 5 SBR während der Nitrifikation (Belüften)
SBR en phase de nitrification

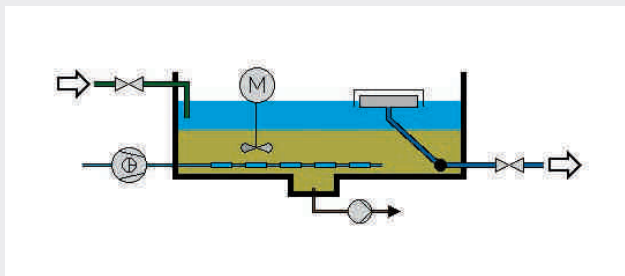


Fig. 6 SBR während der Sedimentation
SBR en phase de sédimentation

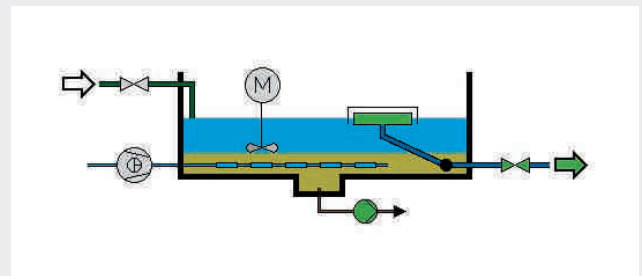


Fig. 7 SBR während dem Dekantieren mit aktivem Überschussschlammabzug
SBR en phase de décantation avec enlèvement actif de mousse superflue

ein Sauerstoffwert von 2,0 mg/l angestrebt. Da die O_2 -Zehrung zu Beginn sehr hoch ist und mit der Zeit stark abnimmt, ist dies technisch anspruchsvoller als in einer konventionellen Biologie. Der Abbau ist nach Ablauf der Abbauphase oder einem Online-Signal (z. B. Gebläseleistung, Ammoniummessung) abgeschlossen (Fig. 5).

Sedimentieren

Während dem Sedimentieren muss sich der Belebtschlamm zur Trennung vom behandelten Abwasser, dem Klarwasser, absenken. Das Sedimentieren ist nach der Sedimentationszeit abgeschlossen (Fig. 6).

Dekantieren

Dazu wird mittels Dekanter das gereinigte Wasser knapp unterhalb der Wasseroberfläche abgezogen. Das Dekantieren wird beendet, wenn der SBR auf dem Grundniveau ist, ein Online-Signal den Vorgang abbricht (Erreichung Schlammspiegel) oder die Dekantierdauer abgelaufen ist (Fig. 7).

Nebst den Sequenzen, die den Hauptablauf definieren, werden die nachfolgenden Sequenzen nebenläufig abgearbeitet. Der ideale Startmoment definiert sich durch die jeweilige Aufgabe und dessen Ziele.

Fällmitteldosierung

Die Fällmitteldosierung dient zur Phosphatelimination. Die Dosierung erfolgt je nach Art des Fällmittels während der Befüllung oder der Belüftung.

Überschussschlammabzug

Der Überschussschlammabzug dient der Einhaltung der Soll-Belebtschlammkonzentration resp. des Schlammalters. Um einen möglichst hohen TS-Gehalt des Überschussschlammes zu erhalten, erfolgt diese Sequenz, während sich die Belebtschlamm-masse im eingedickten Zustand befindet. Deshalb startet der

Überschussschlamm gegen Ende der Sedimentationsphase oder zu Beginn der Dekantierphase.

Schwimmschlammräumung

Je nach Ausrüstung steht ein Räumersystem für den Abzug des Schwimmschlammes zur Verfügung. Dieser wird periodisch eingesetzt, kann z. B. bei der ARA Birs aber nur bei Vollfüllung des Beckens verwendet werden.

Beim SBR-Verfahren bestehen durch die Zyklusgestaltung etliche Einflussmöglichkeiten auf den Prozess. Dies schafft zum einen viel Freiheitsgrad bei der Prozesskonfiguration, zum anderen aber die Gefahr zur Intransparenz und zur Überkonfigurierbarkeit.

Basierend auf den Prozessen und der oben beschriebenen Zyklusfolge können nun die grundlegenden Steuer- und Regelaufgaben abgeleitet werden. Der grundlegende Steuereinfluss auf einen SBR-Zyklus besteht im Wesentlichen in der Definition der Weichschaltzeitpunkte zur nächsten Sequenz sowie dem Füll- und dem Dekantierniveau. Zu den wesentlichen Regelaufgaben gehören die Regelkreise O_2 -Regelung während der Nitrifikations-Phase, die Überschussschlamm-Abzugsregelung und die Fällmittel-Dosierung.

HYDRAULISCHE BEMESSUNG

Die Auslegung einer SBR-Anlage wird neben der Schlammaltersvorgabe im Wesentlichen durch die hydraulische Bemessung und die Zyklussteuerung definiert [1]. Dabei müssen auf die Faktoren Zulaufmenge, Zulaufcharakteristik und bauliche Gegebenheiten Rücksicht genommen werden. Vereinfacht erfolgt die Auslegung in den nachfolgenden Schritten: Beckengrößen und Beckenzahl werden zusammen mit dem Austauschvolumen so bemessen, dass die anfallende Abwassermenge verarbei-

tet werden kann und gleichzeitig das Schlammalter eingehalten wird. Die SBR-Vorlage muss ein genügendes Puffervolumen zur Verfügung stellen, um allfällige kurze Beschickungsunterbrüche während starken hydraulischen Stossbelastungen abfangen zu können. Dem Gedanken bezüglich Redundanzen und Rückfallebenen ist besondere Beachtung zu schenken.

Rein hypothetisch: Wenn von einem kontinuierlichen Zufluss mit kontinuierlicher Schmutzfracht und immer gleicher Temperatur ausgegangen wird, so könnte die Zyklussteuerung starr erfolgen. Durch die ideale hydraulische Auslegung und dem Einstellen von idealen Niveaus und Zeitschaltpunkten würde das bestmögliche, optimale Reinigungsergebnis erreicht werden. Unter realen Bedingungen hingegen muss von einem diskontinuierlichen Zufluss und variablen, stark vom Zufluss entkoppelten Frachten sowie jahreszeitlichen Temperaturschwankungen ausgegangen werden. Dadurch sind nun eine Vielzahl von idealen Niveaus und Zeitschaltpunkten erforderlich.

Mit dieser Anforderung stehen die Verfahrenstechnik und die Automation vor einer Aufgabe, die sich nur interdisziplinär lösen lässt. Die Zyklussteuerung hat die Aufgabe, den Ablauf der einzelnen SBR-Reaktoren zu definieren sowie die Koordination mit der gesamten Anlage – die vor- und nachgelagerten Prozesse – festzulegen. Dieser Artikel beschäftigt sich mit der Steuerung und Regelung einer SBR-Anlage und zeigt die konkrete Anwendung der einzelnen Ansätze in der SBR-Anlage der ARA Birs in Birsfelden.

KONVENTIONELLE ZYKLUSSTEUERUNG

Es muss zu jedem Zeitpunkt garantiert werden, dass die Anlage das anfallende Abwasser aufnehmen kann. Dazu werden in der Regel zwei bis drei zuflussabhängige, feste Zyklusabläufe definiert (für z.B. Trocken- und Regenwettersituationen), die auch eine kontinuierliche Zyklusverzahnung der einzelnen SBR-Becken gewährleisten.

Zur Konfiguration findet oftmals eine Art Konfigurationsmatrix ihre Anwendung (Fig. 8). Dabei bildet die horizontale Achse den zeitlichen Verlauf und die vertikale Achse die verschiedenen Sequenzen ab. Dadurch wird definiert, zu welchem Zeitpunkt im SBR-Zyklus welche Sequenzen aktiv sein sollen. Die Soll-Zyklusdauer kann je nach Implementierung durch den Zeitwert der Felder oder durch das letzte Kreuz in der horizontalen Achse

bestimmt werden. Die Zyklussteuerung ist dabei als ein festes Ablaufschema definiert. Bei der Erstellung einer Konfiguration wird dabei wie folgt vorgegangen:

- Es wird eine Zykluszeit definiert.
- Bei den Becken beträgt die Füllzeit pro SBR Zykluszeit/n.
- Die Sedimentationszeit ergibt sich aus dem Absetzverhalten.
- Die Dekantierzeit ergibt sich aus der Dekantierleistung und dem Austauschvolumen.
- Der Rest der Zykluszeit bleibt für den Abbau, wobei sich dieser in die Denitrifikation und die Nitrifikation unterteilt. Die minimale Länge der belüfteten Phase ergibt sich aus der Bemessung des aeroben Schlammalters.
- Nebenprozesse, die parallel laufen wie FM-Dosierung und Überschussschlamm(UESS)-Abzug, werden konfiguriert.

Um den verschiedenen Betriebssituationen wie Trocken- und Regenwetter, Hoch- und Schwachlast sowie der Anzahl verfügbarer SBR-Reaktoren gerecht zu werden, sind mehrere konfigurierte Matrizen angelegt und werden entsprechend der Betriebssituation nach vordefinierten Schaltpunkten oder Zeiten eingesetzt. Es können jedoch niemals alle erdenklichen Matrizen (vgl. Kap. Auslegung), die aufgrund der Dynamik wünschbar wären, konfiguriert werden. Das Umschalten auf eine andere Matrix während des aktiven Zyklus ist eher schwierig, da keine Synchronisationspunkte gegeben sind. Während die eine Matrix an einer Stelle sedimentiert, ist eine andere bereits am Dekantieren. In dieser Art der Zyklussteuerung lassen sich die nachfolgenden Vor- und Nachteile herauskristallisieren:

Vorteil

- Der Betriebszustand der gesamten SBR-Anlage ist jederzeit offensichtlich.

Nachteile

- Eine Matrix kann nur auf genau eine Betriebssituation ideal abgestimmt werden.
- Die Umschaltunkte zwischen den Matrizen müssen fix definiert werden. Die Ermittlung deren ist oft nur empirisch möglich. Die Umschaltunkte unterliegen zudem jahreszeitlichen Schwankungen und langfristigen Trends (z.B. durch Veränderungen im Einzugsgebiet).
- Alle Matrizen müssen bei Anpassungen mitgepflegt werden.

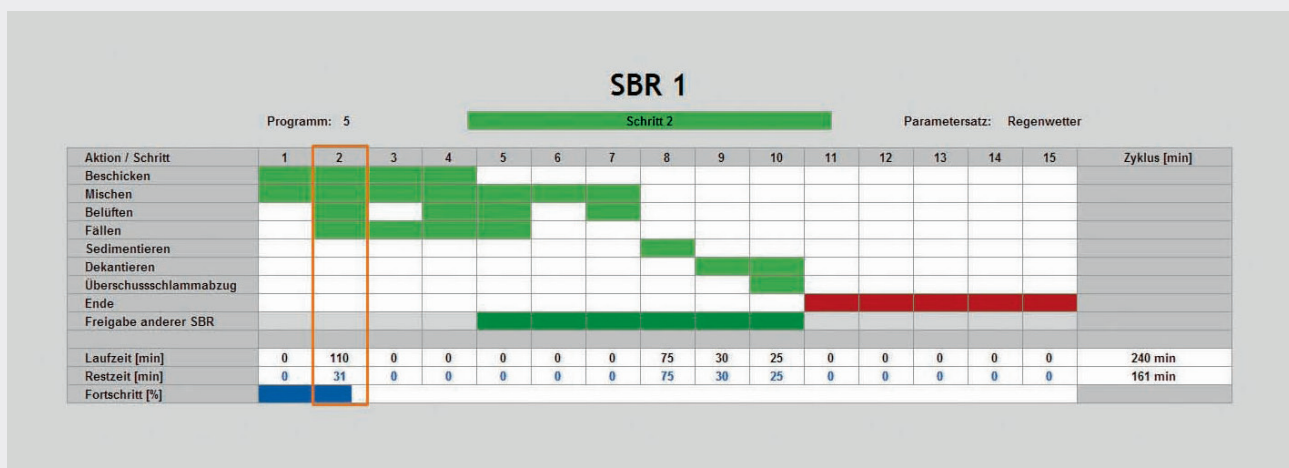


Fig. 8 Konfigurationsmatrix einer SBR-Steuerung im Leitsystem Provox
 Matrice de configuration d'une commande SBR dans le système de guidage Provox



Fig. 9 Blick auf die SBR-Anlage und die Schlammbehandlung

Aperçu du système SBR et traitement des boues

DIE ARA BIRS

Die ARA Birs in Birsfelden BL wurde 2004–2007 erstellt und reinigt das Abwasser von max. 150 000 Einwohnerwerten des unteren Birstals. Die Dimensionierungswassermenge beträgt 900 l/s, wobei der Fremdwasseranteil deutlich unter 30% liegt. Diese Abwassermenge wird mit fünf SBR-Becken mit einem Volumen von je 8500 m³ biologisch gereinigt [3] (Fig. 9).

Die Anlage gehört zum Anlagenverbund des Amts für Industrielle Betriebe Basellandschaft (AIB). Das Einzugsgebiet wird mehrheitlich im Mischsystem entwässert, wodurch bei Regen grosse hydraulische Stossbelastungen auftreten. Die Anlage muss ganzjährig nitrifizieren und denitrifizieren. Seit der Inbetriebnahme erfüllt die ARA die Anforderungen an die Reinigungsleistung, wurde jedoch stetig bezüglich Leistung und Energiebedarf optimiert.

Das SBR-Verfahren wurde vor allem wegen der platzsparenden Bauweise bevorzugt (Parzelle ARA Birs: 7 Einwohnerwerte pro m²). Eine Wasserspiegelhöhe von 8,1 m war damals noch nie realisiert worden. Das AIB hat sich deshalb entschieden, vorgängig Pilotversuche im Höhenmassstab 1:1 durchzuführen. Bedenken, dass sich beim Dekantieren N₂-

Gasblasen bilden, die zum Aufschwimmen des Belebtschlammes führten, konnten widerlegt werden.

OPTIMIERUNGSZIELE

Aufgrund der erlangten Betriebs- und Prozessenerfahrung während der ersten paar Betriebsjahren haben sich in der SBR-Anlage der ARA Birs konkrete Verbesserungspotenziale und Optimierungsziele herauskristallisiert. Durch diese Ziele motiviert, wurde im Jahr 2009 die SBR-Zyklussteuerung von Grund auf neu realisiert.

Flexibilität erhöhen

Die Zyklussteuerung muss pro Charge in Bezug auf die aktuelle Zulauf- und Frachtmenge so exakt wie möglich angepasst werden. Dadurch soll garantiert werden, dass der SBR-Reaktor in Bezug auf die hydraulische Bemessung ideal genutzt wird. Für planbare Versuche sollen verschiedene Konfigurationssets unabhängig voneinander erstellt und individuell auf die einzelnen Reaktoren angewendet werden können.

Zykluszeit optimieren

Die Dauer eines SBR-Zyklus muss stets so lang wie nötig sein. Der Reaktor steht somit so rasch als möglich wieder für den nächsten Zyklus bereit. Dadurch entsteht

Reservekapazität, die sehr wertvoll zum Auffangen von Regenwetterstößen oder zur raschen Entleerung der Mischwasserbecken im Einzugsgebiet ist. In der Tendenz wird dadurch das notwendige Puffervolumen der SBR-Vorlage reduziert. Bei der ARA Birs ermöglicht dies z.B. höhere Wasserspiegelniveaus in der Vorlage und damit eine geringe Förderhöhe des Pumpwerks mit entsprechender Energieeinsparung. Bei Bedarf, und wenn hydraulisch möglich, sollen Zyklen mit hoher Belastung verlängert werden können, wodurch Ammoniumspitzen im Auslauf reduziert werden.

Gebläselaufzeit optimieren

Die Gebläselaufzeit während der Nitrifikation muss minimiert werden. Die Luftregelung muss sich schnell auf den benötigten Luftbedarf einstellen und das Ende der Nitrifikation muss zuverlässig und rasch erkennbar sein. Dadurch verkürzt sich die Sequenzzeit, wodurch der Zyklus schneller abgeschlossen werden kann. Durch die optimierte Laufzeit des Gebläses wird der Energiebedarf gesenkt.

Kapazitäten garantieren

Sowohl die hydraulische Kapazität als auch diejenige des Abbaus zu garantieren, ist grundsätzlich widersprüchlich. Denn beide brauchen Zykluszeit und bei

nicht idealer Zyklussteuerung muss meist ein Kompromiss zwischen den beiden Anforderungen gefunden werden. Beim Abbau sollen die Parameter Ammonium, Nitrat und Phosphat berücksichtigt werden. Der UESS-Abzug soll möglichst gleichmässig über den Tag erfolgen, um dadurch einen ruhigen Betrieb in der Schlammbehandlung zu erhalten.

Transparenz für den Bediener

SBR-Zyklussteuerungen sind anspruchsvoll: Werden sie zu sehr vereinfacht, kann der Prozess nicht mehr ideal gesteuert werden; bieten sie hingegen zu viele Parameter an, ist der Prozess nicht mehr nachvollziehbar. Die neue Zyklussteuerung soll den Prozess mit der benötigten Dynamik steuern und diese intuitiv visualisieren, die Konfigurierbarkeit aber auf das Wesentliche reduzieren. Nur so kann der Bediener Vertrauen gewinnen und die Übersicht über die laufenden Prozesse behalten.

Wiederverwendung

Die Zyklussteuerung soll so aufgebaut sein, dass sie wiederverwendbar ist. Dadurch kann der Ansatz auch auf einen anderen SBR eingesetzt werden. Auf diese Weise kann die Wiedererkennung verbessert und eine Vergleichbarkeit zwischen den Anlagen hergestellt werden.

Auch das Steuerungsprogramm für die Zyklussteuerung soll so aufgebaut sein, dass es in anderen SBR-Anlagen wiederverwendbar ist. Dadurch sollen Programm-Module mit erprobter Prozesslogik entstehen. Dieses Vorgehen soll mitunter auch die Wiedererkennung und Vergleichbarkeit unter den Anlagen verbessern.

DYNAMISCHE ZYKLUSSTEUERUNG

Als Grundlage zur dynamischen Zyklussteuerung dient die konventionelle Zyklussteuerung, die vorgängig beschrieben wurde. Dabei wird jeder SBR-Reaktor als eigenständige Prozesskomponente betrachtet, ein Koordinator übernimmt alle übergeordneten Aufgaben. Diese Variante entspricht der Implementierung der ARA Birs. In der Praxis werden oftmals auch Mischformen der beiden Ansätze angewandt.

Ein SBR-Becken funktioniert selbstständig und entscheidet innerhalb zu definierender Grenzen selbst über seine Zyklusdauer sowie die einzelnen Sequenzzeiten. Durch den Koordinator gegebenen übergeordneten Grenzen sichern die hydraulische Kapazität, die Maximalzeiten sowie die Prozessstabilität (z. B. Mindestzeiten). Synchronisationspunkte wie Befüll- und Dekantierwartelisten definieren die Abfolgerichtigkeit der einzelnen Becken sowie die Anzahl gleichzeitiger Freigaben. SBR-überge-

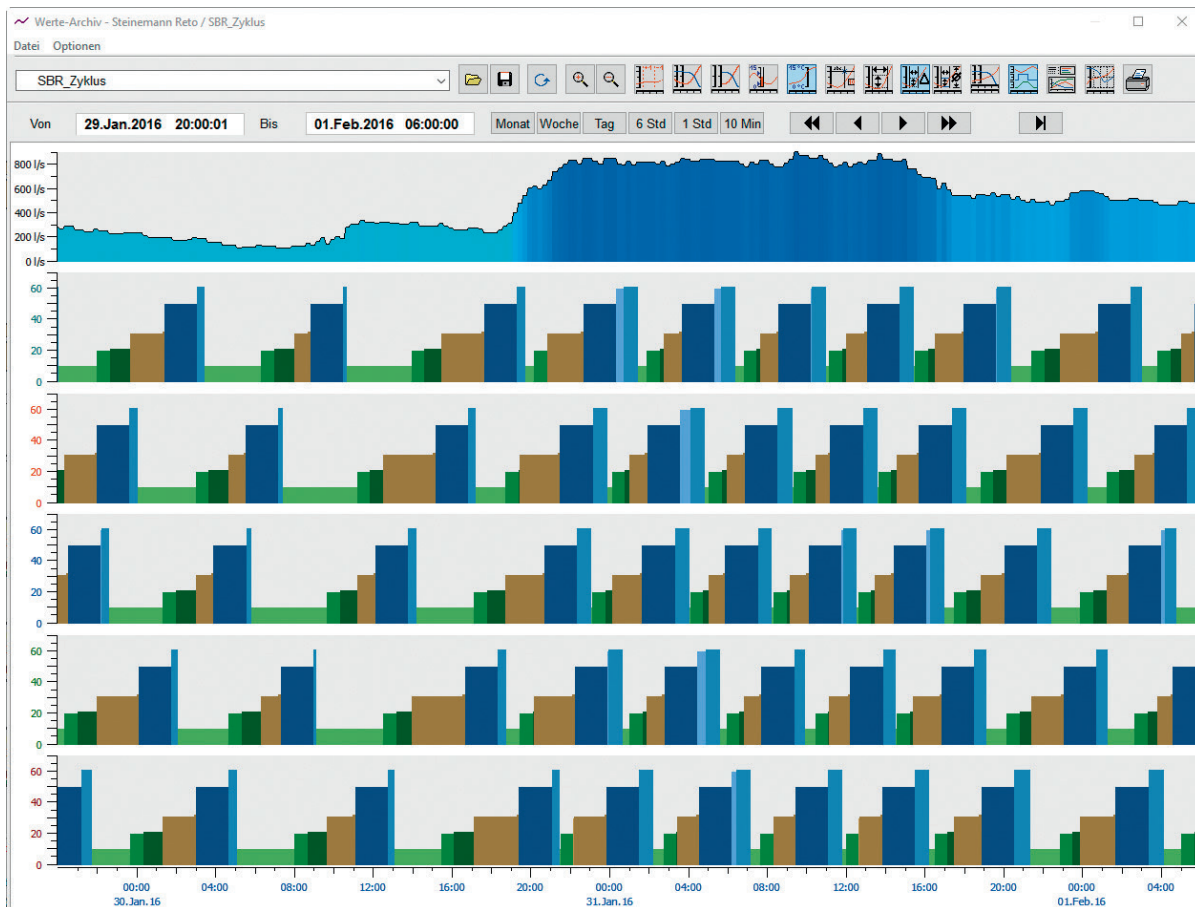


Fig. 10 ProvoxPlus-Trenddarstellung SBR-Zyklus im Vergleich. Im Bild ist der dynamische Übergang während eines Regenereignisses zu erkennen
 Représentation de tendances ProvoxPlus, cycle SBR, comparaison. L'illustration montre la transition dynamique lors d'un épisode pluvieux

ordnete Prozesse und Berechnungen (z. B. Fällmittel-Dosierung pro SBR und Charge) werden ebenfalls durch den Koordinator erstellt (Fig. 10).

SBR-TEILPROZESSE

Die Abfolge der Teilprozesse ist fest gegeben. Die Umschaltpunkte zwischen den Prozessen werden in jedem Zyklus anhand der aktuellen Situation neu bestimmt. Im nachfolgenden Teil werden die einzelnen Teilprozesse und deren Verhalten beschrieben (Fig. 11 und 12).

Beschickung

Die minimale Beschickungsdauer errechnet sich aus der Dimensionierungswassermenge der ARA und dem maximalen Austauschvolumen des SBR (Differenz zwischen dem max. Befüllniveau h_{\max} und dem min. Dekantierniveau h_{\min}). Bei einem Maximalzufluss Q_{\max} auf die ARA Birs ist mit einer Wassermenge von 900 l/s zu rechnen. Daraus kann die schnellstmögliche Befülldauer errechnet werden:

$$t_{\text{Befüllung, min}} = ((h_{\max} - h_{\min}) * A_{\text{SBR}}) / Q_{\max}$$

Hierbei gilt:

A_{SBR} = Grundfläche SBR

Bei $Q < Q_{\max}$ verlängert sich die Befülldauer und somit auch die Zykluszeit. Dadurch nimmt die Anzahl Zyklen pro Tag ab. Die maximale Befülldauer kann zur Frachtbegrenzung und besseren Frachtverteilung auf die einzelnen Reaktoren, z. B. basierend auf einem typischen Tagesgang limitiert werden.

Berechnen der Zyklusparameter

Nach dem Ende der Beschickung erfolgt die Berechnung der maximalen Zyklusdauer sowie der einzelnen Sequenzzeiten, basierend auf der effektiven Beschickungsmenge, abgestimmt nur auf diesen Zyklus. Die dynamische Zykluszeitberechnung ermittelt die maximal mögliche Zykluszeit t_{Zyklus} aufgrund der

gemessenen Befülldauer $t_{\text{Befüllung}}$ und der Anzahl in Betrieb stehender SBR-Reaktoren n_{SBR} :

$$t_{\text{Zyklus}} = t_{\text{Befüllung}} * n_{\text{SBR}}$$

Die benötigte Dekantierzeit ergibt sich aus dem aktuellen Befüllniveau h des SBR und der Dekantierleistung Q_{Dek} . Der Abfluss während dem Dekantiervorgang ist abhängig vom Dekantiersystem und den hydraulischen Gegebenheiten. Bei der ARA Birs wird auf einen festen Abflusswert geregelt, wodurch sich die benötigte Dekantierzeit berechnen lässt:

$$t_{\text{Dekantieren}} = ((h - h_{\min}) * A_{\text{SBR}}) / Q_{\text{Dek}}$$

Daraus lässt sich die maximale Abbauzeit $t_{\text{Abbau, max}}$ des jeweiligen Zyklus berechnen. Die Abbauzeit beginnt mit dem Start des SBR-Zyklus und endet spätestens nach Ablauf der Abbauzeit:

$$t_{\text{Abbau max}} = t_{\text{Zyklus}} - t_{\text{Sedimentieren}} - t_{\text{Dekantieren}}$$

Die so errechneten Sequenzzeiten definieren die Maximalzeiten. Falls ein Prozess aufgrund weiterer Kriterien schon früher endet, wird die nächste Sequenz aktiviert.

Vorgeschaltete Denitrifikation

Die vorgeschaltete Denitrifikation dient zum raschen Nitratabbau (Nitrat: NO_3). Während dieser Phase sind die Rührwerke eingeschaltet. Das Ende zeigt sich z. B. durch das «Redoxknie», d. h. eine rasches Absinken des Redox-Signales in einen tiefen negativen Bereich. Alternativ kann auch eine NO_3 -Sonde zur Beendigung der Deniphase verwendet werden. Die Denitrifikationsphase t_{Deni} dauert maximal solange, bis ein Onlinesignal das Ende erkennt

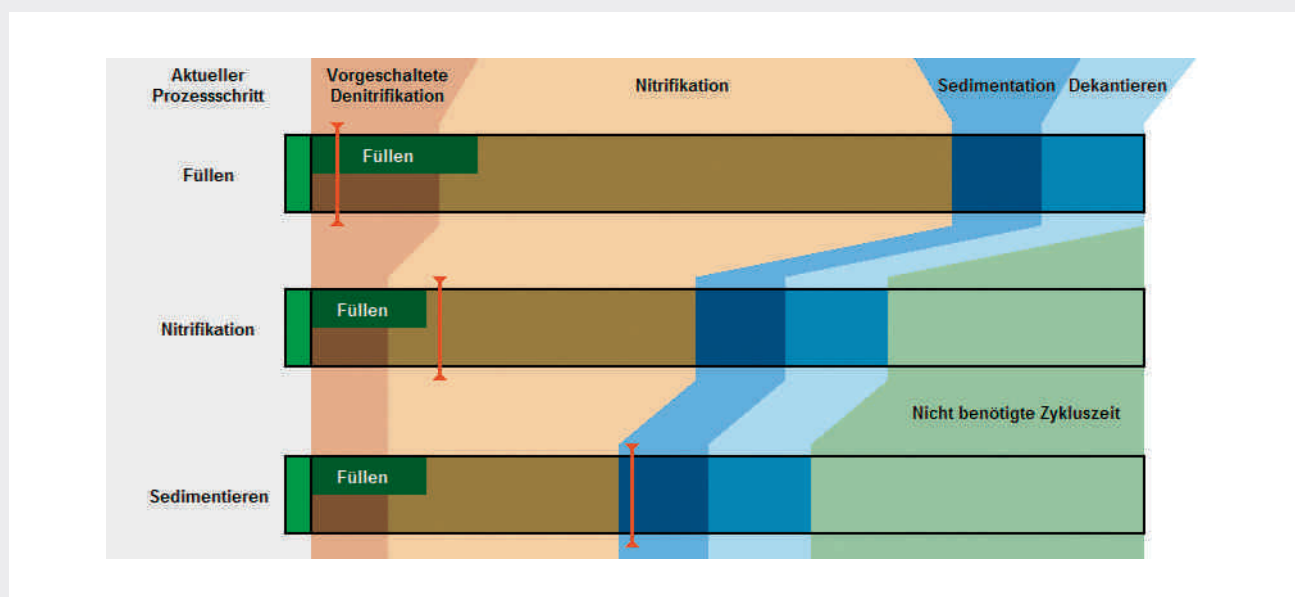


Fig. 11 SBR-Zyklusdarstellung mit den Zyklus-Neuberechnungen nach den Prozessschritten Füllen und Nitrifikation
Représentation du cycle SBR, nouveaux calculs après les étapes de remplissage et de nitrification

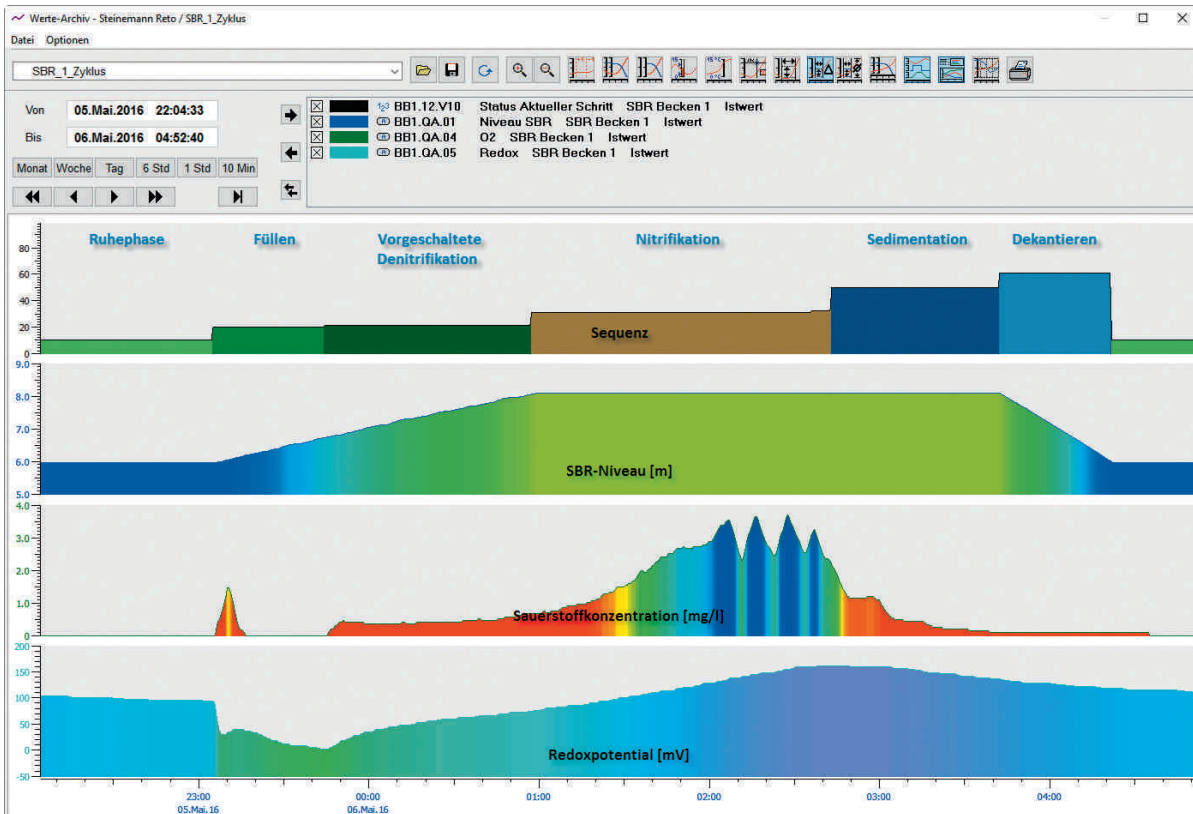


Fig. 12 ProvexPlus-Trenddarstellung eines SBR-Zyklus / Représentation de tendanced ProvexPlus, cycle SBR

oder bis die parametrierbare Maximalzeit $t_{\text{Deni,max}}$ abgelaufen ist.

Nitrifikation

Die Nitrifikation dient zum Ammoniumabbau (Ammonium: NH_4) durch Belüften, es entsteht Nitrat. Diese Phase dauert mindestens solange, bis die minimale Nitrifikationsdauer $t_{\text{Nit,ri,min}}$ und die Nitrifikation abgeschlossen, d.h. Ammonium vollständig eliminiert ist. Als Ende der Nitrifikation gilt bei der ARA Birs entweder das Erreichen einer minimalen Sauerstoffzerrung – bei einer SBR-Anlage einfach zu erkennen – oder der Maximalzeit der Sequenz. Als Alternative kann auch eine Ammoniumsonde verwendet werden. Ein weiterer dynamischer Aspekt kommt hier zum Einsatz, wenn die Maximalzeit zwar erreicht, der Abbau aber noch nicht vollständig abgeschlossen ist. In diesem Fall kann der Koordinator aufgrund der aktuellen Anlagesituation die Verlängerung dieser Sequenz freigeben. Diese Funktion kommt bei Zyklen mit hoher Frachtbelastung zum Einsatz. Wenn letztlich der Abbau nicht abgeschlossen wurde, wird zur Information des Betreibers ein Alarm abgesetzt.

Sedimentation

Das Sedimentieren ist nach Beenden der definierten Zeit abgeschlossen. Die Geschwindigkeit ist jahreszeitabhängig, wodurch sich allenfalls auch die minimale Sedimentationszeit verändert.

Dekantieren

Während des Dekantierens wird das Klarwasser oberhalb des sedimentierten Belebtschlammes abgezogen. Mit dem Start der

Dekantiersequenz werden die Dekanter abgesenkt und die Ablassschieber geöffnet. Da keine Abflussmessung im Ablauf zur Verfügung steht, erfolgt die Regelung via Beckenniveau und einer adaptiven Kennlinie. Das Dekantieren ist beendet, sobald das minimale Dekantierniveau erreicht oder die maximale Dekantierzeit abgelaufen ist. Beim Erreichen des Mindestabstands zwischen Dekanter und Schlamm Spiegel wird je nach Konfiguration die Dekantierung vorzeitig gestoppt oder ein Alarm abgesetzt. Als weiterer dynamischer Aspekt wird je nach Wittersituation das minimale Dekantierniveau verändert. Das heisst, bei Trockenwetter wird das Dekantierniveau erhöht, wodurch sich die SBR-Behälter tendenziell mehr füllen. Dadurch wird zwar etwas mehr Pumpenergie benötigt, aber der Luftertrag kann über lange Zeit in einem für das Gebläse der ARA Birs effizienteren Bereich betrieben werden. Wenn im Einzugsgebiet eine erhöhte Abflussmenge erkannt wird, muss das Dekantierniveau möglichst rasch herabgesetzt und das Austauschvolumen wieder vergrößert werden.

Fällmittel-Dosierung

Die Fällmittel-Dosierung läuft gleichzeitig mit dem Start der Beschickung. Die Berechnung der einzelnen Chargen erfolgt je nach Koordination auf zwei Arten. In der ersten Variante wird eine parametrierbare Tagessollmenge vorgegeben. Mittels Tagesgangkurve werden die Dosierungen pro Zyklus approximativ dem zu erwartenden Phosphatanfall angeglichen. Der Koordinator errechnet situativ aufgrund dieser Parameter, der mittleren Zyklusdauer und der Anzahl in Betrieb stehender SBR-Becken die Dosiermenge pro Zyklus.

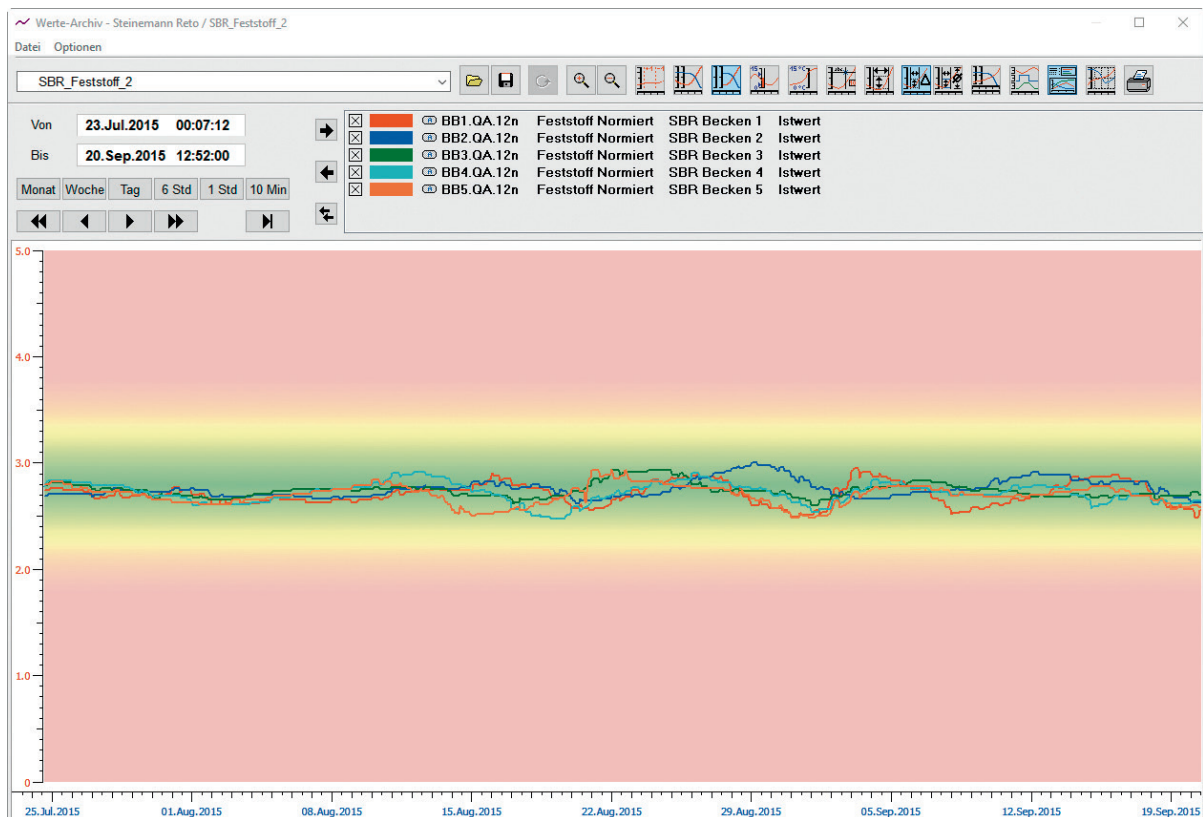


Fig. 13 ProxexPlus-Trenddarstellung Soll/Ist-Vergleich UESS-Regelung / Représentation de tendances ProxexPlus, règlement de la mousse superflue

Alternativ wird derzeit als Pilot die Fällmittel-Dosierung geregelt. Dabei wird die Phosphatkonzentration (POP4-P) im Ablauf online gemessen und dem jeweiligen SBR zugeordnet. Daraus lässt sich vor jeder Dosierung errechnen, wie viel Fällmittel mehr oder weniger dosiert werden muss, um das verbliebene Grundvolumen im SBR auf den Phosphat-Sollwert zu korrigieren.

Überschuss-Abzug

Die Überschussschlamm-Abzugsmenge muss pro Reaktor separat bestimmt werden, da jeder SBR unterschiedliche Schmutzfrachten behandelt. Um die Trockensubstanz (TS)-Konzentration im Becken konstant zu halten, wird die beckennormierte TS-Konzentration errechnet. Dazu wird im belüfteten Zustand die TS-Konzentration gemessen und auf die Konzentration im voll befüllten Becken umgerechnet. Dadurch sind die Werte untereinander vergleichbar. Die Überschussschlamm-Abzugsregelung hat zur Aufgabe, den Sollwert im SBR-Reaktor möglichst konstant zu halten (Fig. 13).

Vorteile

- Die Zyklussteuerung wird zyklisch so

ideal wie möglich an die aktuelle Betriebssituation angepasst.

- Rückfallebenen werden in der Zyklussteuerung implizit mitbehandelt.
- Es müssen nur wenige wesentliche Parameter konfiguriert werden, selbstverständliche Abläufe sind in der Zyklussteuerung hinterlegt.
- Jeder SBR kann z. B. für planbare Versuche einfach mit einem anderen Parametersatz betrieben werden.
- Die Bedienung ist trotz viel Freiraum für Optimierungen intuitiv fassbar.

Nachteile

- Da sich die SBR-Zyklen frei entsprechend der Belastung definieren, ist eine anspruchsvollere Visualisierung notwendig.

SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die ARA-Betreiber müssen sich seit Jahren stetig steigenden Anforderungen stellen. Stichworte: Energieeffizienz, höhere Reinigungsleistungen (MV-Reduktion etc.). Das SBR-Verfahren bietet dank der grossen Flexibilität ein grosses Optimierungspotenzial. Dieses Potenzial wurde

aufgrund der Komplexität bis anhin noch wenig genutzt. Mit dem hier vorgestellten Steuerungs- und Regelungskonzept zur Automatisierung speziell von SBR-Biologien wird die Voraussetzung für bestmögliche Nutzung des Potenzials geschaffen. Nebst den auf der ARA Birs getesteten neuen Funktionen wären mit diesem Konzept auch weitere Steuer- und Regelkonzepte implementierbar (z. B. Bio-P, Reduktion von Lachgas etc.).

Unabhängig von der verwendeten Automatisierungsstrategie bleibt die Optimierung einer SBR-Anlage sehr anspruchsvoll. Wir sind überzeugt, dass es sich speziell bei grösseren SBR-Anlagen lohnt, von Anfang an möglichst viel Freiraum und Flexibilität bei der Zyklusgestaltung bereitzustellen.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Wilderer, P; Irvine, R; Goronszy, M. (2001): Sequencing Batch Reactor Technology. IWA Publishing, Cronwall UK
- [2] Arnold, J. et al. (2015): DWA-A 268 Entwurf Automatisierung von einstufigen Belebungsanlagen. DWA 3/15
- [3] Koch, G. (2009): Grösste SBR-Anlage der Schweiz. gwa 7/09