

PLANUNG, INSTALLATION UND BETRIEB EINER ABFLUSSSTEUERUNG IN REUTLINGEN

Ulrich Haas, Stuttgart

Zusammenfassung

Die Stadtentwässerung Reutlingen (SER) betreibt seit Mitte 2014 eine integrale Abflusssteuerung (iAST), welche im Rahmen des BMBF-Forschungsvorhabens SAMUWA eingerichtet wurde. Auf Basis eines zuvor optimierten und statisch betriebenen Kanalnetzes werden seither im Online-Betrieb Steuerkonzepte untersucht, die die Potentiale des interaktiven Eingriffs auf das Abflussgeschehen bei einer Verbundbeckensteuerung nutzen. Vorrangiges Ziel in Reutlingen ist es, die Entlastungstätigkeit entlang des Hauptgewässers zu vergleichmäßigen und an einem schützenswerten kleineren Gewässer zu minimieren. Dies spiegelt sich nunmehr in den Steueralgorithmen wider. Neben den planerischen Grundlagen beleuchtet der Beitrag wie eine iAST installiert und welche betrieblichen Aspekte zu beachten sind. Darüber hinaus zeigt er, dass sich trotz ihrer Komplexität eine iAST mit überschaubarem Aufwand in bestehende Strukturen integrieren lässt, was Betreiber ermutigen sollte, sich dieser Technik zukünftig verstärkt anzunehmen.

1. EINFÜHRUNG

1.1. Funktionsweise

Sobald das Kanalnetz bei einem Regenereignis seine definierte Kapazitätsgrenze erreicht, wird das überschüssige Mischwasser entlastet. Dies geschieht an Regenüberlaufbauwerken und Regenüberlaufbecken. Damit der Entlastungsvorgang nicht unkontrolliert geschieht sind diese Anlagen mit Mess- und Regelorganen ausgestattet.

Nach [1] unterscheidet man zwischen der lokalen Steuerung (Bild 1, HEUTE), bei welcher die Stellorgane unabhängig von anderen Beckenstandorten betrieben werden. Nur die Informationen aus dem örtlich begrenzten Bereich dienen als Grundlage für den Steuerungseingriff. Dies trifft beispielsweise für die Ablaufmengenbegrenzung an einem Regenbecken mit vorgegebenem Abfluss (fester Sollwert) zu. Und der Verbundbeckensteuerung, bei welcher die jeweiligen Sollwerte der lokalen Regelkreise in Abhängigkeit von aktuellen und ggf. vorausgerechneten Zuständen des Entwässerungssystems, also auch von anderen Stellen im System modifiziert (variabler Sollwert) werden. Kommen neben den steuerbaren Anlagen in der Kanalisation auch die Stell- und Regelgrößen des Klärwerks hinzu, so spricht man von einer integralen Abflusssteuerung (Bild 1, MORGEN).

1.2. BMBF-Forschungsvorhaben

Mitte Juni 2014 wurde der Prototyp einer integralen Kanalnetzsteuerung von der Stadtentwässerung Reutlingen (SER) in Betrieb genommen. Die Freischaltung erfolgte im Rahmen eines Teilprojekts des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Forschungsvorhabens SAMUWA - Schritte zu einem anpassungsfähigen Management des urbanen Wasserhaushalts.

Mit der Einführung einer integralen Abflusssteuerung im Modellgebiet Reutlingen werden beispielhaft Wege aufgezeigt, wie bei Regenwetter durch interaktives Eingreifen in das Abflussgeschehen unvermeidbare Einleitungen von Überlaufwasser zum Schutze der Gewässer reduziert oder ganz vermieden werden. Schwerpunktmäßig soll unter-

sucht werden, was bei der Einführung einer gesteuerten Betriebsweise zu beachten ist. Die Ergebnisse werden in Form von Leitfäden veröffentlicht.

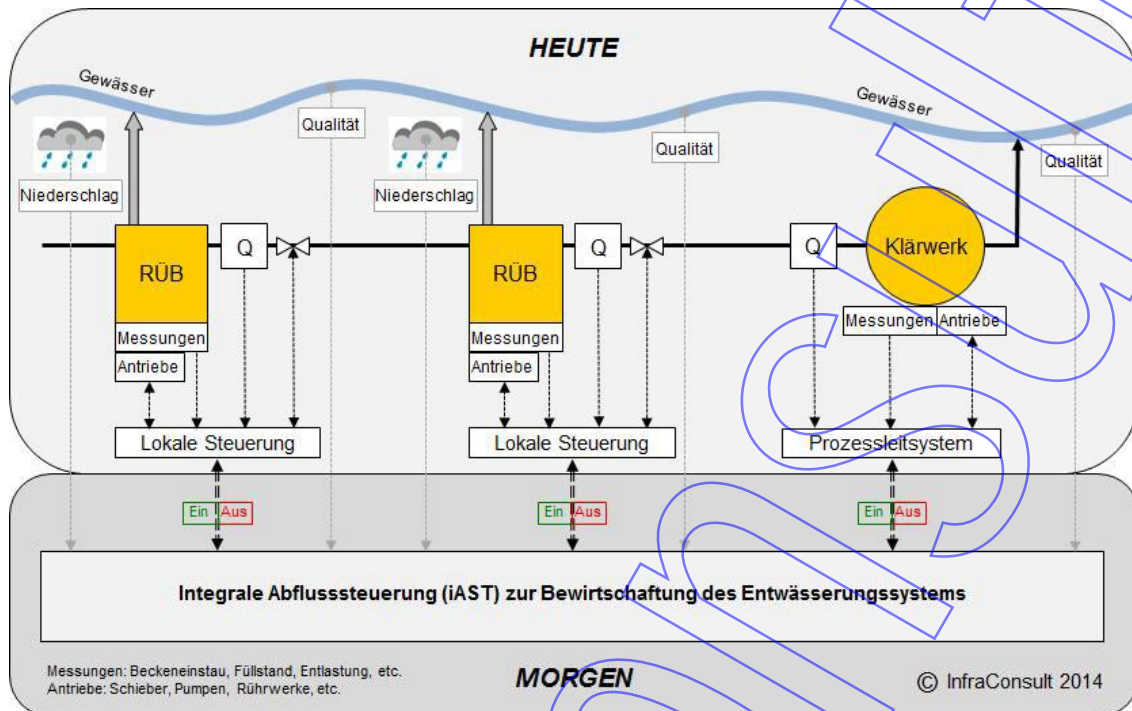


Bild 1: Schematische Darstellung einer lokalen Steuerung HEUTE und einer integralen Abflusssteuerung MORGEN

1.3. Modellgebiet Reutlingen

Das Einzugsgebiet des Klärwerks Reutlingen West (Bild 2) eignet sich als Modellgebiet für das Forschungsvorhaben ganz besonders, da es keine Alleinstellungsmerkmale aufweist. Damit ist es möglich allgemeingültige Aussagen zu treffen.

Das Einzugsgebiet (Flächenausdehnung 1.830 ha, 75.000 Einwohner) umfasst zwei dörflich bis kleinstädtisch geprägte Stadtbezirke sowie die Kernstadt mit einer typisch urbanen Struktur. Das Kanalnetz wird weitgehend im Mischsystem betrieben, z.T. sind größere Einzelflächen trennentwässert. Es existieren 12 Regenüberlaufbecken, 2 Regenklärbecken, 1 Regenrückhaltebecken (im Mischsystem). Alle Becken sind technisch gut ausgestattet und an ein Fernwirkssystem via DSL online angeschlossen. Die Messwerte liegen als Minutenwerte verlässlich am Prozessleitsystem an.

Das bedeutendste Gewässer im Einzugsgebiet ist die städtisch geprägte Echaz, der im Ortsgebiet mehrere Nebengewässer zufließen. Die Zuflüsse sind zum großen Teil als schützenswert eingestuft.

2. PLANUNG

2.1. Potenzialanalyse

In einem ersten Schritt bietet sich die Anwendung des Programms PASST aus dem DWA-Merkblatt M180 an. Damit erhält man einen Eindruck der generellen Steuerwürdigkeit des Systems. In einem zweiten Schritt wird mittels einer Berechnung nach dem Zentralbeckenansatz jenes Potential ermittelt, um wie viel mehr Mischwasser im günstigsten Fall im Netz gehalten und zur Kläranlage geleitet werden kann. Zur Erkundung von über- oder unterbelasteten Speicherkapazitäten werden dann die Ergebnisse aus einer Schmutzfrachtsimulation des statisch betriebenen Netzes nach Optimierung der

Drosselabflüsse genutzt. In Reutlingen liegt hierzu eine Langzeitsimulation mit einer 30-jährigen Regenreihe zu Grunde.

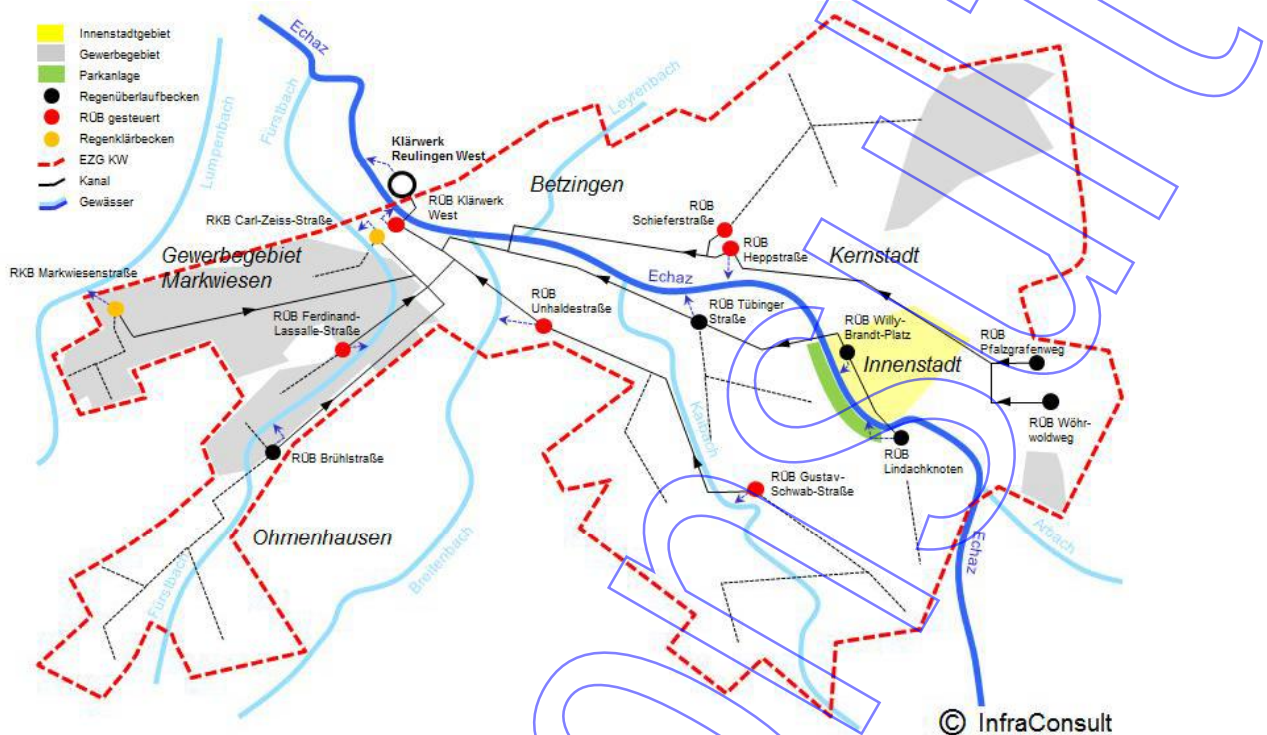


Bild 2: Modellgebiet Reutlingen, Einzugsgebiet des Klärwerks West

2.2. Auswahl der Becken

2.2.1. Technische Ausrüstung

Eine funktionierende Messtechnik ist für den wirtschaftlichen Betrieb des Entwässerungssystems von tragender Bedeutung und für die Einführung einer Abflusssteuerung unerlässlich. Deshalb ist es besonders wichtig eine Messstelle für das Betriebspersonal gut erreichbar zu positionieren, ansonsten leidet die unumgängliche regelmäßige Inspektion/Wartung und damit das Messwtergebnis und infolge dessen steigt der Überwachungsaufwand.

Je nach installierter Abflusssteuerung gelten die Beckeneinstau- und Beckenablaufmessungen als die zentralen Bausteine. Vor allem letztere sollten einer regelmäßigen Überprüfung unterworfen werden, da das steuerbare Beckenvolumen um bis zu 90% variiert, bei Ablaufänderungen von +/- 20% [2]. Solange keine weiteren Angaben aus der Schmutzfrachtberechnung vorliegen, sollte eine genügend große Regelgröße gewählt werden. Sie könnte beispielsweise bei 1 bis $5x Q_{TW}$ liegen. Zu beachten ist die Kapazität des weiterführenden Kanalnetzes.

2.2.2. Fließzeitverhalten

Der vorgegebene Zulauf zum Klärwerk West durfte, aufgrund sehr knapper hydraulischer Reserven, zu keinem Zeitpunkt überschritten werden. Für die Konzeption der Steuerregeln bedeutet dies, dass die unterschiedlichen Fließzeiten von den RÜB zur Kläranlage zu berücksichtigen sind.

In Bild 3 ist der vorbeschriebene Sachverhalt grafisch dargestellt. Die beiden RÜB haben unterschiedliche Fließzeiten bis zur Kläranlage. Auf der Abszisse ist die Fließdauer aufgetragen. Die Steuereingriffe, welche zeitgleich geschehen, sind farblich gekennzeichnet und, aufgrund der unterschiedlichen Fließzeiten, versetzt aufgetragen. Das

Wasser von RÜB 1 benötigt 10 Minuten länger bis zur Kläranlage. Die senkrecht aufsummierten Drosselabflüsse ergeben die zu erwartende Kläranlagenzulaufmenge.

Mit länger werdenden Fließzeiten flachen sich die Drosselabflüsse ab oder vergleichmäßigen sich aufgrund der Speicherwirkung des Kanalnetzes. Diesen Umstand macht man sich zu Nutze und entwirft Steuerzonen mit ähnlichem Fließzeitverhalten (Fließzeitgleichen). Je enger eine Zone den Bereich um die Kläranlage abdeckt, umso kürzer ist die Fließzeitspanne. Alle Becken gleicher Zone können unbeeinflusst von Fließzeitüberlegungen abhängig voneinander gesteuert werden. Die Summe ihrer genehmigten Einzelablaufmengen wird nicht überschritten.

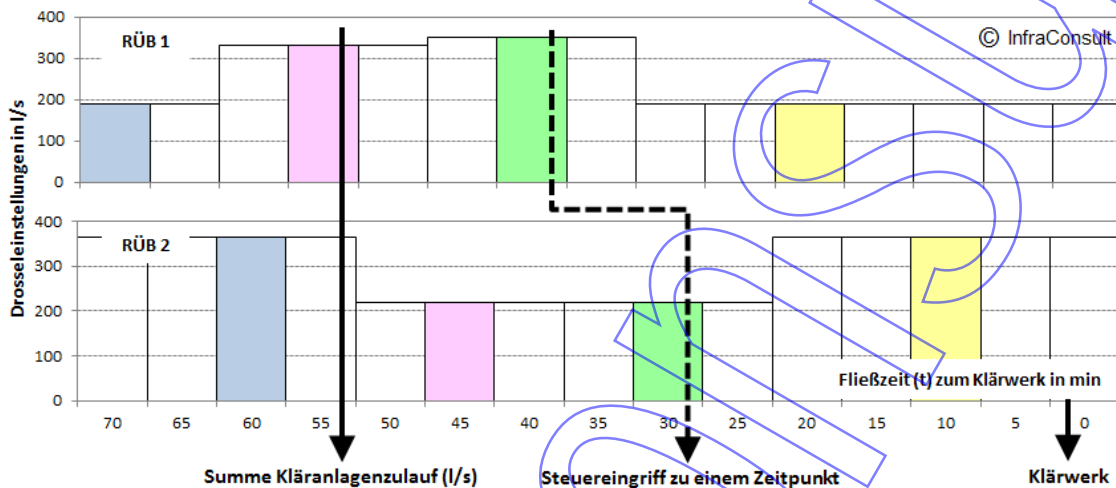


Bild 3: Zusammenhang zwischen Kläranlagenzulauf und Zeitpunkt des Steuereingriffs

2.3. Steuerkonzepte

2.3.1. Basisstrategien

Für die Formulierung von Basisstrategien werden vornehmlich die folgenden sieben Kriterien verwandt: Entlastungshäufigkeiten, -volumen und -dauer, Entlastungsfrachten und -konzentrationen, maximaler Kläranlagenzufluss unter Einhaltung der Überwachungswerte und gewässergütebasierte Kriterien.

Daraus lassen sich die Basisstrategien ableiten:

- Gleichmäßige Auslastung von Speicherraum: Entlastung erst zulassen, wenn alle Speicherräume gefüllt sind
- Berücksichtigung des aktuellen Gewässerzustandes (Hydraulik und Güte): Regenentlastungen in sensible Gewässer zuletzt
- Berücksichtigung unterschiedlicher Verschmutzungsgrade des Abwassers: vorhalten von Speicherkapazität für behandlungsbedürftigen Abfluss, z.B. aus Gewerbegebieten, Klinik- und Sanatoriums Zentren
- Regelung des Kläranlagenzulaufs: keine Entleerung von Speicherbecken bei erhöhtem Kläranlagenzufluss, insbesondere bei kritischen Zuständen, z.B. Schlammabtrieb aus der Nachklärung
- Vermeidung von Kanalablagerungen: Kanalspülsteuerung zur Vermeidung von Spülstoßbelastungen zu Regenbeginn

Für die ersten beiden Basisstrategien, welche für das Forschungsvorhaben verwandt wurden, lautet die allgemeine Steuerformulierung:

- Ausgangslage bei Trockenwetter und leeren Becken ist $Q = \text{“normal”}$ bei allen RÜB. Mit Regenbeginn gilt:

- wenn bei nur einem Becken $V > \text{“leer”}$ ist, dann wird dort Q auf “max” gesetzt und die anderen Q auf “niedrig”,
- haben zwei oder mehr $V > \text{“leer”}$, dann wird zuerst das Q des mehr gefüllten Beckens oder bei gleichem V das Q des Beckens mit höherer Priorität “max” bzw. “erhöht” und das/die andere(n) - wenn möglich - auf “normal” gesetzt bzw. “erhöht”. Dabei darf kein RÜB mit $V = \text{“hoch”}$ auf $Q = \text{“niedrig”}$ eingestellt werden,
- sobald bei Einstau mehrerer Becken keine Erhöhung im Sinne der Zielgrößen mehr möglich ist, werden alle Q auf “normal” zurückgesetzt.

2.3.2. Befüll- und Entleerstrategie

Ein über das Entwässerungsgebiet hinwegziehender Regen sorgt für eine ungleiche räumliche wie zeitliche Auslastung der Regenbecken. Auf dieser Basis lassen sich Befüll- und Entleerstrategien formulieren, welche in einem späteren Schritt in das Steuerprogramm implementiert werden.

Während beim Befüllen der Becken versucht wird, den Entlastungsbeginn der volleren Becken hinauszuzögern (Bild 4 links), nutzt die Entleerstrategie (Bild 4 rechts) mögliche Standzeiten eines gefüllten Beckens aus, um bei reduziertem Drosselabfluss etwaig dringend benötigte Speicherkapazität an anderer Stelle im Netz freizugeben. Es wird, sollte es noch regnen, ein erhöhter Abschlag aus dem vollen Becken bewusst in Kauf genommen, zumal dieses Mischwasser in der Regel stark verdünnt ist.

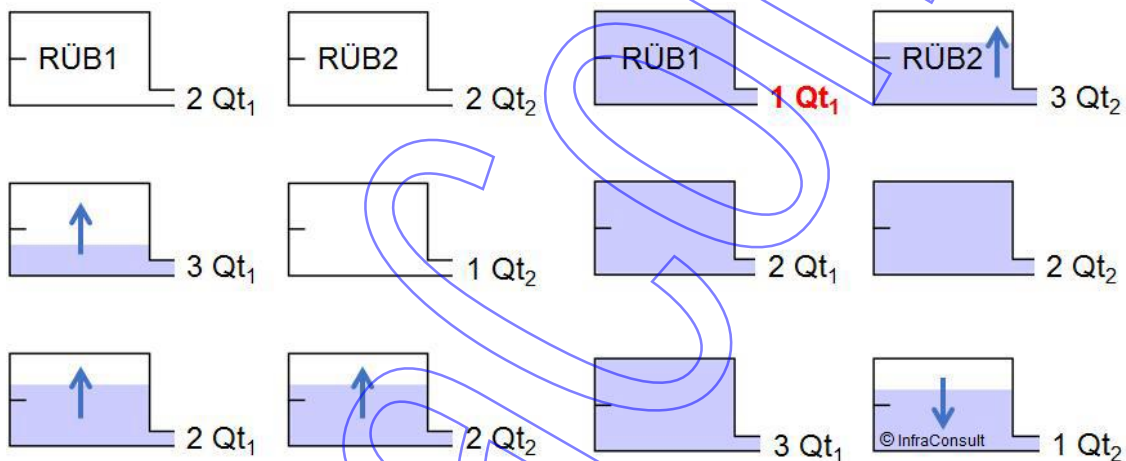


Bild 4: Befüll- (links) und Entleerstrategie (rechts) bei einer Verbundbeckensteuerung

2.3.3. Gewässerschutz

Ein, im Vergleich zu den anderen Becken, auffällig hohes Entlastungsverhalten wie das RÜB Klärwerk West als letztes Becken vor der Kläranlage auf, was u.a. auf eine ungünstige, nämlich zu hohe Einstellung der Beckendrosseln vor Optimierung des Bestandsnetzes zurückzuführen war. Die Entlastung des gesamten Einzugsgebiets erfolgte demzufolge verstärkt an dieser Stelle.

Mit der Zielsetzung sowohl bei kleinen Regenereignissen die Entlastung möglichst zu unterbinden (Herabnahme der Entlastungshäufigkeit), als auch die Entlastungsfracht zu reduzieren, sollte die Situation der Echaz verbessert werden. Denn gerade bei Niedrigwasser kam es in der Vergangenheit zu kritischen Situationen hinsichtlich der Wasserqualitätsparameter. Nach der Bestandsoptimierung ergab die Simulation eine Reduzierung der Entlastungsfracht an besagtem Becken um fast die Hälfte, ohne eine Erhöhung der Gesamtemission zu provozieren. Weiterhin hat sich gezeigt, dass eine flexible DrosselEinstellung der Becken die angestrebte Vergleichmäßigung der Entlastungsvorgänge über die gesamte innerstädtische Fließstrecke zusätzlich unterstützt.

Von Seiten der Wasserbehörde war gewünscht, die schützenswerten Nebengewässer in die Steuerüberlegungen einzubeziehen. Dies wurde so bewerkstelligt, dass die sich füllenden Becken entlang des sensiblen Gewässers prioritär den Drosselabfluss erhöht bekommen, um die Entlastung hinauszuzögern. Auf diese Weise wird - im Vergleich zu einem ungesteuerten Netz - ein weit höherer Anteil des stark verschmutzten Spülstoßes im Netz belassen und die später einsetzende Entlastung eine wesentlich geringere Schmutzkonzentration aufweisen.

2.4. Programmierung

2.4.1. Wirkweise

Für die Abflusssteuerung in Reutlingen werden zwei Messwerte genutzt, der Beckenwasserstand und der Drosselabfluss. Auf Basis dieser beiden Werte wurden WENN-DANN-Regeln entworfen. Das Bild 5 zeigt eine stufenweise Anpassung des Drosselabflusses je nach Beckenwasserstand bzw. Volumen. In diesem Beispiel wird die Entlastung zeitlich verzögert oder ganz vermieden, da der Drosselabfluss - soweit es der Kläranlagenzulauf erlaubt - mit ansteigendem Wasserspiegel im Becken erhöht wird.

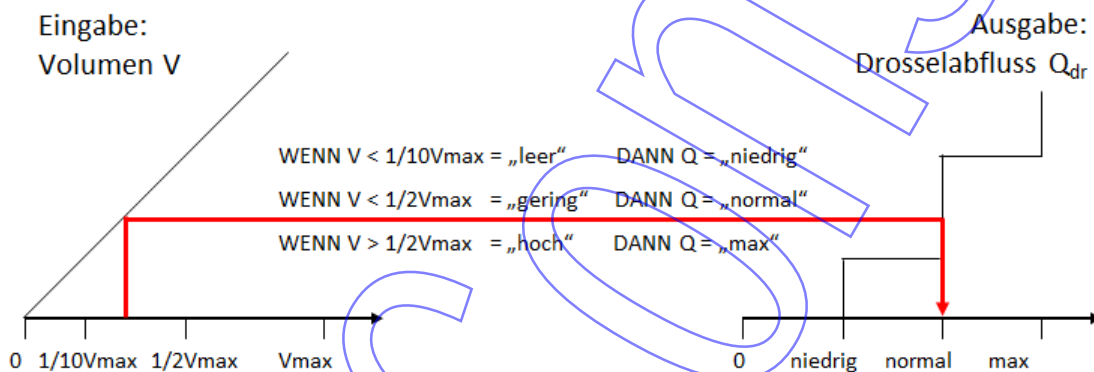


Bild 5: Funktionsweise einer WENN-DANN-Regel

2.4.2. Anwendung

Für die konkreten Steuerungsregeln wurden einheitliche Begriffe eingeführt. Der Beckeneinstau unterteilt sich in drei Auslastungsgrade: „Leer“ steht für eine 0 - 10%ige Füllung, „gering“ steht für 10 - 50% gefüllt und „hoch“ steht für 50 - 100% eingestaut.

Ebenso sind die Drosselabflüsse unterteilt: „Niedrig“ steht für eine Absenkung gegenüber dem statisch genehmigten Wert, „normal“ entspricht diesem Wert, „max“ ist der größtmögliche Drosselablauf.

Mit diesen Vorgaben können Regeln für ein Simulationsmodell formuliert werden (Bild 6). Am besten in einer Programmiersprache (z.B. IEC 61131-3 ST), welche direkt in eine iAST-Steuerung (SPS) eingelesen wird.

3. INSTALLATION

Die Abflusssteuerung ist der Fernwirktechnik auf dem Klärwerk Reutlingen West als ein zusätzlicher Baustein angefügt (Bild 7). Es hat sich gezeigt, dass das Zuschalten von Steuerregeln am sichersten und für den laufenden Betrieb am wenigsten störend erfolgt, wenn die interaktiven Steuerbefehle über eine eigene SPS eingebunden sind. Bei Inbetriebnahme ist diese SPS der Warte-SPS übergeordnet. Bei Außerbetriebnahme fällt das System in die bisherige, ungesteuerte Betriebsweise zurück.

Nr.	Speicherauslastung V					Drosselabfluss Qdr					Summe (l/s)
	RÜB 03	RÜB 50	RÜB 44	RÜB 30	RÜB 63	RÜB 03	RÜB 50	RÜB 44	RÜB 30	RÜB 63	
46	leer	leer	hoch	gering	leer	niedrig	niedrig	max	normal	normal	1.200
47	gering	leer	hoch	gering	leer	max	niedrig	erhöht	normal	normal	1.200
48	hoch	leer	hoch	gering	leer	max	niedrig	erhöht	normal	normal	1.200
49	leer	gering	hoch	gering	leer	niedrig	niedrig	max	normal	normal	1.200
50	gering	gering	hoch	gering	leer	max	niedrig	erhöht	normal	normal	1.200
51	hoch	gering	hoch	gering	leer	max	niedrig	erhöht	normal	normal	1.200
52	leer	hoch	hoch	gering	leer	niedrig	max	normal	normal	normal	1.172
53	gering	hoch	hoch	gering	leer	niedrig	max	normal	normal	normal	1.172
54	hoch	hoch	hoch	gering	leer	normal	normal	normal	normal	normal	1.200

Bild 6: Zusammenstellung von WENN-DANN-Regeln der zu steuernden Becken

Für die anstehenden Testzwecke hat es sich als besonders vorteilhaft erwiesen, dass InfraConsult einen direkten Zugriff auf die SPS der Abflussteuerung hat (VPN-Tunnel). So lassen sich während des Probebetriebs - allein schon nach Auswertung von Einzelregenereignissen - Verbesserungen an den Steueralgorithmen vornehmen und in das System zeitnah zurückspielen.

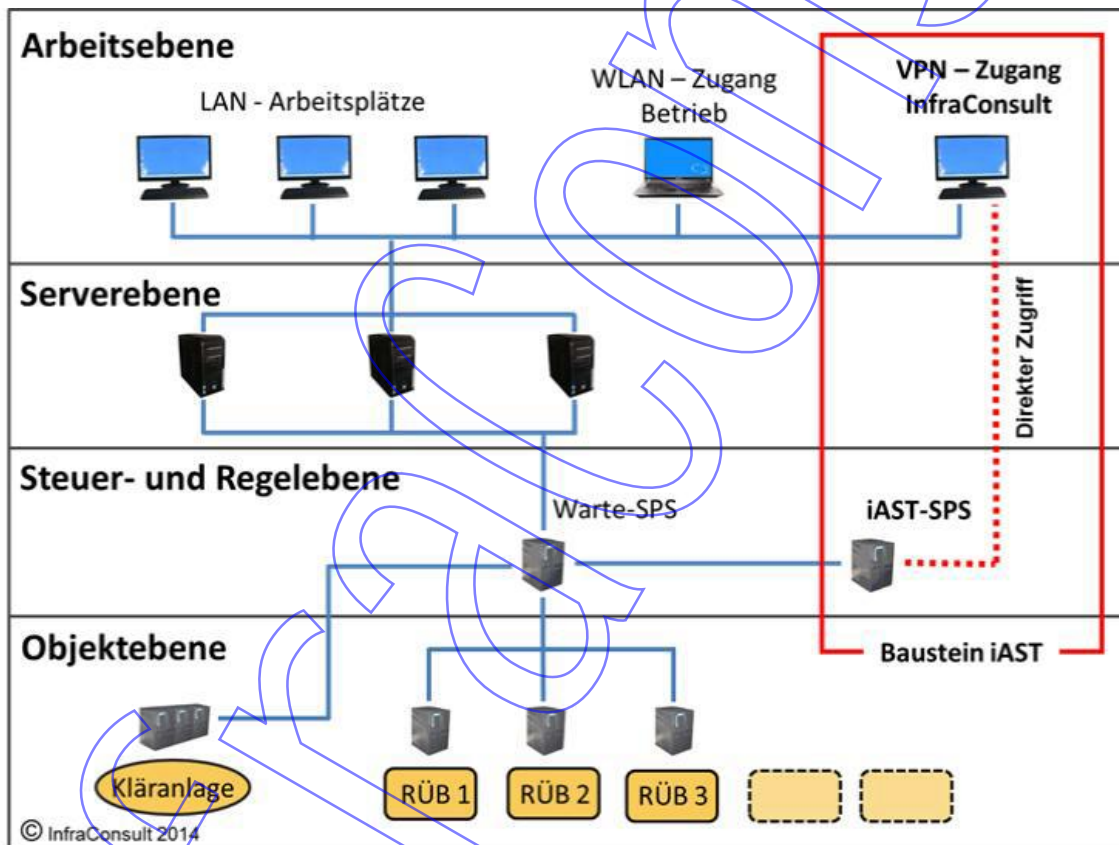


Bild 7: Einbindung der Steuerungssoftware in das Prozessleitsystem

4. BETRIEB

4.1. Personal

Eine frühzeitige Beteiligung des Betriebspersonals erhöht die Akzeptanz und gibt Raum für Ideen. Denn mit Einführung einer Kanalnetzsteuerung ändern sich die betrieblichen Abläufe und Aufgeschlossenheit, Teambereitschaft und - während des Probebetriebs - Mehreinsatz sind willkommen.

Das Beispiel Reutlingen hat gezeigt, dass die stufenweise Einführung einer Abflusssteuerung diesen Prozess unterstützt. So bleiben alle Abläufe überschaubar und verständlich. Zusätzlich finden in regelmäßigen Abständen Informationsveranstaltungen statt, in denen die Ergebnisse der Abflusssteuerung dargelegt und die weiteren Schritte gemeinsam diskutiert werden.

Hinsichtlich der generellen Organisation sind ergänzende Überlegungen anzustellen. Folgende Hauptpunkte müssen beachtet werden:

- Festlegung von Verantwortungsbereichen, Hierarchien und Qualifikation
- Anpassen der Dienst- und Betriebsanweisungen sowie der Betriebstagebücher
- Erstellen spezieller Notfallpläne

4.2. Störungen

Was geschieht, wenn Becken ertüchtigt werden und während einer Umbauphase der Steuerung nicht zur Verfügung stehen oder einzelne Messdaten ausfallen?

Für diesen Fall sind Ausfallszenarien zu programmieren und zu hinterlegen. Diese werden entweder manuell, quasi per Knopfdruck aktiviert, beispielsweise bei Wartungsarbeiten an einem Becken oder sie schalten sich automatisch ein. Dies wäre beispielsweise bei Ausfall einer wichtigen Messsonde angezeigt.

Wird die Steuerung in einen „Wartungsmodus“ versetzt, so heißt dies nicht, dass die Ziele der Steuerung aufgegeben werden, allein die möglichen Freiheitsgrade in puncto Steuerformulierung und -programmierung reduzieren sich. Im Vergleich zu einem statisch betriebenen Netz können die Folgen eines Beckenfehlverhaltens allemal besser kompensiert werden.

4.3. Betriebsaufwand

Mit der Einführung einer Abflusssteuerung ändern sich die Betriebsabläufe.

Wie schon beschrieben ist die Verfügbarkeit von korrekten Messdaten von essentieller Bedeutung, deshalb rücken die Tätigkeiten, welche in Zusammenhang mit der Fernüberwachung stehen in den Vordergrund. Zum einen sind die aktuellen Trendkurven aller Becken täglich zu bewerten, zum anderen sind die Messdaten rückblickend statistisch auszuwerten, um die Funktionstüchtigkeit nachzuweisen oder Verbesserungen an den Steueralgorithmen vornehmen zu können. Mit der verbesserten Fernüberwachung geht ein reduzierter Inspektionsaufwand vor Ort einher. Während des Probebetriebs ist generell mit einem erhöhten Aufwand zu rechnen.

4.4. Betriebsanweisung

Um den Anforderungen einer ordnungsgemäß betriebenen Abflusssteuerung gerecht zu werden, sind die Betriebsanweisungen anzupassen bzw. zu ergänzen. Folgende Aspekte sind zu beachten:

- die Bedeutung des Einzelbeckens für den Steuerungsverbund ist zu beschreiben - keine Einzelbeckenbetrachtung!
- die In- und Außerbetriebnahme der Abflusssteuerung im Prozessleitsystem auf der Warte ist zu erläutern
- die Regelspannweite, also die einzuhaltenden Min.- und Max.-Werte der Drosselabflüsse sind zu benennen
- die zusätzlich genutzten Störmeldungen sind aufzuzählen (z.B. Verbindung zur Zentrale ausgefallen/gestört, Ablaufmengen außerhalb der Richtwerte, unerwartete Stellung des Regelschiebers)
- prioritär zu inspizierende Funktionsbereiche sind herauszustellen

5. AUSBLICK

Die Ergebnisse aus dem BMBF-Forschungsvorhaben lassen folgende Schlüsse zu:

- Die technische Installation einer integralen Abflusssteuerung kann nach einem definierbaren Schema erfolgen, was für die Übertragbarkeit auf andere Kommunen eine wichtige Rolle spielt.
- Die vorläufigen Auswerteergebnisse zeigen, dass sich die Potenziale der Abflusssteuerung nachweisen und prüfen lassen, was für die Genehmigungswürdigkeit solcher komplexen Systeme von entscheidender Bedeutung ist.

Aufgrund ihrer Anpassungsfähigkeit an veränderte Randbedingungen vereint die Abflusssteuerung vorbildlich ökologische und ökonomische Zielsetzungen. Die Verbesserungen, die eine Abflusssteuerung für das Gesamtsystem Kanalnetz, Kläranlage und Gewässer schafft, könnten auf konventionelle Weise nur durch eine Vergrößerung der Speicherkapazität erreicht werden. Deshalb gilt:

**Potenziale aufzuspüren kostet fast nichts,
sie nicht zu nutzen kostet mehr!**

Danksagung

Ein besonderer Dank gilt dem Bundesministerium für Bildung und Forschung für die finanzielle Förderung des Vorhabens SAMUWA (FKZ 033W004). Das Teilprojekt „Integrale Abflusssteuerung“ ist ein wichtiger Baustein für den Gewässerschutz.

Literatur- und Quellenverzeichnis

[1] DWA, Handlungsrahmen zur Planung von Abflusssteuerung in Kanalnetzen, Merkblatt DWA-M 180, Hennef, Dezember 2005

[2] DWA, Richtlinien für die Bemessung und Gestaltung von Regenentlastungsanlagen in Mischwasserkanälen, Arbeitsblatt ATV A 128, April 1992

Autor

Ulrich Haas
InfraConsult GmbH
www.infraconsult.de