

# ARA BIRS: DYNAMISCHES SBR-VERFAHREN

## WETTERPROGNOSE ZUR STEUERUNG UND NITRAT-SONDEN ZUR REGELUNG DES SBR-VERFAHRENS

Bereits seit einigen Jahren wird auf der ARA Birs das SBR (Sequencing-Batch-Reactor)-Verfahren dynamisch betrieben. Die neusten Optimierungen betreffen sowohl die SBR-Zyklusregelung (mittels Nitratgradient) als auch die übergeordnete Steuerung (Wetterprognose). Damit kann die Reinigungsleistung verbessert und bei Regenwetter die hydraulische Kapazität der ARA erhöht werden.

Nicolas Stöcklin\*, Amt für Industrielle Betriebe, Kanton Basel-Landschaft

Reto Steinemann, Chestonag Automation AG

Gerhard Koch, Amt für Industrielle Betriebe, Kanton Basel-Landschaft

### RÉSUMÉ

#### OPTIMISATION DU PROCÉDÉ SBR À LA STEP DE BIRS

L'étape biologique de la STEP de Birs est constituée de cinq réacteurs SBR (*Sequencing Batch Reactors*) et est activement exploitée depuis déjà quelques années. La grande flexibilité du procédé SBR offre différentes possibilités d'optimisation. Dans certains cas de charge, comme par temps de pluie, des conflits d'objectif peuvent cependant survenir entre une performance d'épuration optimale (cycles SBR prolongés) et la sécurité hydraulique (cycles SBR raccourcis pour absorber la quantité d'eaux usées à traiter). Par conséquent, une commande supérieure respectant une hiérarchie clairement définie de priorités doit coordonner les réacteurs SBR. Les étapes biologiques de dégradation (dénitrification/nitrification) du cycle SBR sont régulées en fonction de la charge depuis septembre 2019 à l'aide de sondes nitrate en utilisant le gradient de nitrate. Cela a permis d'améliorer nettement la performance d'épuration de la STEP.

En ayant recours aux prévisions météorologiques, il a été possible d'instaurer un délai préliminaire nécessaire afin de constituer des réserves hydrauliques lors du passage d'un temps sec à un temps pluvieux. Par conséquent, il est prévu d'augmenter le débit maximal entrant de la STEP d'actuellement 900 l/s. Cela permettrait d'améliorer encore davantage la gestion de l'eau mélangée dans le bassin versant, et ainsi la protection des eaux.

### ARA BIRS: ÜBERBLICK UND SBR-VERFAHREN

#### GANZHEITLICHER GEWÄSSERSCHUTZ AN DER BIRS

Mit einer Ausbaugrösse von 150 000 Einwohnerwerten gehört die ARA Birs zum Anlagenverbund des Amtes für Industrielle Betriebe (AIB) des Kantons Basel-Landschaft. Sie entstand in den Jahren 2004–2007 aus dem Zusammenschluss der früheren ARA Birs 1 in Reinach und ARA Birs 2 in Birsfelden. Auf der ARA Birs wird das Abwasser von acht Baselbieter und drei Solothurner Gemeinden des unteren Birstals gereinigt. Bis zum Bau des Ableitungskanals vom Standort Birsfelden in den Rhein 2002/2003 wurden die gereinigten Abwässer der ARA Birs 1 und 2 in die Birs eingeleitet, was deren Gewässerqualität stark beeinträchtigte. In der Zwischenzeit hat sich die Gewässerqualität im Unterlauf der Birs deutlich verbessert. Dies ist einerseits dem Bau diverser Mischwasserbecken (Regenüberlaufbecken) sowie des Ableitungskanals zum Rhein für das gereinigte Abwasser der ARA Birs zu verdanken. Andererseits wurde die Birs im Bereich der ehemaligen ARA Birs 1 in Reinach und im untersten Teilstück zwischen ARA Birs und Rhein revitalisiert [1, 2].

Beim Umbau der ehemaligen ARA Birs 2 zur heutigen ARA Birs bot sich aufgrund der geringen Arealfläche von nur 21 000 m<sup>2</sup>

\* Kontakt: nicolas.stoeklin@bl.ch

das SBR (*Sequencing-Batch-Reactor*)-Verfahren an, eine diskontinuierliche Variante des Belebtschlammverfahrens. Dieses konnte gut in den alten Becken- und Gebäudekomplex integriert werden. Die Dimensionierungsmenge der ARA Birs beträgt 9001/s. Aufgrund der Anforderungen an eine weitergehende Stickstoffelimination (>70%  $N_{tot}$ ) findet die Denitrifikation ganzjährig statt. Weitere Angaben zur ARA Birs finden sich im Porträt von *Aqua & Gas* Nr. 9/18 [3].

**DYNAMISCHES SBR-VERFAHREN ARA BIRS**

Die biologische Stufe der ARA Birs besteht aus fünf SBR (je 8500 m<sup>3</sup> Volumen). Das mechanisch vorgereinigte Abwasser gelangt kontinuierlich in einen SBR-Vorlagebehälter (850 m<sup>3</sup> Inhalt), aus dem jeweils ein SBR mittels Pumpwerk befüllt wird. Beginnend mit der Befüllung durchläuft jeder SBR einen Zyklus aus folgenden Phasen:

- Vorgeschaltete Denitrifikation
- Nitrifikation
- Sedimentation
- Dekantieren
- Ruhephase

Wie sich im Kapitel zur *Denitrifikation* noch zeigt, ist die Ruhephase nicht einfach Totzeit, sondern hinsichtlich Prozessstabilität und Reinigungsleistung ein wichtiger Prozessschritt.

SBR-Verfahren können entweder zeitgesteuert oder dynamisch betrieben werden. Bei der Zeitsteuerung werden für verschiedene Belastungssituationen (z.B. *Trockenwetter*, *Regenwetter*) definierte SBR-Zyklen mit fixen Zeitdauern der einzelnen SBR-Phasen vorgegeben. Zeitgesteuerte SBR-Verfahren sind zwar transparent und technisch einfach, berücksichtigen jedoch den effektiven Lastanfall nur ungenügend. Dies kann einerseits dazu führen, dass die Abbauprozesse (*Denitrifikation*, *Nitrifikation*) nicht vollständig abgeschlossen sind, aber zeitbedingt abgebrochen werden (Gewässerbelastung). Andererseits kann es vorkommen, dass die Abbauprozesse bereits vor Ablauf der jeweiligen Phasenzeit abgeschlossen sind. Dies verursacht bis zum fixen Phasenende einen zusätzlichen Energieverbrauch durch Rührwerke und Belüftung.

Aufgrund genannter Defizite der SBR-Zeitsteuerung wird das SBR-Verfahren auf der ARA Birs bereits seit einigen Jahren dynamisch betrieben [4]. Dabei

wurden insbesondere die SBR-Zyklen dahingehend optimiert, dass die Abbauprozesse lastabhängig, basierend auf effektiven Messwerten im Reaktor, geregelt werden. Somit werden die SBR-Zyklen bei geringer Last verkürzt und bei hoher Last, wenn möglich, verlängert, um einen möglichst vollständigen Abbau zu erreichen.

Bei *Trockenwetter* hat die SBR-Anlage der ARA Birs in der Regel genügend Zeitreserven, um die SBR-Zyklen bezüglich Reinigungsleistung zu optimieren. Bei *Regenwetter* kann es jedoch zum Zielkonflikt [5] zwischen optimaler Reinigungsleistung (verlängerte SBR-Zyklen) und hydraulischer Sicherheit (verkürzte SBR-Zyklen zur Aufnahme von anfallendem Abwasser) kommen. Somit muss eine *übergeordnete Steuerung*, einer klar definierten Rangfolge von Prioritäten (*Tab. 1*) folgend, die SBR koordinieren.

**PRIORISIERUNG DER OPTIMIERUNGSZIELE**

Der vorliegende Artikel fokussiert auf Prozessoptimierungen des SBR-Verfahrens. Weitergehende Erläuterungen zur Betriebssicherheit, insbesondere auch zur Sicherheits- bzw. Rückfallebene, finden sich im VSA-Leitfaden zur dynamischen

Prozessregelung und -überwachung von ARA [6].

Aus *Tabelle 1* wird deutlich, dass die Sicherstellung hydraulischer Reserven zur Aufnahme von  $Q_{ARA,max}$  (Optimierungsziel 3) Vorrang hat über den vollständigen Abbau innerhalb der SBR-Zyklen (Optimierungsziele 4, 5, 6, 8). Dies bedeutet für den Lastfall *Regenwetter*, dass die Zyklen von der *übergeordneten Steuerung* dahingehend verkürzt werden, dass immer ein SBR zur Aufnahme von anfallendem Abwasser bereitsteht. Aus *Tabelle 1* wird ebenfalls die Rangfolge der SBR-Phasen innerhalb eines Zyklus ersichtlich. So muss in jedem Zyklus genügend Zeit für die Phasen *Sedimentation* und *Dekantieren* reserviert werden (Optimierungsziel 2). Die restliche Zykluszeit wird zum eigentlichen Abbau verwendet. Dabei wird der Zyklusschritt *Vorgeschaltete Denitrifikation* (Ziel 8) nur bei *Trockenwetter* ausgeführt, bei *Regenwetter* wird auf die *Denitrifikation* verzichtet und die so eingesparte Zykluszeit zur Belüftung der SBR (Ziele 4, 5, 6) genutzt (*Tab. 2*).

In der Gesamtbetrachtung zum optimalen Gewässerschutz tragen folglich die Betriebsmodi *Trockenwetter* und *Regenwetter* in unterschiedlicher Weise bei:

- Die SBR-Anlage läuft rund 90% der Zeit im Betriebsmodus *Trockenwetter*. Dabei

Optimierungsziel	Zielerreichung SBR
1 Betriebssicherheit Schutz der ARA, Aggregate usw.	Überfüllschutz, Hochalarne usw.
2 Vermeiden von Feststoffen im Ablauf (Schlammabtrieb)	Ausreichende Dauer für <i>Sedimentation</i> , Überwachung beim <i>Dekantieren</i> (Schlamm Spiegel, Trübung im Ablauf)
3 Aufnahme von $Q_{ARA,max}$ Reduktion von Mischwasserentlastungen	Sicherstellung hydraulischer Reserven durch frühzeitige Umschaltung auf <i>Regenwetter</i> , verkürzte SBR-Zyklen bei <i>Regenwetter</i>
4 Abbau organischer Substanzen	Minimale Belüftungsdauer
5 Nitritabbau 6 Ammoniumabbau	<i>Nitrifikation</i> (belüftete Phase), genügend hohes Schlammalter
7 Faul-/Mischwassermanagement	<i>Übergeordnete Steuerung</i> : Frachtausgleich
8 Maximale Stickstoffelimination	<i>Denitrifikation</i> (gerührte Phase, <i>Ruhephase</i> ), Austauschverhältnis ( <i>Tab. 2 ff.</i> )
9 Reduktion Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen	Effiziente Belüftungs- und Rührphasen ( <i>Tab. 2 ff.</i> )
10 Reduktion Betriebsmittelverbrauch	Optimale(r) Dosiermenge und -zeitpunkt für Fällmittel

Tab. 1 Priorisierung der Optimierungsziele (adaptiert aus dem VSA-Leitfaden [6]).

Betriebsmodus	Füllniveau $h_{max}$	Dekantierniveau $h_{min}$ (Austauschvolumen)	SBR-Phase <i>Denitrifikation</i>
Trockenwetter (TW)	Max.	6,5 m (1650 m <sup>3</sup> )	Regelung mittels Nitratgradient
Regenwetter (RW)	8,05 m	5,0 m (3250 m <sup>3</sup> )	Keine <i>Denitrifikation</i>

Tab. 2 Parameter für die Betriebsmodi *Trockenwetter* und *Regenwetter*.



wird der SBR-Prozess auf eine optimale Reinigungsleistung inklusive *Denitrifikation*<sup>1</sup> optimiert.

- Im Lastfall *Regenwetter* muss hingegen die kontinuierliche Aufnahme von  $Q_{ARA,max}$  sichergestellt werden mit dem Ziel, zusätzlich zu den Mischwasserbecken den Schmutzstoss aufzufangen bzw. zu behandeln und Mischwasserentlastungen zu reduzieren.

Gemäss *Tabelle 2* werden die SBR auf der ARA Birs auch im Betriebsmodus *Trockenwetter* mit hohem Füllstand betrieben. Dadurch kann das Austauschverhältnis von nitrathaltigem Belebtschlamm zu frischem Abwasser optimiert werden, womit eine erhöhte Stickstoffelimination erreicht wird (analog der Rückführung nitrathaltiger Ströme bei einer konventionellen Belebungsanlage in Form einer «internen Rezirkulation» bzw. des Rücklaufschlammes). Zudem kann durch den hohen Füllstand der Sauerstoffeintrag in die SBR erhöht werden. Bei der ARA Birs ist dies hilfreich, da die *Nitrifikation* zeitweise durch die Gebläse/Tellerbelüfter limitiert ist. Insgesamt verbessert sich bei höherem Füllstand tendenziell die Energieeffizienz der Belüftung [6].

**SBR-ZYKLUS**

Für jeden SBR-Zyklus wird eine maximale Zyklusdauer und - der Priorisierung der Optimierungsziele (*Tab. 1*) folgend - die Maximaldauer der SBR-Phasen berechnet. Die Abfolge der Phasen ist fest gegeben (*Fig. 1*), und die Umschaltunkte zwischen den Phasen werden dynamisch bzw. lastabhängig geregelt.

**BERECHNUNG DER ZYKLUSDAUER**

Nachfolgend wird das Grundgerüst für die Zyklusdauer-Berechnung erläutert. Aufgrund der dynamischen Regelung kann es innerhalb eines SBR-Zyklus zu Zyklusdauer-Neuberechnungen kommen (*Fig. 2*).

<sup>1</sup> Obwohl die *Denitrifikation* nur bei *Trockenwetter* Teil des SBR-Zyklus ist, werden die Anforderungen zur Stickstoffelimination auf der ARA Birs gut erreicht (ca. 80% N-Elimination).

Die schnellstmögliche Fülldauer  $t_{Füllen,min}$  beim Maximalzufluss  $Q_{max}$  von 900l/s beträgt ( $h_{max}$  und  $h_{min}$  vgl. *Tab. 2*,  $A_{SBR} = 1055 m^2$ ):

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

Für die ARA Birs ergibt sich somit bei  $Q_{max}$  eine Fülldauer von ca. 01:00 hh:mm. Bei  $Q < Q_{max}$  verlängert sich die Fülldauer und somit auch die Zykluszeit. Im Sinne der Betriebssicherheit darf nicht zu viel Ammonium in den SBR vorhanden sein, damit bei einem unerwarteten Lastfall die vollständige Nitrifikation eingehalten werden kann [6]. Folglich ist die maximale Fülldauer  $t_{Füllen,max}$  begrenzt (z. B. 01:40 hh:mm).

Am Ende der Befüllung wird die maximale Zyklusdauer  $t_{Zyklus,max}$  aus der effektiv gemessenen Fülldauer  $t_{Füllen}$  und der Anzahl in Betrieb stehender SBR-Reaktoren  $n_{SBR}$  ermittelt:

$$t_{Zyklus,max} = t_{Füllen} * n_{SBR}$$

Im Folgenden wird für den Betriebsmodus *Regenwetter* exemplarisch der Maximalzufluss  $Q_{max}$  dargestellt. In der Realität ist jeder Zyklus mit einer eigenen Zyklusdauer charakterisiert. Somit ergeben sich bei  $n_{SBR} = 5$  folgende maximale Zyklusdauern:

$$t_{Zyklus,max,TW} = 5 * 01:40 \text{ hh:mm} = 08:20 \text{ hh:mm}$$

$$t_{Zyklus,max,RW} = 5 * 01:00 \text{ hh:mm} = 05:00 \text{ hh:mm}$$

Mit dem Rhein als Vorfluter kann beim Dekantieren auf eine Regelung des SBR-Abflusses verzichtet werden. Wegen des absinkenden Wasserspiegels ist die Dekantiergeschwindigkeit folglich niveauabhängig. Die Dekantierdauer  $t_{Dekantieren}$  wird nach

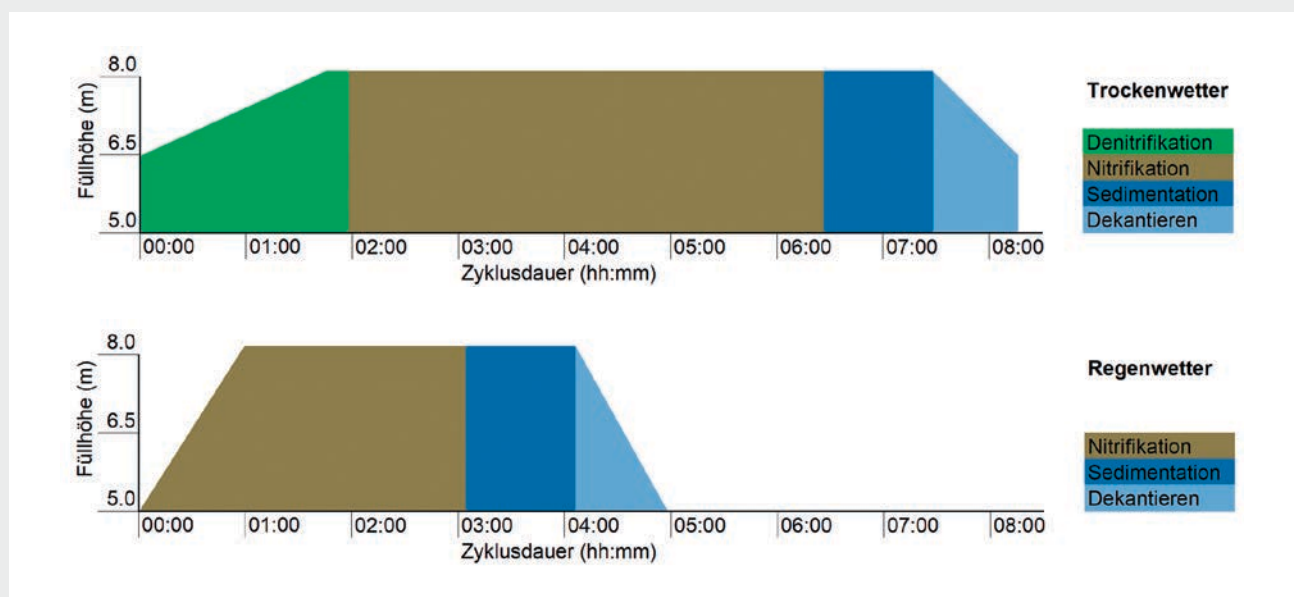


Fig. 1 Darstellung der SBR-Zyklen mit den maximal möglichen Zykluszeiten für die Betriebsmodi *Trockenwetter* (oben) und *Regenwetter* (unten, exkl. *Denitrifikation*, s. *Tab. 2*).

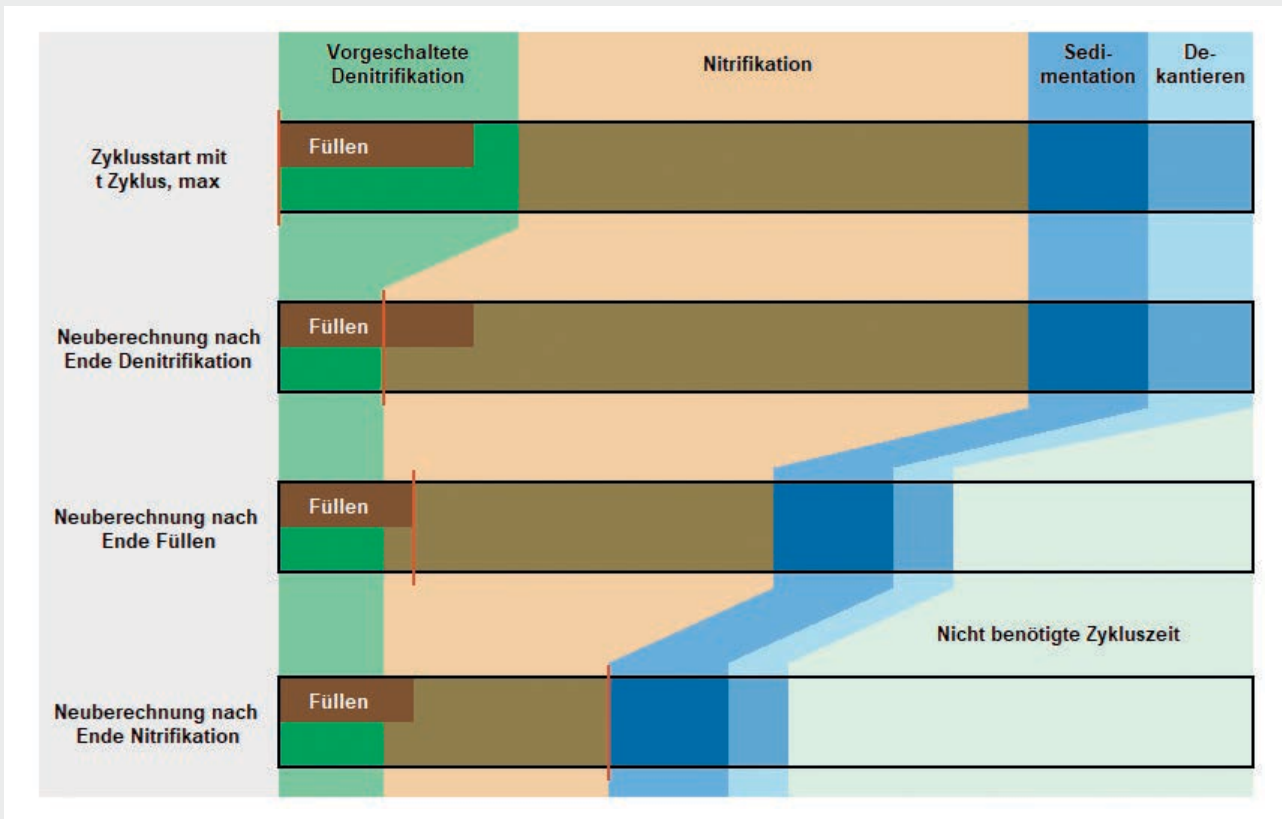


Fig. 2 SBR-Zyklus mit den Zyklus-Neuberechnungen nach den Phasen Denitrifikation, Füllen und Nitrifikation.

der Befüllung gemäss unterstehender Gleichung berechnet, wobei  $Q_{Dekantieren, Mittel}$  für jeden Zyklus laufend aus den vergangenen Dekantierphasen ermittelt wird:

$$t_{Dekantieren} = (h - h_{min}) * A_{SBR} / Q_{Dekantieren, Mittel} \quad (5)$$

Die Sedimentierdauer  $t_{Sedimentieren}$  wird vom Betrieb entsprechend der aktuellen bzw. saisonalen Schlammigenschaften (Absetzverhalten) manuell definiert (z.B. 01:00 hh:mm). Der Zyklusschritt Sedimentation wird also noch nicht dynamisch geregelt und birgt Optimierungspotenzial (s. Kap. Ausblick). Daraus lässt sich die maximale Abbauzeit  $t_{Abbau, max}$  des jeweiligen Zyklus berechnen:

$$t_{Abbau, max} = t_{Zyklus} - t_{Sedimentieren} - t_{Dekantieren} \quad (6)$$

Folglich ergeben sich für die beiden Betriebsmodi *Trockenwetter* und *Regenwetter* die in *Figur 1* gezeigten SBR-Zyklen, dargestellt mit den maximal möglichen Zyklus- und Phasenzeiten. Oftmals endet ein SBR-Teilprozess aufgrund der Regelkriterien schon früher, wodurch die nächste Phase aktiviert und der Zyklus neu berechnet wird (*Fig. 2*).

### SBR-ZYKLUSREGELUNG MITTELS NITRATGRADIENT

Im Gegensatz zu konventionellen Biologiestufen auf ARA bieten SBR-Verfahren eine erweiterte Möglichkeit zur Prozessregelung, da die im SBR vorhandenen Sensoren Konzentrationsverläufe

der Abbauprozesse aufzeichnen. Dadurch können nicht nur die Absolutwerte der Sensoren zur Regelung verwendet werden (z.B. Nitrifikationsende bei Unterschreitung einer definierten Ammoniumkonzentration), sondern auch deren Gradienten bzw. Messwertänderungen pro Zeit. In der Praxis hat sich gezeigt, dass die Gradientenmethode eine stabile Regelung erlaubt und gewisse Vorteile hat. Beispielsweise wird die Gradientenregelung durch einen sehr oft auftretenden Sonden-Offset nicht direkt tangiert, im Gegensatz zur Regelung mit Absolutwerten. Für den SBR-Zyklus ergibt sich zudem die Möglichkeit, sowohl die *Denitrifikation* als auch die *Nitrifikation* mittels Nitratgradient zu regeln. In der Denitrifikationsphase ist der Nitratgradient negativ (Nitratabnahme), während er bei der *Nitrifikation* positiv wird (Nitratzunahme):

$$Nitratgradient = \frac{Nitrat_t - Nitrat_{t-\Delta t}}{\Delta t} \left( \frac{mg}{L * h} \right) \quad (7)$$

Gegen Ende der Abbauprozesse nähert sich der Nitratgradient dem Wert Null an, was zur Regelung der Prozessschritte verwendet wird.

#### ZYKLUSSCHRITT VORGESCHALTETE DENITRIFIKATION

Optimierungsziel  
Maximale Stickstoffelimination

Die *Vorgeschaltete Denitrifikation* ist nur bei *Trockenwetter* Teil des SBR-Zyklus (*Fig. 1*). Sie findet zu Beginn des Zyklus während der Befüllung statt. Während der *Denitrifikation* wird der SBR mittels vier Vertikalrührwerken gerührt. Aus dem Vor-

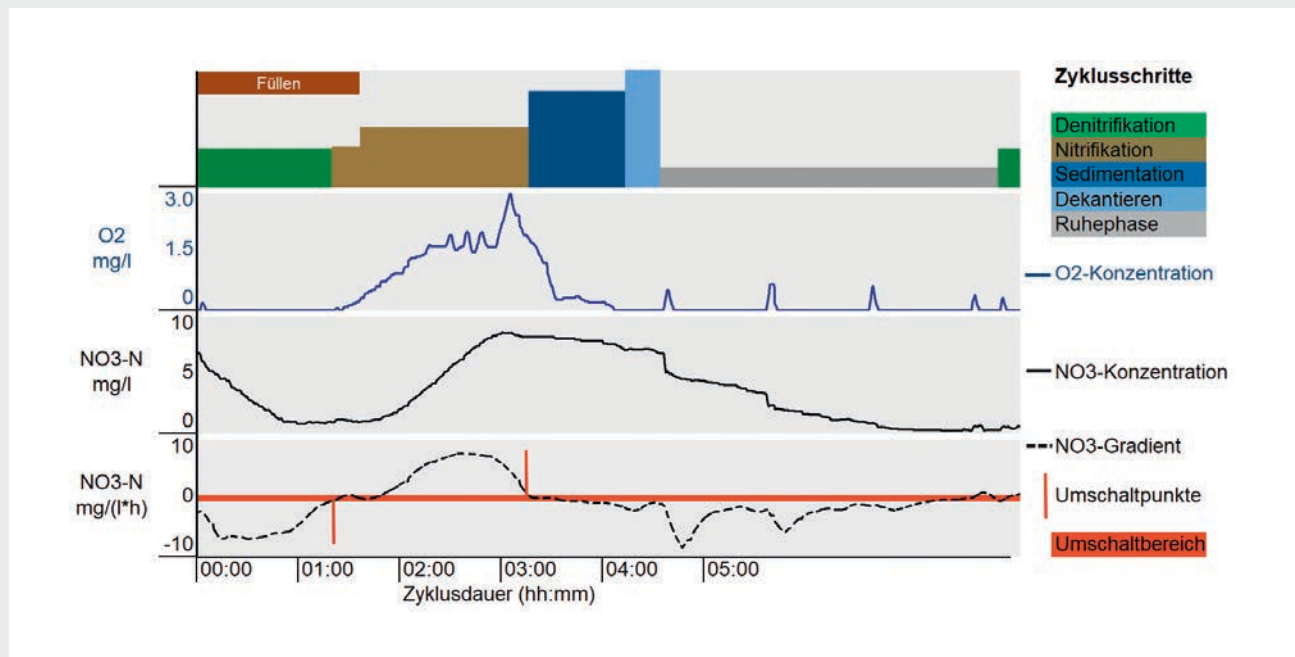


Fig. 3 Darstellung der SBR-Zyklusregelung mittels Nitratgradient (linker Teil), Nitratabbau in der Ruhephase (rechter Teil).

zyklus verbleiben grosse Mengen gelösten Nitrats im SBR. Mit der Zuführung von organisch reichhaltigem Abwasser kann dieses Nitrat durch heterotrophe Organismen zu elementarem Stickstoff  $N_2$  reduziert werden.

Auf der ARA Birs ist die *Denitrifikation* nitrat-limitiert, sodass das Nitrat in der Regel gegen Null abgebaut wird (Fig. 3, links). Da unmittelbar beim Zyklusstart nicht immer ein Nitratgradient vorliegt, wird der Nitratgradient erst nach einer parametrierbaren Zeit (z. B. 00:15 hh:mm) aktiviert. Folglich ergibt sich immer eine minimale Denitrifikationsdauer. Während der aktiven *Denitrifikation* liegt ein negativer Nitratgradient vor und der Zyklusschritt *Vorgeschaltete Denitrifikation* wird so lange fortgeführt, bis sich der Nitratgradient dem Nullwert annähert. Sobald der Nitratgradient einen parametrierbaren Umschaltzeitpunkt (Fig. 3, unterer Umschaltzeitpunkt des roten Umschaltbereichs) überschritten hat, geht der SBR in den Zyklusschritt *Nitrifikation* über.

#### Denitrifikation in der Ruhephase

Im Schlammbett kommt es aufgrund der relativ hohen Denitrifikationsaktivität rasch zu anaeroben Bedingungen. Auf der ARA Birs wurde wiederholt beobachtet, dass lange *Ruhephasen* vor allem im Winter tendenziell zu einer Verschlechterung der Schlammeigenschaften (Fadenbakterien) führen. Um dem entgegenzuwirken, werden die SBR im Winterbetrieb in den *Ruhephasen* stündlich während

drei Minuten belüftet. Durch diese Belüftungsstösse kommt der Belebtschlamm in Kontakt mit Nitrat, wodurch die *Denitrifikation* wieder stattfinden kann. Fig. 3 zeigt, dass im Winterbetrieb ein beachtlicher Anteil des Nitratabbaus bereits während der sogenannten *Ruhephase* stattfindet. Auch im Sommerbetrieb ohne Belüftung findet ein gewisser Anteil des Nitratabbaus in der *Ruhephase* statt. Durch eine Stossbelüftung in der *Ruhephase* könnte bei Bedarf ganzjährig die Denitrifikationsleistung verbessert werden (besonders in ARA, die nicht nitrat-limitiert sind).

#### ZYKLUSSCHRITT NITRIFIKATION

##### Optimierungsziele

Abbau organischer Substanzen, Nitratabbau, Ammoniumabbau

Während der *Nitrifikation* wird unter Sauerstoffverbrauch einerseits Ammonium  $NH_4^+$  zu Nitrit  $NO_2^-$  und weiter zu Nitrat  $NO_3^-$  oxidiert und andererseits werden organische Verbindungen abgebaut.

Die *Nitrifikation* beginnt bei *Regenwetter* mit dem Zyklusstart und bei *Trockenwetter* nach dem Ende der *Vorgeschalteten Denitrifikation*. Da diese nitrat-limitiert und folglich oftmals relativ rasch abgeschlossen ist, beginnt die *Nitrifikation* entsprechend häufig noch während der Befüllung. Mit dem anfallenden Abwasser gelangt bis zum Ende der Befüllung stetig gelöstes Ammonium in den Reak-

tor. Mit der Umwandlung des Ammonium zu Nitrat resultiert ein positiver Nitratgradient (Fig. 3).

##### Sauerstoffeintrag und Gebläseregelung

Für den aeroben Abbau organischer Substanzen sowie für die *Nitrifikation* wird die von den Gebläsen gelieferte Luft mittels bodennaher Tellerbelüfter feinblasig in den Reaktor eingeblasen. Jedem SBR ist ein Gebläse zugeordnet, dessen Leistung mittels Sauerstoffsonde im SBR stufenweise geregelt wird.

Im SBR-Verfahren variiert der Sauerstoffbedarf innerhalb eines Zyklus sehr stark, was eine Herausforderung für die Auslegung der Gebläse ist. Auf der ARA Birs übersteigt der biologische Sauerstoffbedarf bei Zyklusbeginn den Sauerstoffeintrag (langsamer Anstieg von  $O_2$ , Fig. 3). Gegen Zyklusende unterschreitet der biologische Sauerstoffbedarf den minimal möglichen Sauerstoffeintrag, was zu einem zeitweisen EIN/AUS-Betrieb der Gebläse führen kann.

##### Nitrifikationsende

Der Zyklusschritt *Nitrifikation* wird entweder zugunsten der Hydraulik abgebrochen ( $t_{\text{Abbau,max}}$  erreicht<sup>2</sup>) oder, wenn folgende Bedingungen kumulativ erfüllt sind, abgeschlossen (Fig. 3):

- Minimaldauer der *Nitrifikation* (z. B. 01:00 hh:mm) erreicht.

<sup>2</sup> Sind genügend SBR in der Ruhephase, wird die *Nitrifikation* weitergeführt (verlängerter Zyklus).

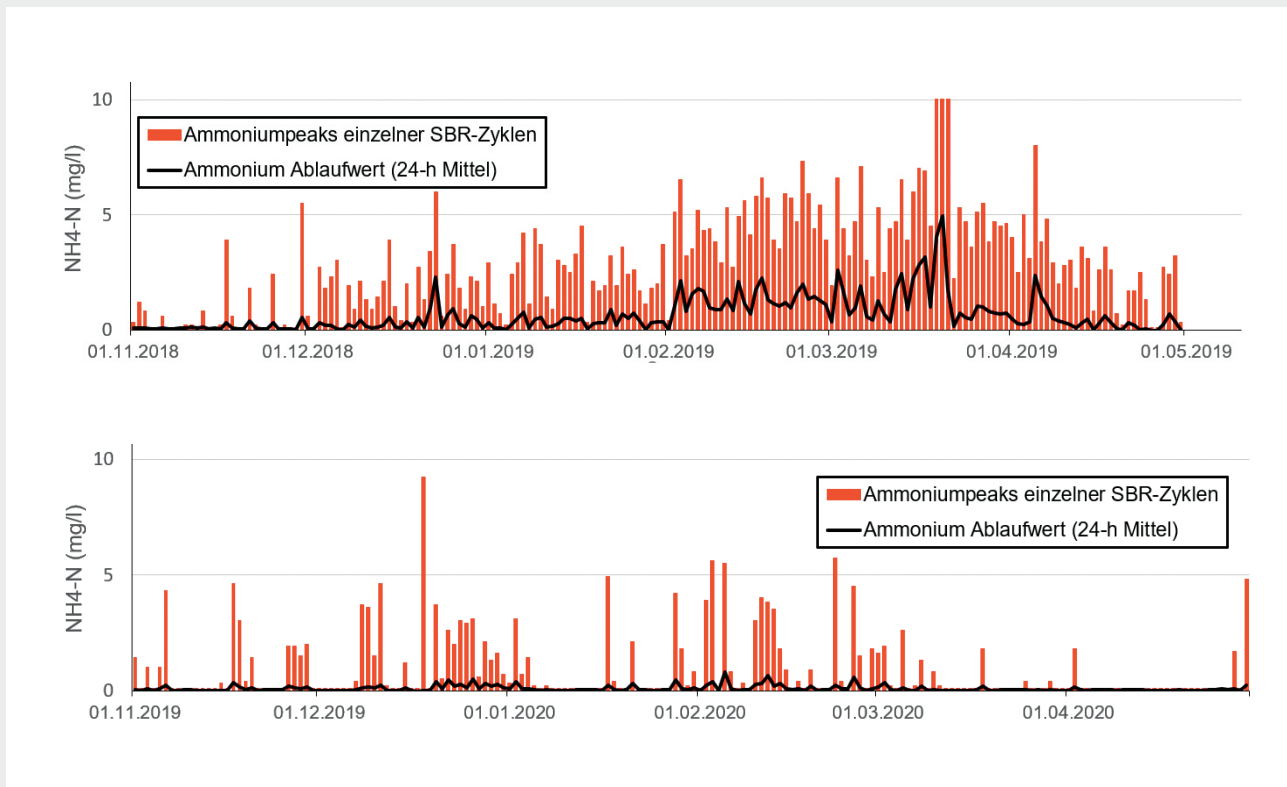


Fig. 4 Ammoniumkonzentration im Ablauf der ARA Birs (Oben: Winter 2018/2019, unten: Winter 2019/2020 mit Nitratgradienten-Regelung).

- Sauerstoff-Sollwert für Gebläse AUS (z. B. 2,8 mg/l O<sub>2</sub>) überschritten.
- Parametrierbarer Wert des Nitrat-Gradienten unterschritten (z. B. < 0,5 mg N / (l\*h), Fig. 3, oberer Umschaltbereichs).
- Optional: Sobald obige Kriterien erfüllt sind, folgt zusätzlich eine nachgeschaltete, fixe Belüftungszeit als Sicherheit (z. B. 00:20 hh:mm).

Im Winter kann es aufgrund der langsamen biologischen Prozesse trotz minimaler Gebläseleistung vorkommen, dass die Sauerstoffkonzentration im SBR zunimmt, obwohl die *Nitrifikation* noch nicht vollständig abgeschlossen ist. In der Vergangenheit wurde das Nitrifikationsende nur mittels O<sub>2</sub>-Anstieg bestimmt, wobei es selbst mit der nachgeschalteten fixen Belüftungszeit (Sicherheitszeit) im Winter zu Ammoniumpeaks im Ablauf kam. Wie *Figur 4* zeigt, wurde das Problem durch die Implementierung des Nitrat-Gradienten deutlich entschärft.

#### REDUKTION DER AMMONIUMPEAKS IM ABLAUF

Nach ca. einjähriger Testphase verschiedener Sensoren<sup>3</sup> (NO<sub>3,Optisch</sub>; NO<sub>3,ISE</sub>; NH<sub>4,ISE</sub>; pH) im SBR 1 wurden im September 2019 in allen fünf SBR optische Nitratsonden zur Zyklusregelung installiert. Dadurch

konnten die winterlichen Ammonium-Peaks im Ablauf bereits deutlich reduziert werden (*Fig. 4*), wobei die verbleibenden Peaks insbesondere beim Umschalten von *Trocken-* auf *Regenwetter* auftraten (sehr kurze Zyklen). Für die ARA Birs mit dem Rhein als Vorfluter gilt kein Ammoniumgrenzwert. Die 24-h-Sammelproben des Ablaufs liegen in der Regel deutlich unter 1 mg/l Ammonium-N (*Fig. 4*). Grundsätzlich strebt die in diesem Artikel beschriebene SBR-Regelung eine vollständige Nitrifikation an, sodass sie als Referenz für Anlagen mit kleinerem Vorfluter dienen kann.

#### ÜBERGEORDNETE STEUERUNG

Auf der ARA Birs werden die fünf SBR mittels sogenannter Synchronisationspunkte koordiniert [4, 6]. Bei den Synchronisationspunkten handelt es sich um den *Füll-* bzw. Zyklusbeginn sowie den Beginn des Zyklusschritts *Dekantieren*. Folglich werden die genannten Zyklusschritte von den SBR nacheinander ausgeführt. Dadurch können die Ablaufmessungen (NH<sub>4</sub>, NO<sub>2</sub>, Trübung, PO<sub>4</sub>) dem jeweiligen SBR zugeordnet und die Fällmitteldosierung bedarfsgerecht je Reaktor angepasst werden. Durch die variable Reihenfolge der Reaktorbeschriftung kann bei stark unterschiedlichen

Zykluszeiten ein SBR einen anderen überholen.

#### UMSCHALTEN VON TROCKENWETTER AUF REGENWETTER

Die übergeordnete Steuerung ist unter anderem für die Koordination der fünf Reaktoren zuständig, sodass immer ein SBR zur Aufnahme von anfallendem Abwasser bereitsteht. Dabei ist das Umschalten vom Betriebsmodus *Trockenwetter* in den Betriebsmodus *Regenwetter* besonders für diejenigen SBR-Anlagen eine Herausforderung, die bei *Trockenwetter* mit hohem Füllstand betrieben werden (*Tab. 2*). Die hydraulischen Reserven werden geschaffen, indem sowohl die SBR-Vorlage als auch die in der *Ruhephase* befindlichen SBR auf das Dekantierniveau *Regenwetter* nachdekantiert werden (*Fig. 5*). Wird der Belebtschlamm in der *Ruhephase* regelmäßig aufgewirbelt (s. *Kap. Denitrifikation in der Ruhephase*), muss dem *Nachdekantieren* eine *Sedimentation* vorgeschaltet werden, was eine zusätzliche Vorlaufzeit erfordert. Dieser Vorgang des Nachdekantierens zur Vorbereitung auf ein Regenereignis nimmt, je nach Anzahl SBR, eine gewisse Zeit (ca. 00:25 bis zu 01:25 hh:mm für den ersten SBR) in Anspruch.

<sup>3</sup> Weitere Auskünfte zu den getesteten Sensoren und deren Wartung werden auf Anfrage erteilt.



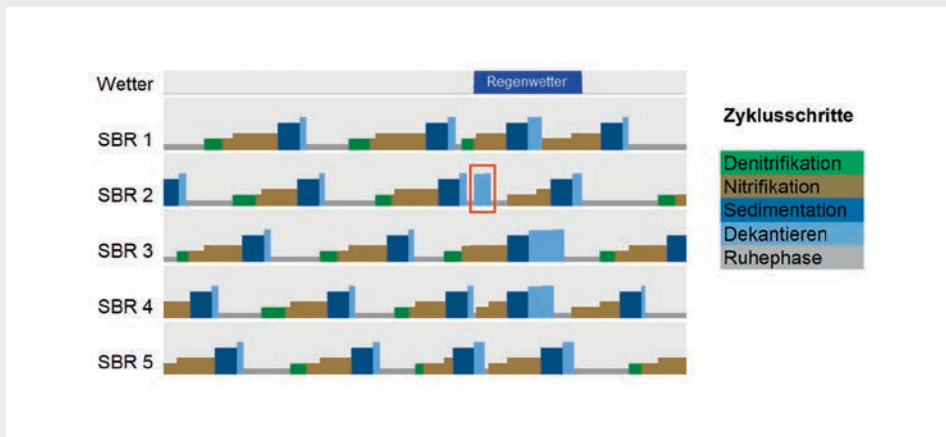


Fig. 5 Verdichtung der SBR-Zyklen beim Umschalten vom Betriebsmodus Trocken- auf Regenwetter. Die in der Ruhephase stehenden SBR schaffen die hydraulischen Kapazitäten, indem sie auf das Dekantier-niveau Regenwetter nachdekantieren (SBR 2).

Idealerweise hat die ARA aufgrund eines Frühindikators eine Vorlaufzeit von zwei bis vier Stunden zur Vorbereitung auf ein Regenereignis [6]. Im Kanalnetz des Einzugsgebiets der ARA Birs sind diverse Mischwasserbecken mit Abflussmessungen vorhanden. Für ausgewählte Abflussmessungen ist ein Umschaltwert definiert, bei dessen Überschreitung die ARA auf den Betriebsmodus *Regenwetter* umschaltet. Für die ARA Birs hat sich jedoch gezeigt, dass die mittels Abflussmessungen im Netz gewonnene Vorlaufzeit zur Schaffung hydraulischer Reserven auf der ARA zu kurz ist (d.h. deutlich weniger als 2–4 h):

- Bei lokalen Niederschlägen in einem von der ARA weit entfernten Teileinzugsgebiet kann die Umschaltung mittels Abflussmessung eine genügende Vorlaufzeit bringen.
- Bei grossräumigen Niederschlägen im gesamten Einzugsgebiet oder ARA-nahen Niederschlägen bringen die Abflussmessungen der einzelnen Teil-Einzugsgebiete jedoch keine genügende Vorlaufzeit für die ARA.

Insgesamt sind Abflussmessungen als Frühindikator ungenügend. Um im Lastfall genügend Vorlaufzeit zum Umschalten der SBR-Anlage auf *Regenwetter* zu gewährleisten, wurde eine Niederschlagsprognose implementiert.

#### WETTERPROGNOSE MITTELS NIEDERSCHLAGSRADAR

In der Siedlungsentwässerung gibt es verschiedene Einsatzgebiete für das Niederschlagsradar. So können die Radardaten zur Kalibrierung eines Kanalnetzmodells verwendet oder als Prog-

noseparameter in ein Prozessleitsystem implementiert werden [7]. Insbesondere für grössere Einzugsgebiete ist es möglich, eine räumliche Niederschlagsverteilung mittels Radardaten abzubilden. Für das langgezogene Einzugsgebiet der ARA Birs (> 10 km Länge) wurden daher sechs über das Einzugsgebiet verteilte Standorte definiert, für welche Radardaten abgegriffen und ins Prozessleitsystem übermittelt werden. Dabei werden jeweils für drei Stunden Vorlaufzeit die stündlich prognostizierte Niederschlagswahrscheinlichkeit (in %) und -menge (in mm) aufgezeichnet (Fig. 6, ganz links). Diese beiden Werte werden multipliziert, sodass für jede Stunde ein Niederschlagsrisiko (in %mm) resultiert (Fig. 6). Das Niederschlagsrisiko wird über die nächsten drei Stunden kumuliert und mit einem definierten Umschaltwert (in %mm) verglichen (Fig. 6). Sobald dieser Umschaltwert überschritten wird, wechselt die ARA auf den Betriebsmodus *Regenwetter* und die hydraulischen Kapazitäten werden geschaffen.

Niederschlagsprognosen auf Grundlage von Radardaten sind mit einer gewissen Unsicherheit behaftet. Die hier beschriebene Anwendung zur Sicherstellung der hydraulischen Kapazitäten bedeutet, dass im Zweifelsfall tendenziell eher einmal zu früh in den Betriebsmodus *Regenwetter* umgeschaltet wird als zu spät.

#### AUSBLICK

##### WEITERE REDUKTION DER AMMONIUM-PEAKS IM ABLAUF

Mit der Implementierung der Wetterprognose können die SBR vor einem Regenereignis frühzeitig abgesenkt werden, was

sowohl die hydraulische Kapazität der ARA als auch die Zykluszeit des SBR (längere Fülldauer) erhöht. Folglich werden ab dem Winter 2020/2021 nochmals deutlich weniger Ammoniumpeaks (Fig. 4) im Ablauf erwartet.

Tendenziell kann eine verbesserte Frachtverteilung auf die einzelnen SBR helfen, im Lastfall die vollständige Nitrifikation einzuhalten. Insbesondere für SBR-Anlagen mit kleinem Vorfluter ist dazu eine Ammoniummessung im Zulauf dringend zu empfehlen.

#### WEITERES POTENZIAL DER WETTER-PROGNOSE

Mischwassermanagement im Netz

Mittels Niederschlagsprognose können im Netz frühzeitig zusätzliche Kapazitäten geschaffen werden (z.B. Absenkung der Niveaus in Pumpwerken). Zudem kann nach einem Regenereignis die Entleerung der Mischwasserbecken vorausschauend gesteuert werden. Dadurch lässt sich verhindern, dass im Falle eines erneuten Regenereignisses das zuvor gefangene, stark belastete Abwasser (Spül-toss aus erstem Regenereignis) nach dem Entleeren weiter unten im Netz entlastet.

Umnutzen einer Vorklärung als zusätzliches Mischwasserbecken

Für ARA mit mehrstrassiger Vorklärung könnte frühzeitig eine Vorklärung abgesenkt werden, um die darin enthaltene Ammoniumfracht abzarbeiten und zusätzliches Volumen für den erhöhten Abwasseranfall beim Regenereignis zu schaffen.

Faulwassermanagement

Die Faulwasserdosierung kann frühzeitig dahingehend gesteuert bzw. ausgesetzt werden, dass die Stickstofffrachten beim Umschalten von *Trockenwetter* auf *Regenwetter* geringer ausfallen.

#### DYNAMISCHE SBR-ZYKLUSREGELUNG ARA BIRS

Energieeffizienter Sauerstoffeintrag

Um die SBR-Zyklen möglichst kurz zu halten (hydraulische Sicherheit), wurden die Reaktoren bis anhin bei Zyklusbeginn mit grosser Luftmenge versorgt, damit die Abbauprozesse möglichst schnell abgeschlossen sind. Dieser Sauerstoffeintrag bei Zyklusbeginn ist energieintensiv und wenig effizient [6]: Einerseits wird er

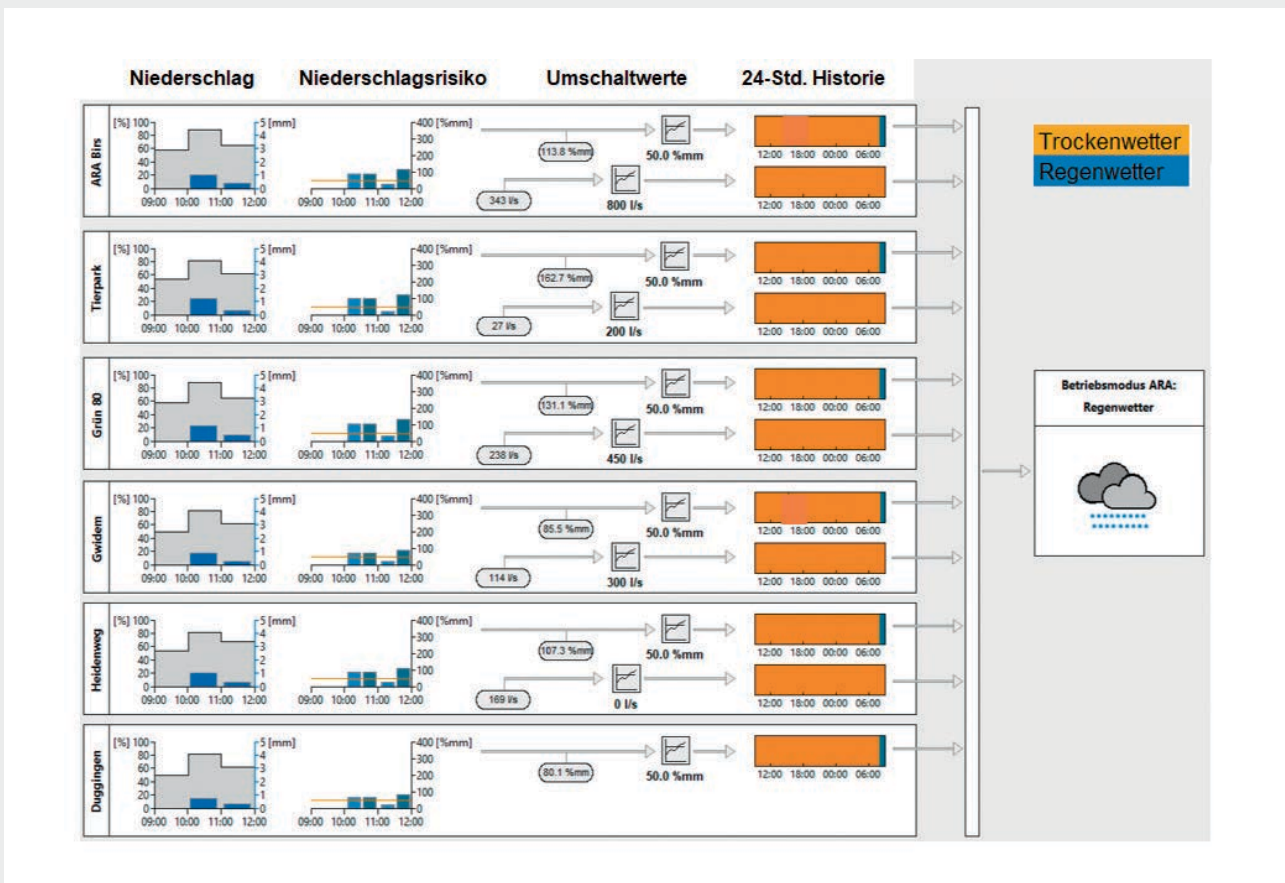


Fig. 6 Proxev-Plus®-Darstellung der Wetterprognose für die ARA Birs: Wird ein zu hohes Niederschlagsrisiko (%mm) oder ein zu hoher Abfluss (l/s) an mindestens einem von sechs Standorten im Einzugsgebiet der ARA Birs prognostiziert bzw. gemessen, schaltet die ARA auf den Betriebsmodus Regenwetter.

durch oberflächenaktive Substanzen behindert (tiefer  $\alpha$ -Wert) und andererseits verringert sich bei hoher Luftmenge aufgrund der starken Dehnung der Membranen die spezifische Oberfläche der Bläschen. Mit der Implementierung der Wetterprognose kann der Sauerstoffeintrag bei *Trockenwetter* optimiert werden, solange die Prognose genügend Zeitreserven voraussagt bzw. genügend SBR in der *Ruhephase* bereitstehen. In diesem Fall kann bei Zyklusbeginn mit geringerer Luftmenge und höherer Effizienz belüftet werden, was in etwas längeren Zyklen resultiert.

#### Zyklusschritt Sedimentieren

Auf der ARA Birs werden die Zyklusschritte *Denitrifikation*, *Nitrifikation* und *Dekantieren* dynamisch geregelt. Die Dauer des Zyklusschritts *Sedimentation* wird noch manuell vorgegeben und könnte mit einer stabilen Schlammspiegelmessung weiter optimiert werden.

#### ARA BIRS: ERHÖHUNG $Q_{ARA,MAX}$

Auf der ARA Birs gab es in der Vergangenheit im Lastfall *Regenwetter* zwei (hydraulische) Engpässe. Einerseits fielen nach längeren Trockenperioden teils grosse Mengen Rechengut an, sodass die zweistrassige Rechenanlage an die Kapazitätsgrenze stiess. Andererseits kamen die SBR beim Umschalten von *Trocken-* auf *Regenwetter* an ihre Kapazitätsgrenzen.

Im Herbst 2020 wurde die Rechenanlage der ARA Birs auf einen dreistrassigen Betrieb erweitert. Mit der Implementierung der Wetterprognose wird die benötigte Vorlaufzeit zur Schaffung

hydraulischer Reserven beim Umschalten von *Trocken-* auf *Regenwetter* geschaffen. Folglich ist vorgesehen, die maximale Zulaufmenge der ARA von momentan 900 l/s zu erhöhen, was eine weitere Verbesserung des Mischwassermanagements im Einzugsgebiet und somit für den Gewässerschutz bedeutet.

#### BIBLIOGRAPHIE

- [1] Breitenstein, M.; Kirchofer, A. (2011): Erfolgskontrolle BirsVital – Untersuchung 2010 – Fischfauna und Gewässermorphologie. Hrsg. Bau- und Umweltschutzdirektion des Kantons Basel-Landschaft. Amt für Umweltschutz und Energie
- [2] Bau- und Umweltschutzdirektion (2009): Reinach: Birsrevitalisierung im Bereich der ehemaligen Abwasserreinigungsanlage (ARA) Birs 1 abgeschlossen. <https://www.baselland.ch/politik-und-behorden/direktionen/bau-und-umweltschutzdirektion/medienmitteilungen/reinach-birsrevitalisierung-im-bereich-der>
- [3] Porträt: ARA Birs (2018). Aqua & Gas Nr. 9 (S. 5)
- [4] Steinemann, R.; Koch, G. (2016): Dynamische SBR-Regelung – Steuer- und Regelkonzept für die Automatisierung von Belebungsanlagen im Aufstau-Betrieb. Aqua & Gas Nr. 7/8, (S.64–72)
- [5] Hug, T.; Wettstein, M. (2018): Prognosebasierte stufenlose dynamische SBR-Steuerung (ProDyn) – Modellbasierte Entwicklung einer Steuerung/Regelung für die ARA Oberengadin. Aqua & Gas Nr. 6, (S. 85–92)
- [6] Braun, D.; Weber, P.; von Känel, L. (2019): Dynamische Regelung von Abwasserreinigungsanlagen – Leitfaden zur dynamischen Prozessregelung und Prozessüberwachung. Hrsg. Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute (VSA)
- [7] Moser, R.; Möhl, M.; Zai, P. (2019): Steigerung der Energieeffizienz einer ARA – Fallbeispiel mit Wetterdaten: ARA Bad Ragaz. Aqua & Gas Nr. 9, (S. 52–56)