

# POTENZIAL DER INTEGRALEN BEWIRTSCHAFTUNG

## INTEGRALE BETRACHTUNG VON KANALNETZ UND ARA: EIN EMPIRISCHER VERGLEICH

**Hochaufgelöste und zuverlässige, sprich überprüfte, Messdaten sind das A und O von Optimierungsmassnahmen von Entwässerungssystemen. Sei es, um bestehende Defizite zu identifizieren, das Potenzial von Optimierungsmassnahmen zu ermitteln, Optimierungsvarianten abzuleiten und umzusetzen oder, last, but not least, den Erfolg umgesetzter Massnahmen zu überprüfen. Anhand von fünf Einzugsgebieten wurden die Potenziale von fünf Optimierungsstufen bestimmt und verglichen.**

*Markus Gresch\*, Adrian Sigrist,  
Hunziker Betatech AG*

### RÉSUMÉ

#### POTENTIEL DE GESTION INTÉGRALE D'UN RÉSEAU DE CANAUX ET DE STATIONS D'ÉPURATION: UNE COMPARAISON EMPIRIQUE

Les évolutions dans l'équipement métrologique des systèmes d'évacuation des eaux permettent d'identifier les déficits existants lors du réglage du système et de déterminer le potentiel des mesures d'optimisation. Des données de mesure fiables sont en outre indispensables pour l'exploitation réglée en temps réel des systèmes d'évacuation des eaux. Les optimisations du système et le réglage en temps réel peuvent avoir lieu à différents niveaux. Les potentiels de ces niveaux d'optimisation sont déterminés à l'aide d'analyses de données sur la base de cinq bassins versants considérés. L'accent est mis sur la minimisation des entrées d'eaux usées mixtes dans les cours d'eau. Mais la performance et les réserves hydrauliques des STEP et la sensibilité des cours d'eau sont également prises en compte. Bien que les cinq bassins versants soient très différents, tant par leur taille que par leur structure d'évacuation des eaux usées, les résultats offrent une image vraiment homogène. L'optimisation statique, qui peut p. ex. s'effectuer via une simulation à long terme, est une première étape essentielle dans l'optimisation. Dans les bassins versants considérés, un potentiel important réside dans l'amélioration de l'utilisation statique de la performance hydraulique de la STEP. L'exploitation de la STEP par temps de pluie, autant que possible

### EINLEITUNG

In den letzten Jahren hat sich die Ausrüstung der Entwässerungssysteme mit Messtechnik und Datenfernübertragung erheblich verbessert. Entsprechend häufiger werden Entwässerungssysteme mit flächendeckender Überwachung der Füllstände in den Speicherbauwerken und Überlaufdetektionen ausgerüstet. Mit der zentralen Datenspeicherung wurden gute Grundlagen geschaffen, um eine weitergehende Optimierung der Entwässerungssysteme vorzunehmen.

Die neue Qualität dieser weitergehenden Optimierung liegt insbesondere daran, dass dabei Messdaten verwendet werden können. Da Messdaten von Sonderbauwerken der Siedlungsentwässerung leider häufig stark fehlerbehaftet sind [1], muss deren Güte erst mittels systematischer Plausibilisierung geprüft werden [2]. Mit den überprüften Messdaten lassen sich dann wertvolle Informationen über das tatsächliche Optimierungspotenzial ableiten. Die Analyse kann dabei ereignisbasiert über einzelne Regenereignisse oder auch statistisch über eine bestimmte Zeitperiode erfolgen.

Im Gegensatz zu rein simulationsgestützten Ansätzen können datenbasierte Optimierungen insbesondere Effekte von inhomogener Beregnung und den Stand der aktuellen Siedungs-

\* Kontakt: markus.gresch@hunziker-betatech.ch

entwicklung (Einwohner, Befestigungsgrade) besser abbilden. Auch weisen Niederschlags-Abfluss-Modelle aufgrund ihres bisherigen Anwendungsfokus für Starkniederschläge bei schwachen und mittleren Niederschlägen häufig systematische Fehler auf. Für die Optimierung des Gesamtsystems (in Bezug auf den Gewässerschutz) sind jedoch gerade diese Regenereignisse von grosser Bedeutung. Auch hier helfen messdatengestützte Ansätze, um das reale Potenzial von Systemoptimierungen zu eruieren.

Diese Optimierungen können auf unterschiedlichen Stufen vollzogen werden. Nachfolgend werden verschiedene dieser Optimierungsstufen beschrieben und diskutiert. Anhand von fünf betrachteten Einzugsgebieten werden die Potenziale dieser Optimierungsstufen bestimmt. Schliesslich wird versucht, auf dieser empirischen Grundlage Empfehlungen für Kanalnetzoptimierungen abzuleiten.

## FÜNF OPTIMIERUNGSTUFEN

### 1. STATISCHE OPTIMIERUNG DER EINSTELLUNG DER SONDERBAUWERKE

Diese Art der Optimierung erfolgt in der Schweiz typischerweise im Rahmen der Generellen Entwässerungsplanung. So wird einerseits die Auslastung der Abwasseranlagen bei Starkregen berechnet, andererseits wird mittels Langzeitsimulationen das Überlaufverhalten von Regenüberläufen und Regenüberlaufbecken untersucht, zudem wird mittels Anpassung der Weiterleitungsmengen (oder anderer beeinflussbarer Parameter) das System optimiert. Die Zielgrösse der Optimierung ist dabei typischerweise eine Mischung von Emissionskriterien (minimale Fracht im Gewässer) und Immissionskriterien (Einhalten der Qualitätsziele in den von Überläufen betroffenen Gewässerabschnitten).

### 2. STATISCHE AUSNUTZUNG VON $Q_{MAX, ARA}$

Analysen von Zulaufdaten von Abwasserreinigungsanlagen bei Regenwetter zeigen oft, dass die Dimensionierungswassermenge der ARA nicht oder erst bei länger anhaltenden Regenereignissen erreicht wird. Dies führt dazu, dass das bei Regen gereinigte Abwasservolumen nicht dem Maximum entspricht und dafür die entlasteten Mischabwasservolumen entsprechend grösser sind. Eine Systemoptimierung besteht darin, dass bei Regenwetter die ARA möglichst früh und

möglichst lange auf der Wassermenge betrieben wird, für die sie ausgelegt ist.

### 3. KOORDINIERTER BECKENENTLEERUNG

In Abwassersystemen mit Speicherbauwerken, die in Serie angeordnet sind, entsteht am Ende eines Regenereignisses oft folgende Situation: Während oberliegende Speicherbauwerke entleert werden, entlasten die untenliegenden Anlagen noch immer. Dies führt im Extremfall dazu, dass in Bezug auf die Speicherung von Mischabwasser nur das Volumen des zuunterst liegenden Regenbeckens tatsächlich wirksam ist, und die obenliegenden Regenüberlaufbecken nur zu einer Überlaufverlagerung systemabwärts beitragen. Eine Optimierung besteht darin, die Beckenentleerung so aufeinander abzustimmen, dass entleerungsbedingte Überläufe unterhalb nicht auftreten können. Dies ist insbesondere in Systemen mit Speicherbauwerken im Nebenschluss einfach zu realisieren.

### 4. DYNAMISCHE STEUERUNG DER SPEICHERBAUWERKE IM NETZ [3, 4]

Die dynamische Steuerung der Speicherbauwerke stellt eine weitergehende und komplexere Systemoptimierung dar. Dabei wird durch Anpassung der Weiterleitungsmengen und durch eine koordinierte Entleerung der Speicherbauwerke sowohl die auf der ARA bei Regen gereinigte Wassermenge maximiert als auch die verfügbaren Speichervolumen der Regenbecken untereinander soweit möglich ausgenutzt. Im Weiteren ist auch eine koordinierte Be-

ckenentleerung Teil dieser Optimierung. Sie ist damit eine Weiterentwicklung der Optimierungsstufe 3.

### 5. NUTZUNG VORHANDENER HYDRAULISCHER RESERVEN DER ARA [5, 6]

Abwasserreinigungsanlagen weisen unterschiedliche betriebliche Reserven auf, die auch für die weitergehende Behandlung von Mischabwasser nutzbar gemacht werden können. Voraussetzung ist, dass die ARA die zusätzlichen Wassermengen hydraulisch und verfahrenstechnisch verarbeiten kann. Diese Reserven sind anlagenspezifisch. Verfahrenstechnische Reserven können dabei ganzjährig oder zumindest saisonal (wärmere Jahreshälfte) aktiviert werden. Die Optimierung besteht darin, die hydraulische Kapazität, die immer oder zeitweise höher als die Dimensionierungswassermenge ist, für eine zusätzliche Mischabwasserbehandlung zu nutzen.

Die *Figur 1* zeigt ein Modellsystem, das für alle fünf betrachteten Einzugsgebiete sinngemäss angewendet werden kann und ordnet die Optimierungsstufen zu. Nicht betrachtet wurden spezifischere Massnahmen wie z.B. Schmutzwasserspeicherung in Teilsystemen oder bei schmutzfrachtrelevanten Industriebetrieben oder prognoseorientierte Bewirtschaftungsansätze, die Wetterprognosedaten aktiv und direkt in die Systembewirtschaftung einbeziehen. Um eine Vergleichbarkeit der Optimierungsstufen zwischen den Einzugsgebieten zu

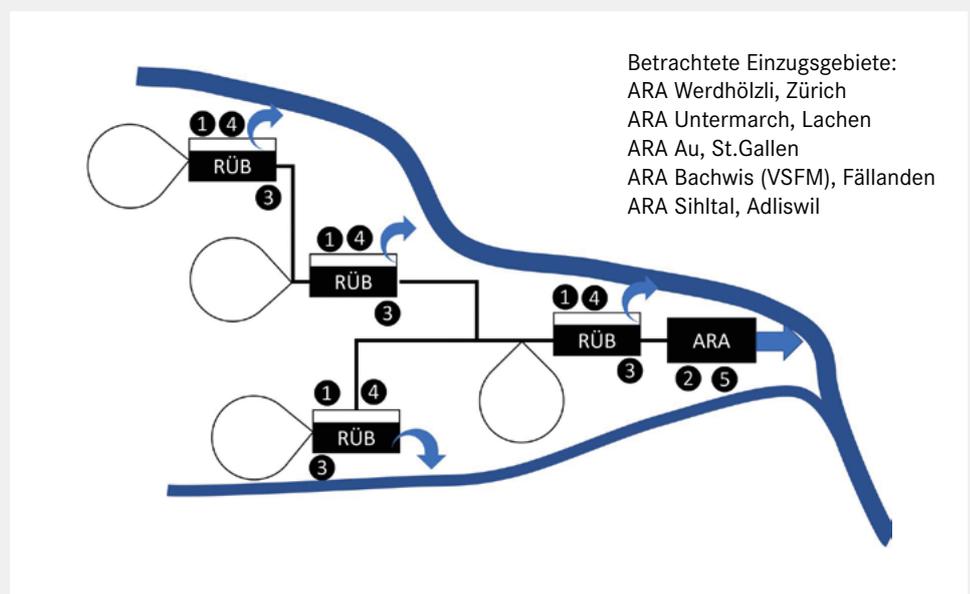


Fig. 1 Modellsystem, das für den Vergleich der Optimierungsstufen herangezogen wird. Die Nummern beziehen sich auf die hier verwendeten Optimierungsstufen.

Optimierungsstufe	Methode der Potenzialermittlung
<b>1. Statische Optimierung der Einstellung der Sonderbauwerke</b>	Langzeitsimulation (typischerweise 10–20 Jahre) für den Istzustand mit einem hydrologischen Modell. Diese Berechnungen wurden für die verwendeten Gebiete im Rahmen der 1. Generation GEP erstellt und die Massnahmen wurden umgesetzt. Das statisch optimierte System stellt für die weiteren Schritte den Ausgangszustand dar. Dieser Zustand berücksichtigt auch die unterschiedliche Empfindlichkeit der Gewässer.
<b>2. Statische Ausnutzung von <math>Q_{\max, ARA}</math></b>	Datenanalyse der Zulaufdaten ARA unter Berücksichtigung von Überlaufereignissen im Einzugsgebiet (Fig. 2).
<b>3. Koordinierte Beckenentleerung</b>	Datenanalyse der Entleerungsphasen der Speicherbauwerke im Hinblick auf die Überlaufereignisse unterliegender Speicherbauwerke (Fig. 3).
<b>4. Dynamische Steuerung der Speicherbauwerke im Netz</b>	Datenanalyse der verfügbaren Füllstanddaten und Überlaufdaten aller entsprechend ausgerüsteten Speicherbauwerke im Einzugsgebiet und Ermittlung von ungenutztem Speichervolumen bei Überlaufereignissen (Fig. 4). Für die Potenzialanalyse wurde bei dieser Optimierungsstufe die Ausnutzung von $Q_{\max, ARA}$ (s. Stufe 2) nicht eingerechnet.
<b>5. Nutzung vorhandener hydraulischer Reserven der ARA</b>	Analyse der hydraulischen Reserven der ARA aufgrund von Dimensionierungsgrundlagen und grosstechnischen Versuchen. Die Reserven können schliesslich in der Datenanalyse von Überlaufereignissen berücksichtigt werden, womit das Potenzial dieser Reserven für die Reduktion von Mischabwasserüberläufen quantifizierbar wird (Fig. 5).

Tab. 1 Optimierungsstufen und Methoden zur entsprechenden Potenzialermittlung

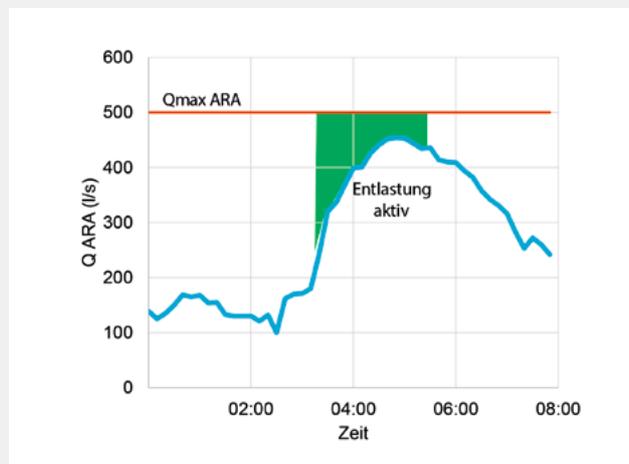


Fig. 2 Überlaufereignis, bei dem die ARA nicht die maximale Wassermenge erreicht hat. Der Überlauf fand bei Speicherbauwerken unmittelbar vor der ARA statt.

erreichen, wurde für alle Einzugsgebiete das identische Vorgehen bei der Potenzialermittlung gewählt. Nicht in allen Gebieten wurden alle Optimierungsstufen untersucht. In *Tabelle 1* wird die Methodik der Potenzialermittlung für jede Optimierungsstufe beschrieben.

## ERGEBNISSE

Für die fünf betrachteten Einzugsgebiete wurden unter Anwendung obiger Methoden (*Tab. 1*) das Potenzial der verschiedenen Bewirtschaftungsansätze untersucht. Nicht alle Optimierungsstufen konnten dabei bei allen fünf betrachteten Einzugsgebieten angewendet werden. Die in *Tabelle 2* präsentierten Resultate beziehen sich auf die im Einzugsgebiet entlasteten Wassermengen. 100% entspricht dabei der Situation nach statischer Optimierung der Einstellung der Sonderbauwerke für den Istzustand. Die Daten sind anonymisiert dargestellt.

## DISKUSSION UND FAZIT

Die Resultate zeigen mit Ausnahme der statischen Optimierung der Sonderbauwerkeinstellungen ein erstaunlich homogenes Bild. Werden die Resultate über alle betrachtenden Einzugsgebiete dargestellt, ergeben sich die in *Figur 6* dargestellten

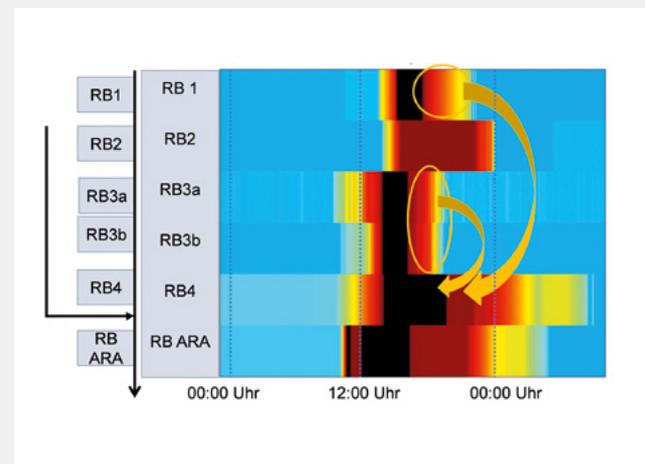


Fig. 3 Analyse der Entleerungsvorgänge von Regenbecken in einem Einzugsgebiet (blau: 0% Füllung, rot: 100% Füllung, schwarz: Überlauf). RB1, RB3a und RB3b werden entleert, während das auf dem gleichen Hauptstrang liegende Regenbecken RB4 entlastet.

Erkenntnisse. Die Resultate beziehen sich auf die im Einzugsgebiet entlasteten Wassermengen. Die bisherigen Erfahrungen zeigen, dass in Bezug auf die entlasteten Schmutzstofffrachten noch etwas höhere Reduktionen erwartet werden können.

Bei der statischen Optimierung der Einstellungen der Überlaufbauwerke zeigen sich die grössten Unterschiede, so bewegen sich die realisierbaren Optimierungen im Bereich von wenigen Prozent bis 20%. Darin zeigt sich auch die Relevanz, im Rahmen der Generellen Entwässerungsplanung die Abstimmung der Weiterleitmengen dieser Bauwerke zu untersuchen. Es zeigt aber auch, dass die Planung und Beurteilung weiterer Optimierungsschritte zwingend auf statisch gut eingestellten Kanalnetzen basieren muss. Andernfalls kann es zu Fehlinterpretationen und zu einer Überschätzung der Effekte von Optimierungsansätzen kommen.

In den betrachteten Einzugsgebieten liegt in der verbesserten statischen Nutzung der hydraulischen Leistungsfähigkeit der ARA ein grosses Potenzial. Der Betrieb der ARA bei Regenwetter möglichst auf der Dimensionierungswassermenge lässt sich zudem mit meist geringem Aufwand umsetzen. Verantwortlich für den Betrieb der Anlagen unterhalb der Dimensionierungswassermenge sind oft die sehr konservative Steuerung von Zulaufschiebern, die Pumpenstaffelungen beim Zulaufhebewerk

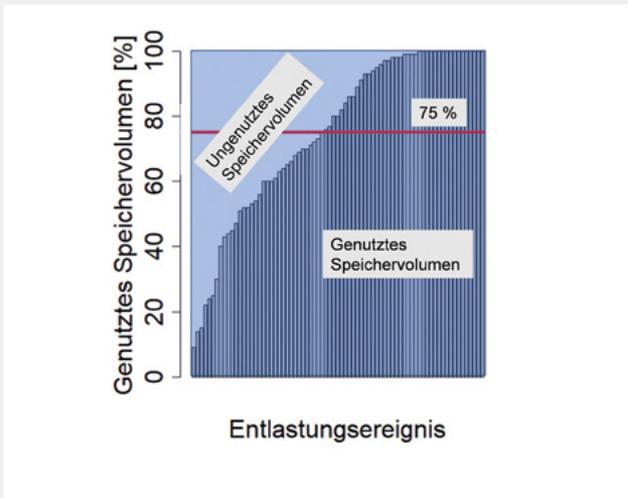


Fig. 4 Auswertung der Überlaufereignisse im Hinblick auf den Auslastungsgrad aller Speichervolumen. Im Durchschnitt werden bei Überlaufereignissen in diesem Einzugsgebiet rund 75% der Volumina aktiviert.

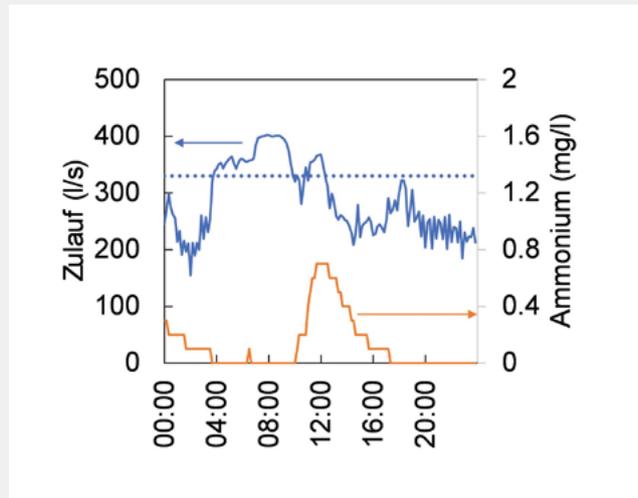


Fig. 5 Daten aus einem Pilotversuch, bei dem die Abwasserreinigungsanlage über der Dimensionierungswassermenge (blau gestrichelt) betrieben wird. Dargestellt sind hier die Ammonium-Ablaufkonzentrationen (Online-Analyser).

Optimierungsstufe	Gebiet A	Gebiet B	Gebiet C	Gebiet D	Gebiet E
<b>0. Zustand vor statischer Optimierung der Einstellung der Sonderbauwerke</b>	110%	104%	103%	120%	keine Information
<b>1. Statische Optimierung der Einstellung der Sonderbauwerke</b>	100%	100%	100%	100%	100%
<b>2. Statische Ausnutzung von <math>Q_{max,ARA}</math></b>	90%	91%	85%	87%	86%
<b>3. Koordinierte Beckenentleerung</b>	97%	nicht analysiert	nicht analysiert	nicht analysiert	98%
<b>4. Dynamische Steuerung der Speicherbauwerke (inkl. Stufe 3)</b>	95%	nicht analysiert	92%	90%	95%
<b>5. Nutzung vorhandener hydraulischer Reserven der ARA (<math>Q &gt; Q_{max,ARA}</math>) (inkl. Stufe 2)</b>	82%	80%	nicht analysiert	nicht analysiert	74%

Tab. 2 Resultate der Potenzialanalyse für fünf ARA-Einzugsgebiete, 100% entspricht der entlasteten Wassermenge nach Umsetzung der statischen Optimierung.

oder die Reserven, die aufgrund interner oder externer Rückläufe (Regenbeckenentleerungen) vorgehalten werden.

Werden vorhandene betriebliche Reserven auf der ARA zusätzlich betrachtet, erhöht sich dieses Potenzial nochmals signifikant. Dann können bei vorgelagerten Mischwasserentlastungen rund 20–25% des Überlaufvolumens reduziert werden. Diese betrieblichen Reserven sind jedoch sehr anlagenspezifisch. In Bezug auf die ins Gewässer eingetragenen Frachten ist hier zudem dem dynamischen Verhalten der Kläranlage Beachtung zu schenken. In Bezug auf Ammonium stellt dabei das Ausstossen von Schmutzwasser aus den Zulaufkanälen und insbesondere aus der Vorklärung zu Beginn des Regenereignisses ein besonderer Lastfall dar. In Bezug auf die Ablaufrachten von Feststoffen (gesamte ungelöste Stoffe, GUS) und die oft damit korrelierten Phosphor- und CSB-Werte ist auch das dynamische Verhalten der Nachklärung zu untersuchen.

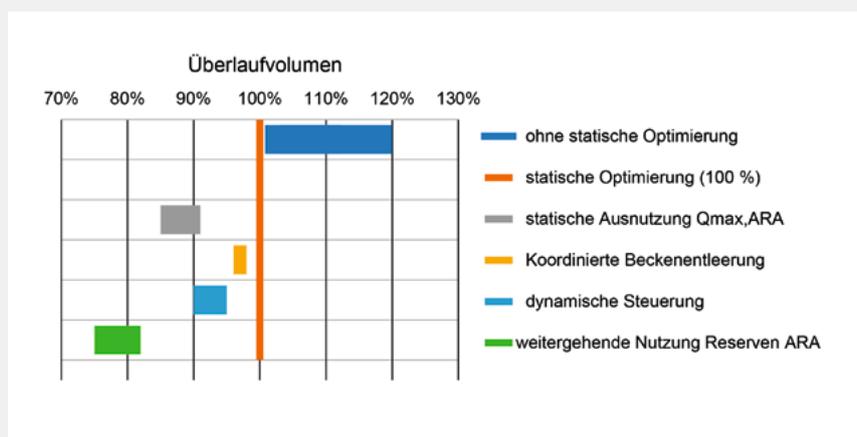


Fig. 6 Darstellung der Potenziale von fünf Einzugsgebieten in Bezug auf verschiedene Bewirtschaftungsansätze. Basis bilden Betriebsdaten und grosstechnische Pilotversuche.

In den hier untersuchten Einzugsgebieten wurde zum einen modellbasiert und zum anderen mit grosstechnischen Versuchen und messtechnischer Überwachung dieser Pilotphase gearbeitet [7]. Vielversprechende Ansätze bestehen auch darin, das Vorklärbecken bei Regenwetter mit einem

Teilstrom im Bypass zu betreiben, um die Schmutzstosseffekte reduzieren zu können [6, 8, 9]. In der Diskussion mit Betreibern zeigt sich, dass die Steuerung des ARA-Zulaufs ein sehr sensibles Thema ist, und dass das Bewusstsein für dieses Potenzial noch eher gering ist.

**DANK**

Wir möchten uns herzlich bei den Verantwortlichen der für diesen Vergleich herangezogenen ARA-Einzugsgebieten bedanken. Die Unterstützung bei der Datenplausibilisierung, der Datenanalyse und bei der Diskussion der Optimierungsansätze war äusserst wertvoll. Es hat sich gezeigt, dass neben guten Datengrundlagen vor allem auch die spezifischen Kenntnisse der einzelnen Messungen, des Verhaltens der Anlagen und die Kenntnisse des Einzugsgebiets notwendig sind, um belastbare und akzeptierte Optimierungsvorschläge zu ermitteln. Hier sind die Erfahrungen der Betreiber von unschätzbarem Wert.

Obwohl das Potenzial der koordinierten Beckenentleerung im Vergleich zu den anderen Ansätzen gering ist, darf der Wert dieser Massnahme nicht unterschätzt werden. In korrekt dimensionierten Speicherbauwerken können sich hohe Schmutzstofffrachten ansammeln (Schmutzstoss bei Fangbecken, Sedimentationswirkung bei Durchlaufbecken). Für diese Massnahme ist die hier durchgeführte volumetrische Betrachtung eine grobe Vereinfachung.

Mit einer dynamischen Kanalnetzbewirtschaftung kann für die untersuchten Gebiete in Bezug auf das entlastete Volumen eine Reduktion von 5–10% erreicht werden. Diese Werte liegen damit in einem ähnlichen Bereich wie andere publizierte Werte zu dieser Optimierungsstufe [3, 10].

Die Quantifizierung erfolgte für diese Vergleichsstudie über das Überlaufvolumen. In Bezug auf die damit erreichten Verbesserungen im Gewässer stellt das Überlaufvolumen nur eine unter verschiedenen massgebenden Grössen dar. Das Überlaufvolumen wird von einigen wenigen Regenereignissen pro Jahr dominiert. Aus diesem Grund eignet sich diese

Grösse auch nur bedingt für Erfolgskontrollen von Optimierungsmassnahmen. Für das Gewässer massgebend sind die dort auftretenden Schmutzstoffkonzentrationen und damit auch die Häufigkeit von Überläufen, ihre Dauer und die bei Überläufen eingetragenen Schmutzfrachten. Bisherige Systemanalysen zeigen, dass in Bezug auf diese Kriterien die verschiedenen Optimierungsstufen deutlich höhere Reduktionspotenziale aufweisen. Eine standardisierte Bewertung dieser weiteren Grössen ist aktuell noch nicht verfügbar.

Sowohl für die Analyse des bestehenden Systems über die Ableitung von Optimierungsvarianten bis hin zur Überprüfung des Erfolgs umgesetzter Massnahmen sind hochaufgelöste und zuverlässige Messdaten erforderlich. Der Wert dieser Daten ist insbesondere auch dem Anlagenbetreiber bewusst zu machen und für die Überwachung der Messwerte sind für den Betreiber geeignete Werkzeuge (z. B. auf Basis des Prozessleitsystems) zur Verfügung zu stellen. Die zeitliche Aggregation dieser Daten oder die alleinige Speicherung statistischer Daten (Anzahl und Dauer der Überläufe) führen dazu, dass der Wert dieser Daten stark geschmälert wird. Zum einen, weil die Plausibilisierung der Daten damit erschwert wird, und zum andern, weil damit die zeitliche Dynamik in diesen Daten, die ein wichtiges Element bei Mischabwasserüberläufen darstellt, verloren geht.

**BIBLIOGRAPHIE**

- [1] Lieb, W. (2013): *Auswertung von Messdaten an Regenüberlaufbecken – Beispiele aus der Praxis*, Konferenzband Aqua Urbanica 2013
- [2] Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute (VSA): *Aktualisierung 2019, Messtechnik in der Siedlungsentwässerung, Kapitel 14*
- [3] Garbani Marcantini, L. et al. (2016): *Ein hierarchischer Regelungsalgorithmus: Praxistaugliche Abflussregelung von Entwässerungsnetzen. Aqua & Gas (10), 48–53*

- [4] Rüdüsili, M., Tinner, B.; Gresch, M. (2013): *Gewässerschutz immisionsorientiert: Erfahrungen aus Sicht Ingenieur. Aqua & Gas (10), 20–26*
- [5] Seggelke, K. et al. (2013): *Implementation of an integrated real-time control system of sewer system and waste water treatment plant in the city of Wilhelmshaven. Urban Water J. 10, 330–341. doi:10.1080/1573062X.2013.820331*
- [6] Mauchle, A. et al. (2018): *Integrierte Simulation von Kanalnetz und ARA, Aqua & Gas (10), 22–29*
- [7] Hunziker Betatech AG und Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft (AWEL) des Kantons Zürich (2018): *Optimierung der Abwasserbehandlung unter Einbezug von Netz und ARA, Technischer Bericht*
- [8] Günther, N.; Ahnert, M.; Kühn, V. (2014): *Bypassführung von Mischwasser – Möglichkeiten und Grenzen, Teil 1. Korrespondent Abwasser, Abfall 2014 (61)*
- [9] Günther, N.; Ahnert, M.; Kühn, V. (2015): *Bypassführung von Mischwasser – Möglichkeiten und Grenzen, Teil 2. Korrespondent Abwasser, Abfall 2015 (62)*
- [10] Gresch, M. et al. (2018): *Praxistaugliche Regelung von Entwässerungsnetzen. 3. Expertenforum Regenüberlaufbecken, DWA-Landesverband Baden-Württemberg, Stuttgart*

**> SUITE DU RÉSUMÉ**

pour la quantité d'eau de dimensionnement, peut être mise en œuvre avec un effort la plupart du temps limité. Si l'on considère également les réserves d'exploitation de la STEP, ce potentiel peut encore augmenter de manière significative. Des données de mesure fiables et hautement détaillées sont nécessaires pour l'analyse du système existant, en passant par la déduction de variantes d'optimisation, jusqu'à la vérification du succès des mesures mises en œuvre.