

Integrale Abflusssteuerung in Mischsystemen

Aspekte zu deren Einführung

- Leitfaden -

Dezember 2016

SAMUWA Publikation

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

NaWaM
Nachhaltiges Wassermanagement



INIS

Integrale Abflusssteuerung in Mischsystemen

Aspekte zu deren Einführung

Leitfaden im Rahmen der Fördermaßnahme BMBF-INIS “Verbundprojekt SAMUWA:
Die Stadt als hydrologisches System im Wandel - Schritte zu einem anpassungsfähigen Management des urbanen Wasserhaushalts”

Förderkennzeichen: 033W004

Bearbeitung:	Dipl.-Ing. Ulrich Haas Dipl.-Ing. Heike Besier Dipl.-Ing. Christian Weber	InfraConsult, Gesellschaft für Infrastrukturplanung mbH, Stuttgart
	Dipl.-Ing. Oliver Ruf Michail Papas, B.Eng.	Stadtentwässerung Reutlingen
	Dr.-Ing. Ulrich Dittmer Anna Bachmann, M.Sc.	Universität Stuttgart, Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte- und Abfallwirtschaft (ISWA)
	Dr. Manfred Schütze	ifak - Institut für Automation und Kommunikation e.V. Magdeburg

Das Urheberrecht und die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegen bei den Autoren.

Beteiligte SAMUWA-Verbundpartner:

InfraConsult
www.infraconsult.de



Ansprechpartner:

Dipl.-Ing. Ulrich Haas
ulrich.haas@infraconsult.de

www.samuwa.de

Vorwort

Die Wasserqualität der Gewässer hat sich in den letzten Jahrzehnten dank der hohen Investitionen in entwässerungs- und abwasserreinigungstechnische Einrichtungen deutlich verbessert. Mit dieser Entwicklung geht einher, dass Flüsse und Seen regelmäßig in den Focus der Stadt- und Landschaftsplaner gelangen, da sauberes und erlebbares (Regen-)Wasser ein wichtiger Baustein für die Lebensqualität in unseren Städten ist. Aufgrund der in der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie verankerten integrativen und vorrangig immissionsorientierten Sichtweise sind weitergehende Maßnahmen zur Verringerung der Gewässerbelastung zu erwarten. Dies wird „DIE STADT AM FLUSS“ weiter in greifbare Nähe bringen.

Die Wasserrahmenrichtlinie fordert in Artikel 4 „Umweltziele“ eine gute ökologische Qualität der Gewässer. Dies impliziert einen ganzheitlichen, ökologischen Ansatz bei der Bewirtschaftung von Gewässern und eine genaue Kenntnis der Herkunftswege von Belastungen. Es lassen sich die in Abb. 1 dargestellten Handlungsfelder ableiten. Unter der Überschrift „biologische Gewässergüte“ finden sich u.a. die Themen Regenwasserbehandlung und Kläranlage, welche im folgenden Beitrag beleuchtet werden.

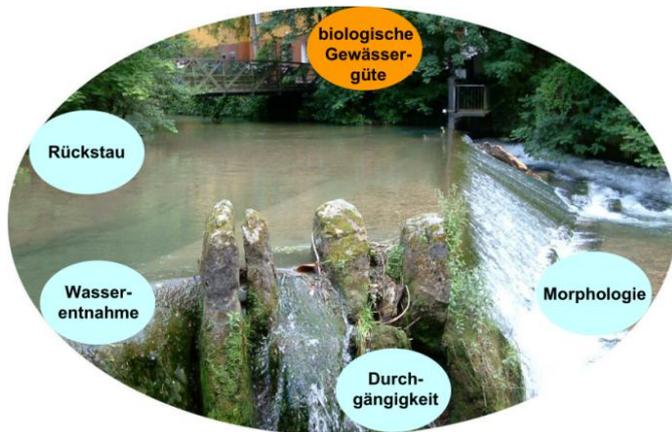


Abb. 1 Handlungsfelder für einen verbesserten Gewässerschutz
Bild: Echaz im Stadtgebiet Reutlingen, InfraConsult

Das Kanalnetz, die Kläranlage und das Gewässer stehen über die Einleitungsstellen in einem engen Bezug. Die Abkehr von der bisherigen zumeist punktuellen hin zu einer linienförmigen Betrachtungsweise mit der Bezugsgröße Gewässerabschnitt bedarf deshalb eines aufeinander abgestimmten Betriebskonzepts.

Mit den heute zumeist statisch wirkenden (ungesteuerten) Entwässerungstechniken lassen sich die zukünftigen Forderungen nicht ohne weiteres widerspruchsfrei erfüllen.

Gerade vor dem Hintergrund der ganzheitlichen Betrachtungsweise bietet sich die integrale Abflusssteuerung (iAST) als eine Planungsvariante an. Sie nutzt den sich aus der Diskrepanz zwischen Planungs- und Ist-Zustand bietenden Handlungsspielraum konsequent aus.

Die Verbesserungen, die eine integrale Abflusssteuerung für das Gesamtsystem Kanalnetz, Kläranlage und Gewässer schafft, werden auf konventionelle Weise nur durch eine Vergrößerung der Speicherkapazität erzielt.

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

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	3
Inhaltsverzeichnis	4
Abbildungsverzeichnis.....	6
1 Einführung	7
1.1 Funktionsweise.....	7
1.2 Modellgebiet.....	8
1.3 Ausgangssituation.....	9
2 Planung	12
2.1 Planungsprozess.....	12
2.2 Voraussetzungen.....	12
2.2.1 Steuerungswürdigkeit.....	12
2.2.2 Beckenkennzahlen.....	13
2.2.3 Beckenstandort.....	14
2.2.4 Ungleichberechnung.....	15
2.2.5 Messtechnik.....	15
2.2.6 Beckenauswahl.....	16
2.3 Simulation.....	16
2.3.1 Simulationsprogramm.....	16
2.3.2 Fließzeitverhalten.....	17
2.4 Steuerstrategien.....	19
2.4.1 Steuerformulierung.....	19
2.4.2 Befüll- und Entleerungsstrategie.....	19
2.4.3 Trenngebiete.....	20
2.4.4 Saisonbetrieb Kläranlage.....	21
2.4.5 Umbau, Wartung und Störung.....	21
2.5 Genehmigungsverfahren.....	21
3 Installation	23
3.1 Messtechnik.....	23
3.1.1 Allgemein.....	23
3.1.2 Überlaufmessung.....	23
3.1.3 Durchflussmessung.....	25
3.2 Prozessleittechnik.....	26
3.3 Qualitätsmessung.....	27

3.3.1	<i>Installationshinweise</i>	27
3.3.2	<i>Empfehlungen zum Betrieb</i>	29
3.3.3	<i>Aussagekraft und Kalibrierung</i>	30
3.3.4	<i>Betriebserfahrungen</i>	30
4	Betrieb	32
4.1	Messdatenauswertung	32
4.1.1	<i>Routineprüfung am Einzelbecken</i>	32
4.1.2	<i>Prüfung eines gesteuerten Beckens</i>	33
4.1.3	<i>Auswertebereich</i>	34
4.2	Betriebsablauf	35
4.2.1	<i>Betriebsaufgaben</i>	35
4.2.2	<i>Betriebsanweisung</i>	36
4.2.3	<i>Ertüchtigungsmaßnahmen</i>	36
4.3	Betriebsorganisation	38
4.3.1	<i>Organisationsstruktur</i>	38
4.3.2	<i>Betriebsplanung</i>	39
4.3.3	<i>Personalqualifikation</i>	39
5	Übertragbarkeit	41
6	Fazit	41
	Literatur	42
	<i>Anlage 1: Ausgefüllte Bewertungstabelle nach PASST</i>	43
	<i>Anlage 2: Programmcode der Steuerung (Auszug)</i>	44
	<i>Anlage 3: Überprüfung des SOLL- und IST-Drosselabflusses</i>	45
	<i>Anlage 4: Auszug aus der AST-Betriebsanweisung</i>	46

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1 Handlungsfelder für einen verbesserten Gewässerschutz	3
Abb. 2 Funktionsweise einer integralen Abflusssteuerung.....	7
Abb. 3 Luftbild des Projektgebiets.....	8
Abb. 4 Schematisiertes Einzugsgebiet des Klärwerks West	9
Abb. 5 Abnahme des Entlastungsvolumens bei gleichmäßiger und ungleichmäßiger Überregnung, bei gesteuertem und ungesteuertem Kanalnetz in m ³ /a.....	11
Abb. 6 Kenndaten- und Prozessdatenzyklus	12
Abb. 7 Bewertungstabelle nach PASST zur Bestimmung der Steuerungswürdigkeit eines Kanalnetzes (Auszug).....	13
Abb. 8 Anteilswerte von Beckenvolumen, Einzugsgebietsgröße und Entlastungsfracht.....	14
Abb. 9 Niederschlagshöhen bei Durchzug eines Regengebiets.....	15
Abb. 10 SIMBA-Systemmodell.....	17
Abb. 11 Entwicklung von Steuerungsalgorithmen über einen iterativen Prozess aus Simulation und Auswertung.....	17
Abb. 12 Zeitliche Verschiebung des Steuereingriffs unter Berücksichtigung der Fließzeit..	18
Abb. 13 Fließzeitzonen	18
Abb. 14 Einstellung des Drosselabflusses in Abhängigkeit des Beckenfüllstands.....	20
Abb. 15 Befüll- und Entleerungsstrategie	20
Abb. 16 Überprüfbare Darstellung von WENN-DANN-Regeln.....	22
Abb. 17 Verbesserte Zugänglichkeit von Messstellen bei Einbau von außen.....	23
Abb. 18 Mess- und Regeleinheit mit teilgefülltem IDM.....	25
Abb. 19 Einbindung der Steuerungssoftware (iAST-SPS) in das Prozessleitsystem.....	27
Abb. 20 Oberirdischer Schaltschrank einer Messeinrichtung.....	28
Abb. 21 Temporär (oben) und permanent (unten) eingetauchte Installation einer Spektrometersonde an einer Trennbauwerksschwelle eines RÜB's.....	29
Abb. 22 Trockenwetterganglinien von AFS, CSB, filtriertem CSB (CSBf) und NO ₃ -M mit Drift und Sondenreinigung.....	30
Abb. 23: Verzopfte Spektrometersonde.....	31
Abb. 24 RÜB-Trendkurven für die Einzelregenauswertung und Funktionsüberprüfung....	33
Abb. 25 Prüfung der Steuereingriffe anhand von Trendkurven.....	33
Abb. 26 Statusübersicht nach einer Sondenüberprüfung.....	34
Abb. 27 Vergleichende Messdatenauswertung und statistische Einordnung des Entlastungsverhaltens.....	35
Abb. 28 Arbeitsablauf bei Ertüchtigungsmaßnahmen	37
Abb. 29 Drosselabfluss im Zuge der Beckenbefüllung des RÜB's Brühlstraße.....	45
Abb. 30 Drosselabfluss im Zuge der Beckenentleerung des RÜB's Brühlstraße.....	45

1 Einführung

1.1 Funktionsweise

Sobald das Kanalnetz bei einem Regenereignis seine definierte Kapazitätsgrenze erreicht, wird das überschüssige Mischwasser in ein Gewässer entlastet. Dies geschieht in aller Regel an Regenüberlaufbecken (RÜB) oder Regenklärbecken (RKB). Damit der Entlastungsvorgang nicht unkontrolliert geschieht, sind diese Anlagen mit Mess- und Regelorganen ausgestattet.

Man unterscheidet zwischen einer lokalen Steuerung (Abb. 2, *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 einer 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 Mess-, Stell- oder Regelgrößen des Klärwerks hinzu, so spricht man von einer integralen Abflusssteuerung (Abb. 2, *MORGEN*).

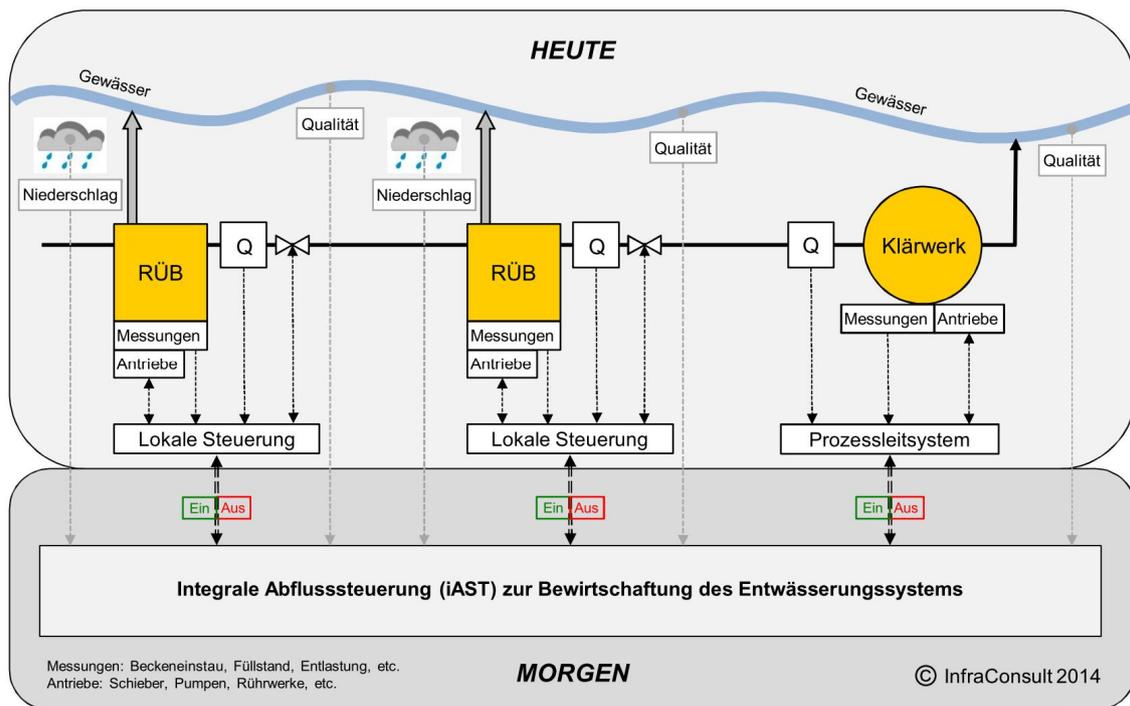


Abb. 2 Funktionsweise einer integralen Abflusssteuerung

HEUTE: Lokale Steuerung, Becken arbeiten unabhängig voneinander
Messungen und Antriebe i.d.R. vorhanden und Daten werden ausgelesen
Ungleichbelastungen werden nicht ausgeglichen

MORGEN: Messdaten der Speicherräume laufen i.d.R. zentral zusammen
Steuerprogramm gibt Stellwerte an die Regelorgane nach Auswertung eines vordefinierten Algorithmus zurück
Weitere Messungen (Regenschreiber, Gewässerqualität) können bei der Formulierung von Steuerregeln genutzt werden

Die Verbundsteuerung hat ihren höchsten Wirkungsgrad bei Regenereignissen mit hoher Häufigkeit (= kurze Wiederkehrzeit, geringe Niederschlagsintensität). Dies sind gerade die Regenereignisse, welche aufgrund des Mischungsverhältnisses von Regenwasser zu Schmutzwasser und der damit verbundenen hohen Entlastungskonzentration als kritisch einzustufen sind. Hingegen ist bei extremen Starkregenereignissen die Effektivität gegenüber einem ungesteuerten Netz vernachlässigbar oder ganz aufgehoben.

1.2 Modellgebiet

Die Stadt Reutlingen teilt sich entwässerungstechnisch in zwei Haupt-Einzugsgebiete, dem Einzugsgebiet des Klärwerks West und des Klärwerks Nord. Im Folgenden wird das Einzugsgebiet des Klärwerks West betrachtet (Abb. 3 und 4), welches als Modellgebiet dient.

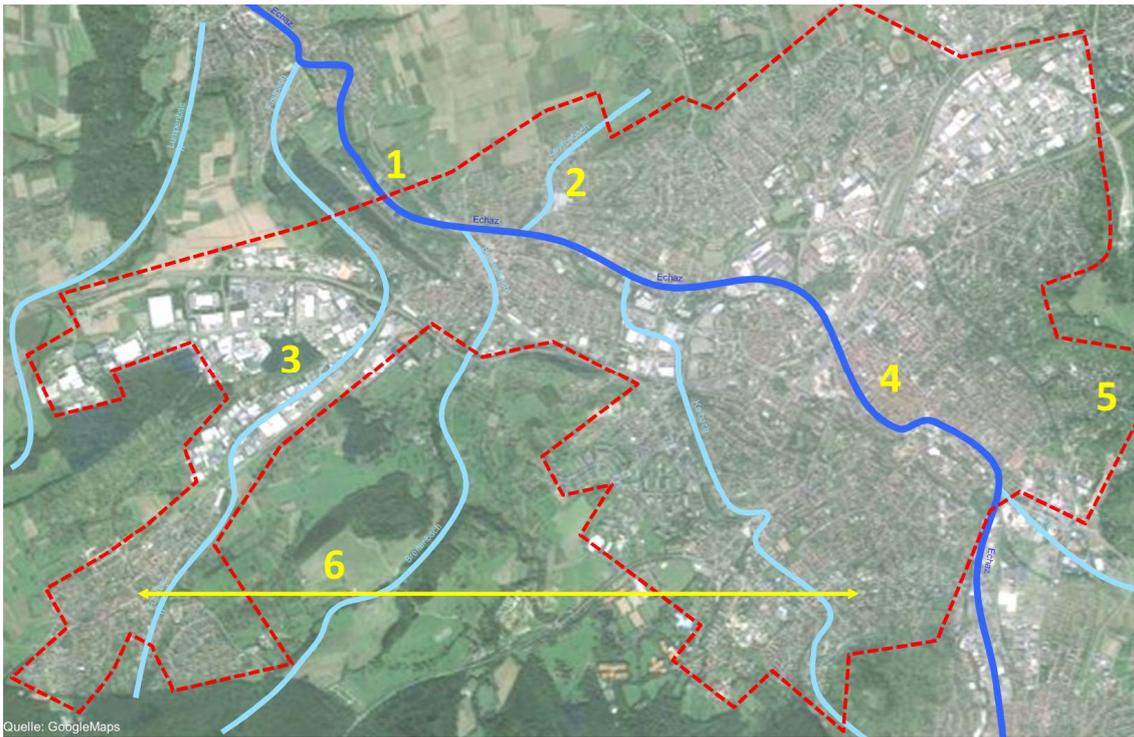


Abb. 3 Luftbild des Projektgebiets (Quelle: GoogleMaps)

Das Einzugsgebiet des Klärwerks Reutlingen West eignet sich als Modellgebiet, da es alle für ein urbanes Gebiet charakteristischen Merkmale aufweist und somit auch allgemeingültige Aussagen ermöglicht.

Die in Abb. 3 eingeblendeten Nummern bedeuten:

- 1 Standort Klärwerk West
- 2 Schützenswerte Nebengewässer (helles blau)
- 3 Gewerbegebiet
- 4 dicht bebauter Stadtkern
- 5 bewegte Topographie am Albtrauf
- 6 geographische Ausdehnung über 5 km

Mit einer Flächenausdehnung von 1.830 ha und 75.000 Einwohner umfasst das Einzugsgebiet des Klärwerks Reutlingen West zwei dörflich bis kleinstädtisch geprägte Stadtbezirke sowie die Kernstadt mit einer typisch urbanen Struktur. Die genehmigte Zulaufmenge zum Klärwerk beträgt 1.200 l/s. Das Kanalnetz mit einer Länge von 380 km wird weitgehend im Mischsystem betrieben, z.T. sind größere Einzelflächen trennentwässert. Es existieren 12 Regenüberlaufbecken, zwei Regenklärbecken (siehe Abb. 4) und ein Regenrückhaltebe-

cken (im Mischsystem, nicht dargestellt). Alle Schlüsselbecken sind technisch gut ausgestattet und an ein Fernwirkssystem via DSL online angeschlossen. Die Messwerte liegen als Minutenwerte verlässlich am Prozessleitsystem an.

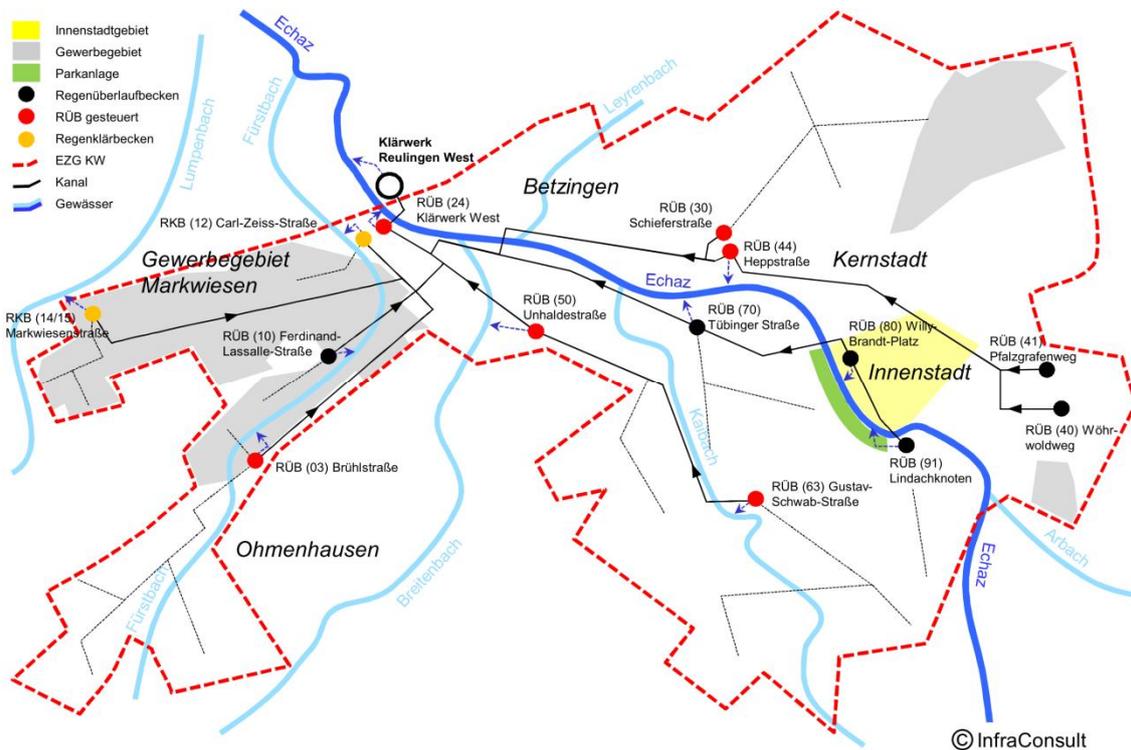


Abb. 4 Schematisiertes Einzugsgebiet des Klärwerks West

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.

Alle Gewässer haben aufgrund vorangegangener Renaturierungen mit entsprechender Freiraumplanung eine hohe stadtgestalterische Bedeutung.

Hinweis: Die in Abb. 4 bezeichneten Becken finden sich im Text entweder mit Namen oder der zugeordneten Nummer. Die rot bzw. orange dargestellten Becken waren am Ende des Forschungszeitraums in die Abflusssteuerung integriert.

1.3 Ausgangssituation

Das Wasserrecht für das Klärwerk West stammt aus den 90iger Jahren und galt für eine Wassermenge von 1.470 l/s bis zum Jahr 2015.

Eine Analyse der Kläranlagenhydraulik hatte ergeben, dass die Durchsatzmenge auf 1.200 l/s beschränkt werden sollte, andernfalls würden hohe Investitionen nicht nur bei der Nachklärung anstehen. Wegen der angestrebten Reduzierung musste also eine Änderung des bestehenden Wasserrechts beantragt werden.

Zeitgleich liefen mehrere Einleiterlaubnisse von Regenentlastungen im Einzugsgebiet aus, für deren Betrieb eine Duldung bestand. Im Rahmen einer Schmutzfrachtberechnung sollten die erforderlichen Nachweise geführt werden, um anschließend die Einleiterlaubnisse mittels eines Sammelantrags für alle Sonderbauwerke zu erteilen.

Der Kläranlagenablauf selbst stellt bei der aktuellen Reinigungsleistung keine Belastung für die Echaz dar. Die meisten Belastungsparameter bewegen sich auf dem gleichen Niveau wie in der Echaz (an der Einleitungsstelle) oder lagen sogar geringfügig darunter.

In einer gewässerökologischen Untersuchung wurden mitunter unerwünschte Auswirkungen der Regenwasserbehandlung im Bereich des RÜB's Klärwerk West, also oberhalb des Kläranlagenauslaufs, festgestellt. Bei Niederschlagsereignissen trägt das Klärwerk hier sogar zu einer Verdünnung der Echaz bei. Die Belastungen aus dem RÜB beeinflussten den Gütezustand der Echaz wesentlich stärker, als die Einleitung des Klärwerks.

Wegen der technisch bedingten Beschränkung der Durchsatzmenge mussten die Drosselabflüsse an den RÜB angepasst werden. Letztendlich standen drei Themenfelder (Kläranlage, Kanal, Gewässer) im Raum, die nur „integriert“ diskutiert werden konnten, um sie auch zeitgleich lösen zu können. Vor diesem Hintergrund bot sich das Einzugsgebiet des Klärwerks Reutlingen West als Modellgebiet für das Teilprojekt „Integrale Abflusssteuerung“ an.

Hauptgewässer Echaz:

Ein, im Vergleich zu den anderen Becken, hohes Entlastungsverhalten wies das RÜB Klärwerk West als letztes Becken vor der Kläranlage auf, was eine ungünstige Einstellkonstellation der Beckendrosseln vor Optimierung des Bestandsnetzes vermuten ließ. 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.

Simulationsrechnungen für das ungesteuerte und gesteuerte System zeigen, dass eine angepasste, besser noch eine flexible DrosselEinstellung der Becken, die Vergleichmäßigung der Entlastungsvorgänge an der Echaz über die innerstädtische Fließstrecke unterstützt.

Nebengewässer Fürstbach:

Von Seiten der Wasserbehörde war gewünscht, die schützenswerten Nebengewässer, vornehmlich den Fürstbach, in die Steuerüberlegungen einzubeziehen.

Dies wurde so bewerkstelligt, dass die sich füllenden Becken entlang des Fürstbaches 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.

Im Zuge des Forschungsvorhabens, welches eine erste Ausbaustufe beschreibt, wurde hierzu das wichtigste Becken am Fürstbach (RÜB Brühlstraße) in die Steuerung einbezogen. Am Ende des Forschungsvorhabens waren fünf Regenbecken und zwei Regenklärbecken in die Steuerung integriert.

Mit der Zielsetzung bei kleinen Regenereignissen die Entlastung ins Gewässer zu vermeiden, wurden zunächst Schmutzfrachtberechnungen mit dem ungesteuerten, optimierten und anschließend dem gesteuerten Netz durchgeführt, jeweils bei gleichmäßiger und ungleichmäßiger Überregnung mittels Regenreihen von 30 Jahren. Die Ergebnisse waren vielversprechend (Abb. 5), so dass das entworfene Steuerkonzept realisiert wurde.

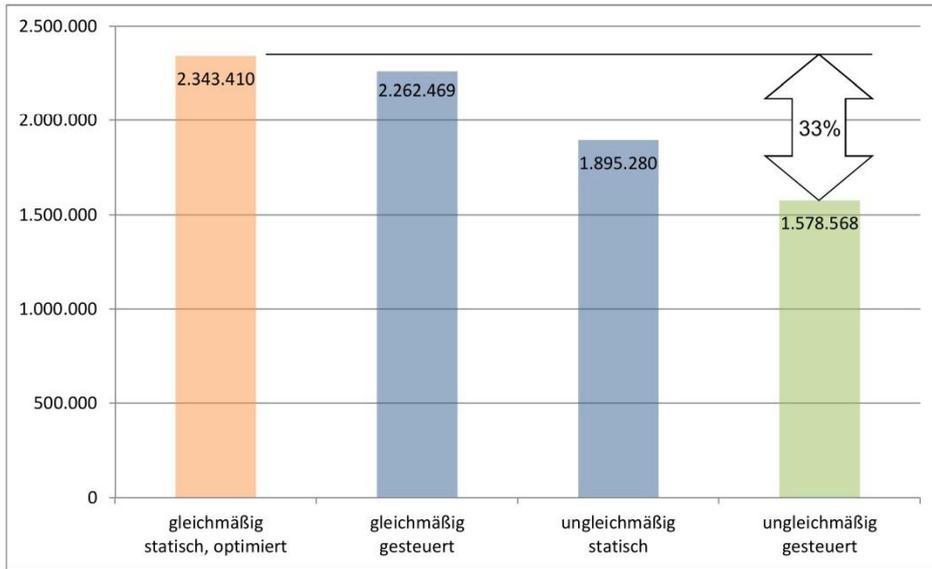


Abb. 5 Abnahme des Entlastungsvolumens bei gleichmäßiger und ungleichmäßiger Überregnung, bei gesteuertem und ungesteuertem Kanalnetz in m³/a

Mitte Juni 2014 wurde der Prototyp einer integralen Kanalnetzsteuerung von der Stadtentwässerung Reutlingen in Betrieb genommen.

2 Planung

2.1 Planungsprozess

Der im Zuge des Forschungsvorhabens eingeschlagene Planungs- und Umsetzungsprozess ist gekennzeichnet von zwei Zyklen, welche im Folgenden als Kenndatenzyklus und Prozessdatenzyklus bezeichnet werden (Abb. 6, vgl. Kap. 1.3).

Hinter dem Begriff des Kenndatenzyklus verbirgt sich der eher theoretische Teil, das sind mittels vereinfachten Verfahren und Simulationen gewonnene Erkenntnisse. Auf der Grundlage von zumeist emissionsorientierten Planungsrichtlinien werden Maßnahmen, beispielsweise zur Minimierung der Entlastungshäufigkeit von RÜB, vorgeschlagen, die den Soll-Zustand beschreiben.

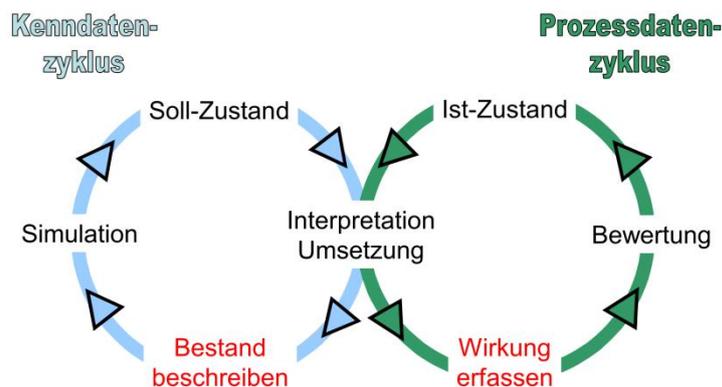


Abb. 6 Kenndaten- und Prozessdatenzyklus

Beim Prozessdatenzyklus hingegen gehen real gewonnene Messdaten oder Erfahrungswerte ein, welche bewertet und interpretiert, dann ebenfalls in Maßnahmenvorschläge münden und den Ist-Zustand beschreiben.

In der Umsetzungsphase werden die Ergebnisse aus beiden Zyklen mit einander verglichen, um zu einem ausgewogenen Maßnahmenpaket zu gelangen.

Der eine Zyklus sollte nicht ohne den anderen abgearbeitet werden und beide werden über einen längeren Zeitraum mehrmals durchlaufen. Dies verdeutlicht, dass das Planen im Bestand mit Erfahrungs- und Messwerten zukünftig immer mehr an Bedeutung erlangen wird. Dieses Vorgehen unterstützt die integrierte Betrachtung.

Aufgrund der Komplexität erscheint es in diesem Zusammenhang besonders wichtig eine übergeordnete Projektleitung zu installieren, welche entsprechendes Durchsetzungsvermögen mitbringt und die Kooperationsbereitschaft der beteiligten Akteure fördert.

2.2 Voraussetzungen

2.2.1 Steuerungswürdigkeit

Von der DWA-Arbeitsgruppe 2.4 „Integrale Abflusssteuerung“ wurde das Merkblatt DWA-M 180, „Handlungsrahmen zur Planung der Abflusssteuerung in Kanalnetzen“ erarbeitet. Es enthält ein einfach zu bedienendes interaktives Programm (Planungshilfe für Abflusssteuerungen, PASST) zur Abschätzung des Steuerungspotenzials eines Entwässerungssystems (Abb. 7, Auszug). Dieses Softwaretool kann über die Webseiten der DWA im Internet aufgerufen werden.

Dabei wird ein „Psychogramm“ des Kanalnetzes entworfen, in dem Fragen zu folgenden Bereichen beantwortet werden: Entwässerungsgebiet, Abwasseranfall, Kanalnetz, betriebliches Verhalten, Gewässer und Kläranlage. Jede Antwort ist mit Bewertungspunkten hinterlegt, deren Summe das Kriterium für weitergehende Untersuchungen ist.

Das ausgeworfene Ergebnis lautet: „vermutlich nicht steuerungswürdig“, „vermutlich steuerungswürdig“ oder „für Steuerung prädestiniert“.

1. Entwässerungsgebiet				
1.1	Gebietsausdehnung (Fließweg im Hauptsammler)	lang > 5 km <input type="radio"/>	mittel <input checked="" type="radio"/>	kurz < 1 km <input type="radio"/>
1.2	Unterschiede zwischen aktueller und geplanter Gebietsentwicklung	groß <input type="radio"/>	klein <input checked="" type="radio"/>	keine <input type="radio"/>
2. Abwasseranfall				
2.1	Gebiete mit spezieller Verschmutzung des Oberflächenabflusses	mehrere <input type="radio"/>	1-2 <input checked="" type="radio"/>	keine <input type="radio"/>
2.2	Örtlich und zeitlich differenzierter Schmutzwasseranfall, z.B. Starkverschmutzer, Übergabe aus Trennsystemen	hoch <input type="radio"/>	mittel <input checked="" type="radio"/>	keiner <input type="radio"/>

Abb. 7 Bewertungstabelle nach PASST zur Bestimmung der Steuerungswürdigkeit eines Kanalnetzes (Auszug)

Für das Modellgebiet wurde die Bewertungstabelle ausgefüllt. Die ausgefüllten Fragebögen sowie das Ergebnis finden sich in der Anlage 1. Das Netz ist für den den Steuerungsbetrieb prädestiniert.

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.

2.2.2 Beckenkennzahlen

Die Abflusssteuerung erweist sich als besonders vorteilhaft, wenn langfristige Planungsannahmen und aktuelle Entwicklungen bzgl. Bevölkerungsdichte, Versiegelungsgrad oder Landnutzung nicht deckungsgleich sind und entsprechendes Beckenvolumen fiktiv verschoben werden kann.

Zur Erkundung von, im Verhältnis zu den anderen Becken, über- oder unterbelasteten Speicherkapazitäten werden die Ergebnisse aus einer Schmutzfrachtsimulation (und die der Messdatenauswertungen) des statisch betriebenen Netzes nach Optimierung der Drosselabflüsse genutzt. In Reutlingen liegt hierzu eine Langzeitsimulation mit einer 30-jährigen Regenreihe zu Grunde. Diese Berechnungen bilden die Grundlage für die Beckenauswahl, welche prioritär in die Abflusssteuerung aufzunehmen sind.

Es wurden zwei Rechengänge durchgeführt: eine Bestandsberechnung und eine optimierte Bestandsberechnung. Während erstere die tatsächlich eingestellten Drosselwerte berücksichtigt, wurden im Zuge der zweiten Rechnung die Drosselabflüsse so gewählt, dass das gewünschte Entlastungsverhalten für einen optimierten, statischen Betrieb erzielt wurde. Im Folgenden wird auf die optimierte Bestandsberechnung eingegangen.

Bei emissionsorientierter (Neu-) Bemessung von Regenbecken sind die Speicherkapazitäten und Drosselabflüsse auf das dem Becken zugeordnete Einzugsgebiet abgestimmt. Trägt man die Anteile von Beckenvolumen, angeschlossener Fläche und Entlastungsfracht in einem Balkendiagramm untereinander auf, so ergeben sich idealerweise drei gleich lange Balken.

In Abb. 8 sind die prozentualen Beitragsanteile von Beckenvolumen, Einzugsgebietsgröße und Entlastungsfracht aufgetragen. Man erkennt, dass das RÜB 44 stärker zur Entlastung beiträgt, als es eigentlich der Größe seines angeschlossenen Einzugsgebiets entspricht. Genau das Gegenteil ist beim RÜB 50 und RÜB 03 festzustellen. Hingegen wird das RÜB 91 bzgl. seiner Auslastung optimal genutzt, alle drei Balken sind fast gleich lang, was dem oben beschriebenen Ideal sehr nahe kommt.

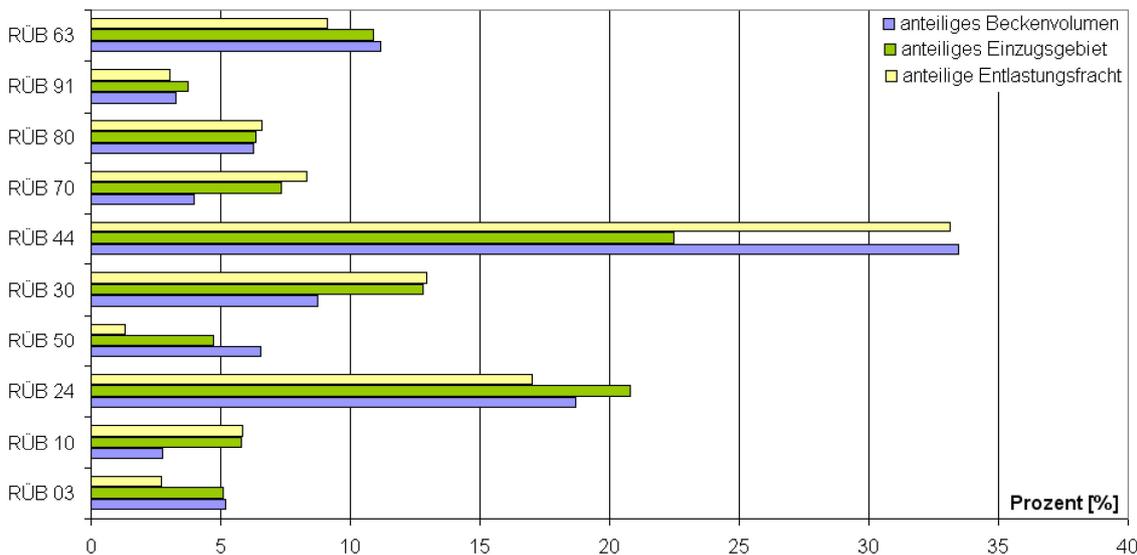


Abb. 8 Anteilswerte von Beckenvolumen, Einzugsgebietsgröße und Entlastungsfracht

Die Gewässer unterscheiden sich in ihrer Aufnahmefähigkeit von entlastendem Mischwasser aus der Kanalisation. Die Echaz wird auf Verschmutzungsstöße im Zuge von Entlastungsvorgängen sicherlich nicht so sensibel reagieren wie die kleineren Zuflüsse. D.h., dass eine Strategie der gleichmäßigen Auslastung der Beckenvolumen dem kleineren Gewässer zum Nachteil gereicht. Besser wäre eine teilweise Verlagerung der Entlastung in das belastbarere Gewässer. Diese Regel sollte insbesondere die Grundlage für das Entwerfen von Steuerregeln werden. Sie wurde in Reutlingen für das optimierte statische Netz bereits angewandt. Deshalb haben die RÜB 03 und 50 (Brühlstraße, Unhaldestraße) im Vergleich zu ihren Volumen und Flächen, schon im statischen Betrieb eher kleine Frachtmengen.

Solange die Schmutzfrachtentlastung an den Becken als Leitparameter zu Grunde gelegt wird, handelt es sich immer um eine rein emissionsorientierte Betrachtung. Viel wichtiger ist es aber, die Gewässersituation einfließen zu lassen.

Sensible Gewässer sind zu schonen, weniger sensible Gewässer lassen sich eventuell höher belasten. Auf dieser Basis müssen Zielentlastungsfrachten entworfen werden. Die Differenz zwischen Zielentlastung und aktueller Entlastungsfracht beschreibt den Grad der Effizienz auf das Gesamtsystem.

2.2.3 Beckenstandort

Becken, die geographisch weit voneinander entfernt liegen, besitzen ein höheres Steuerpotenzial, da bei ungleicher Beregnung des Stadtgebiets die Beckenabläufe so variiert werden, dass Abflussreserven aus der einen Richtung den Drosselabflüssen aus anderer Richtung zugeschlagen werden können, ohne dabei die Kläranlage zu überlasten. Dieses Prinzip gilt nicht nur bei einer flächenhaften Überregnung, sondern - und eben besonders dann - wenn das Regengebiet über die Stadt hinwegzieht.

2.2.4 Ungleichberechnung

Vor allem bei ungleichmäßiger Berechnung kommen die Vorteile der Abflusssteuerung zur Geltung. Eine Betrachtung zur Ungleichberechnung wurde möglich, weil die Stadtentwässerung Reutlingen zwischenzeitlich 12 Regenschreiber im gesamten Stadtgebiet installierte. Die räumliche Verteilung der Regenschreiberstandorte im Modellgebiet symbolisieren die Nummern in Abb. 9. Der blaue Pfeil weist die Zugrichtung des Regengebiets. Es sind die Regenhöhen der Schreiber 9, 10, 7 und 5 entsprechend dem ihrem zeitlichen Verlauf aufgetragen.

Die Abbildung macht deutlich, wie in Folge der Ungleichberechnung auch die Regenbecken ungleich belastet werden. Die Kapazität der Kläranlage wird bei statisch betriebenen Netzen so nicht genutzt.

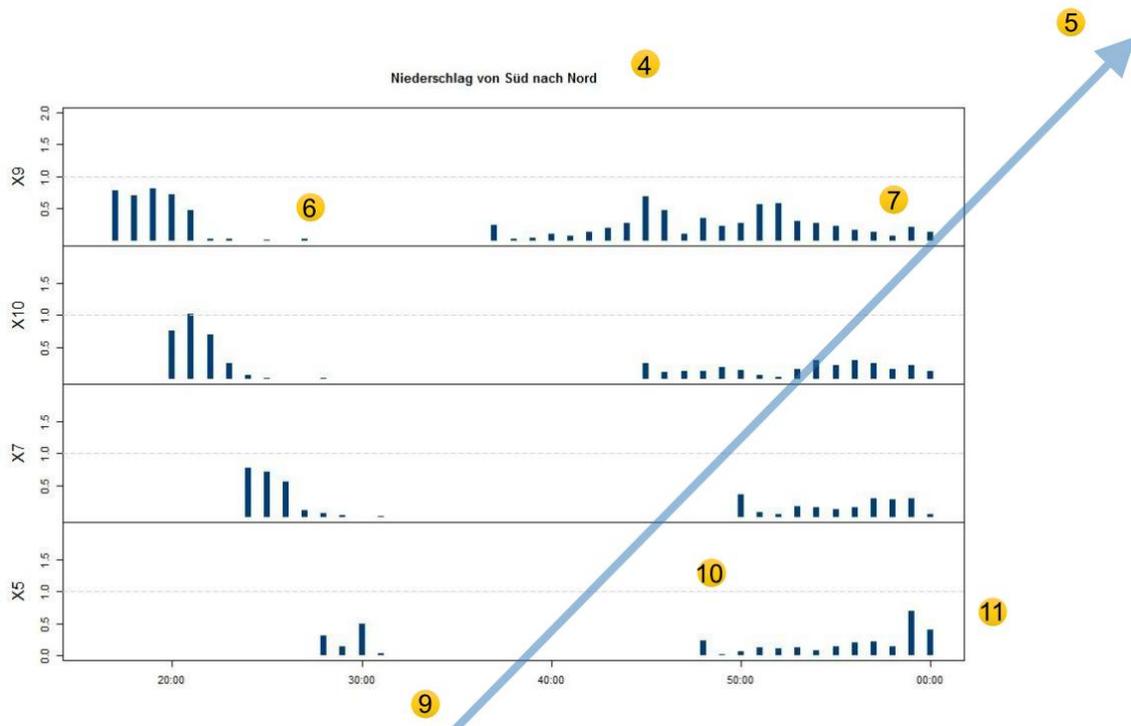


Abb. 9 Niederschlagshöhen bei Durchzug eines Regengebiets

2.2.5 Messtechnik

In der ersten Ausbaustufe der Steuerung können - ohne zusätzliche Kosten - alle die Becken aufgenommen werden, welche die Mindestanforderungen für eine Abflusssteuerung erfüllen. Dies sind eine zuverlässige Messdatenerfassung und -übertragung sowie von fern regelbare Stellglieder. Vornehmlich sind dies elektrische Regelschieber, welche über eine induktive Messeinrichtung angesteuert werden (vgl. Kap. 3.1.3), oder Pumpen mit Frequenzumrichter.

Auf Folgendes ist zu achten:

- die Trennschärfe (Maßgenauigkeit) sollte hoch sein
- die Messung muss zuverlässig sein, Fließhöhenmessungen als Grundlage einer Durchflussermittlung in einem Nachschacht müssen rückstausicher sein; oberwassergesteuerte Schieber sind ungewiss, da gesteuert und nicht geregelt
- der Regelbereich sollte mindestens zwischen 1 und 5 Q_{TW} liegen (nachfolgendes Netz muss den Abfluss abführen können!)

- die Notumgehung sollte mit einem E-Schieber ausgestattet sein
- ein trocken aufgestelltes Regelorgan ist zu bevorzugen

Der Zeitaufwand bis alle benötigten Sonden so funktionieren, wie man es für ein gesteuertes Netz erwartet, darf nicht unterschätzt werden (vgl. Kap. 4).

2.2.6 Beckenauswahl

Für die aktive Steuerung der Drosselabflüsse wurden auf Basis der oben beschriebenen Situation für die erste Ausbaustufe drei und im weiteren Verlauf des Forschungsvorhabens zwei weitere RÜB's integriert.

RÜB 24 Klärwerk West: Das RÜB ist das letzte Becken vor der Kläranlage und steuert den Kläranlagenzufluss, welcher trennscharf einzuhalten ist.

RÜB 03 Brühlstraße: Das Becken entlastet in ein schützenswertes Gewässer. Damit wird das Becken bzgl. der Drosseleinstellungen prioritär behandelt.

RÜB 30 Schieferstraße und RÜB 44 Heppstraße: Beide Becken haben ein großes Volumen (zusammen $> 7.000 \text{ m}^3$), was entsprechendes Steuerpotenzial bei Ungleichberegnung aufweist.

RÜB 63 Gustav-Schwab-Straße: Das Becken liegt dezentral und ist relativ groß.

RÜB 50 Unhaldestraße: Von diesem Becken gehen die Betriebsdaten in die Steuerung ein, da es dem RÜB 63 nachgeschaltet ist.

2.3 Simulation

2.3.1 Simulationsprogramm

Die in Kap. 2.4.1 skizzierte Steuerungsstrategie wurde in der international normierten Steuerungssprache IEC 61131-3 Structured Text umgesetzt (Anlage 2, Auszug Programmcode) und simulativ getestet. Als Simulator dient das Programm Simba#, welches eine benutzerfreundliche neue Version und Erweiterung des zuvor verwendeten Simulators Simba darstellt. Simba# erlaubt die Simulation der Niederschlags-Abfluss-Vorgänge sowie den Abfluss im Kanalnetz einschließlich der Berücksichtigung von Steuereingriffen. Hierbei bietet es verschiedene Optionen der hydrologischen und der hydrodynamischen Kanalnetzsimulation an. Beide Modellierungsansätze entsprechen denen in Deutschland. Für die hier dargestellten Simulationen wurde auf die hydrologischen Modellierungsoptionen des Simulators zurückgegriffen.

Abb. 10 stellt die oberste Systemebene des Netzmodells dar. Teileinzugsgebiete sind als Subsysteme modelliert, die als Dreiecke gekennzeichnet sind.

Die Integration hydrologischer und hydrodynamischer Module in Simba# erlaubt es dann, den - entsprechend der Methodik des Merkblattes M180 - zunächst in einer Simulationsvorstudie grob getesteten Algorithmus anschließend anhand eines hydrodynamischen Modells mit demselben Simulator weiter zu verfeinern. Dem fortgeschrittenen Nutzer stehen zudem Schnittstellen zu C# und Python zur Verfügung. Der Simulator erlaubt die Definition und Verwendung beliebiger Steuerungsalgorithmen in der Simulation. Ein Steuerungseditor mit Syntaxcheck erlaubt die einfache Eingabe von Steuerungsalgorithmen. Hierbei stellt die Beschreibung der Steuerung in der Steuerungssprache Structured Text sicher, dass der vor Ort in der SPS implementierte Algorithmus exakt demjenigen entspricht, der simulativ entwickelt und getestet worden ist. Simulationen des Kanalnetzes Reutlingen erfolgten unter der Annahme ungleichmäßiger Überregnung (4 Regenschreiber) über ein Kontinuum von 30 Jahren.

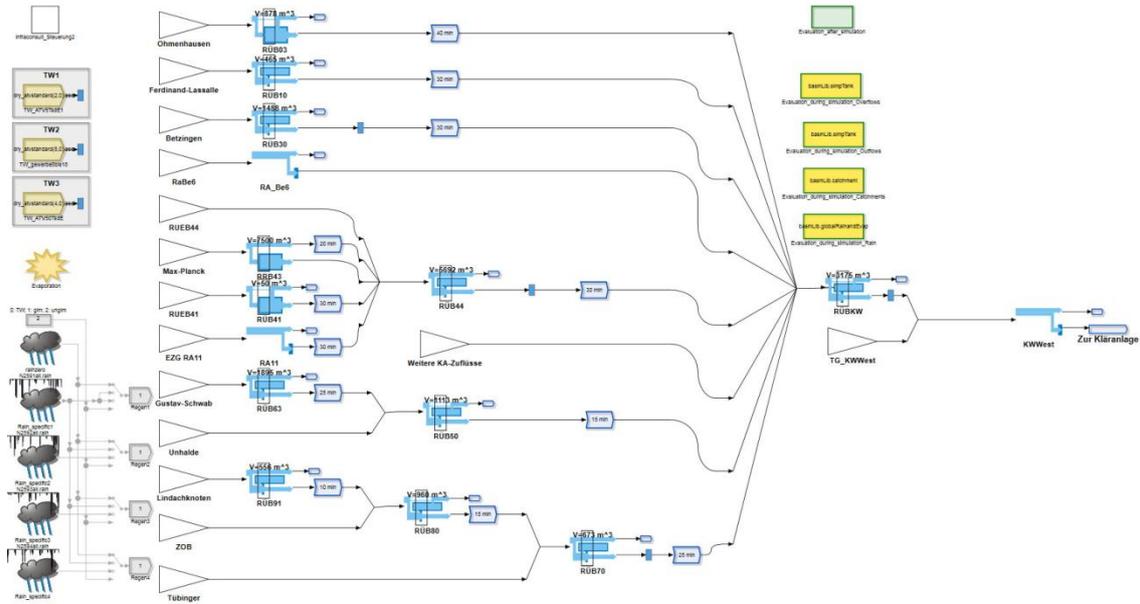


Abb. 10 SIMBA-Systemmodell

Die Erstellung der Steuerungsregeln erfolgte, unter Berücksichtigung der o. g. Aspekte, in einem iterativen Prozess aus Simulation, Bewertung und Verbesserung des Regelsatzes (vgl. Abb. 11). Alternative Ansätze (Anwendung formaler mathematischer Optimierungsverfahren oder die Verwendung eines verallgemeinerten Steuerungsalgorithmus) wären ebenfalls möglich, sind hier aber nicht verfolgt worden.

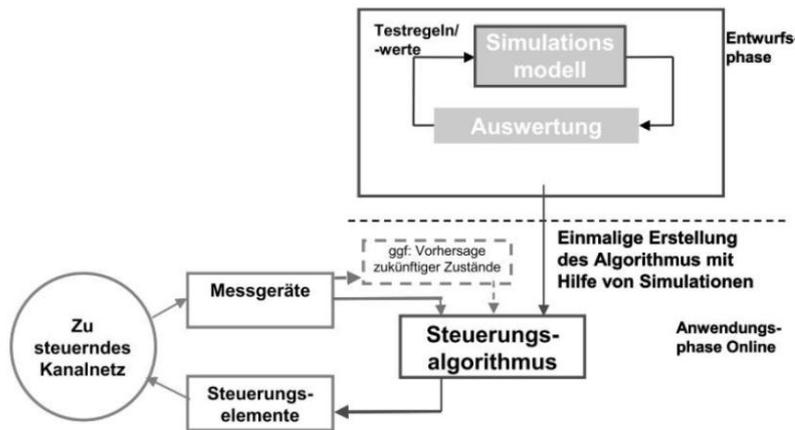


Abb. 11 Entwicklung von Steuerungs-algorithmen über einen iterativen Prozess aus Simulation und Auswertung

Quelle: DWA Merkblatt M-180

2.3.2 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 Abb. 12 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.

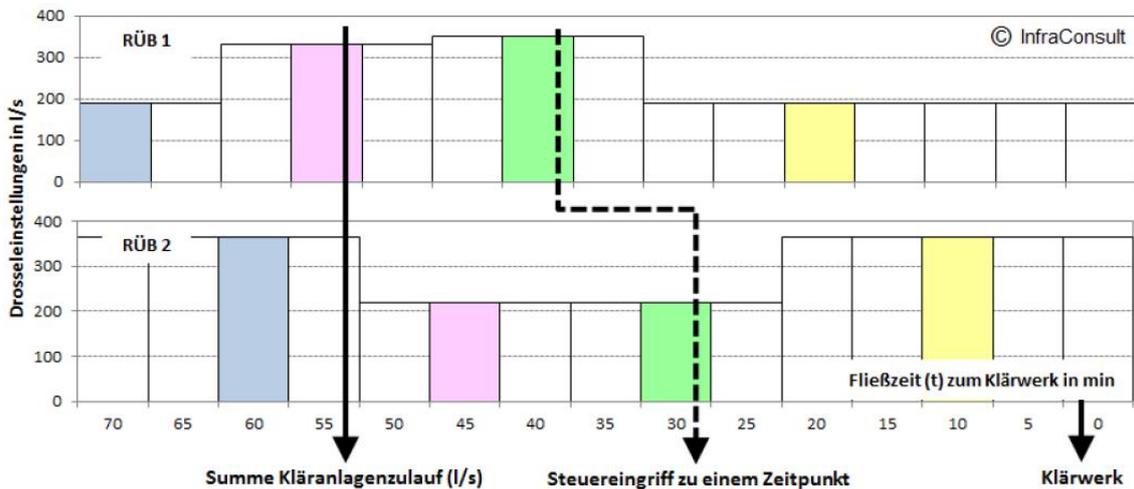


Abb. 12 Zeitliche Verschiebung des Steuereingriffs unter Berücksichtigung der Fließzeit

Mit länger werdenden Fließzeiten flachen sich die gedrosselten Abflüsse im Kanalnetz 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 (Abb. 13). Alle Becken gleicher Zone können unbeeinflusst von Fließzeitüberlegungen abhängig voneinander gesteuert werden. Die Summe ihrer genehmigten Einzelablaufmengen wird nicht überschritten.

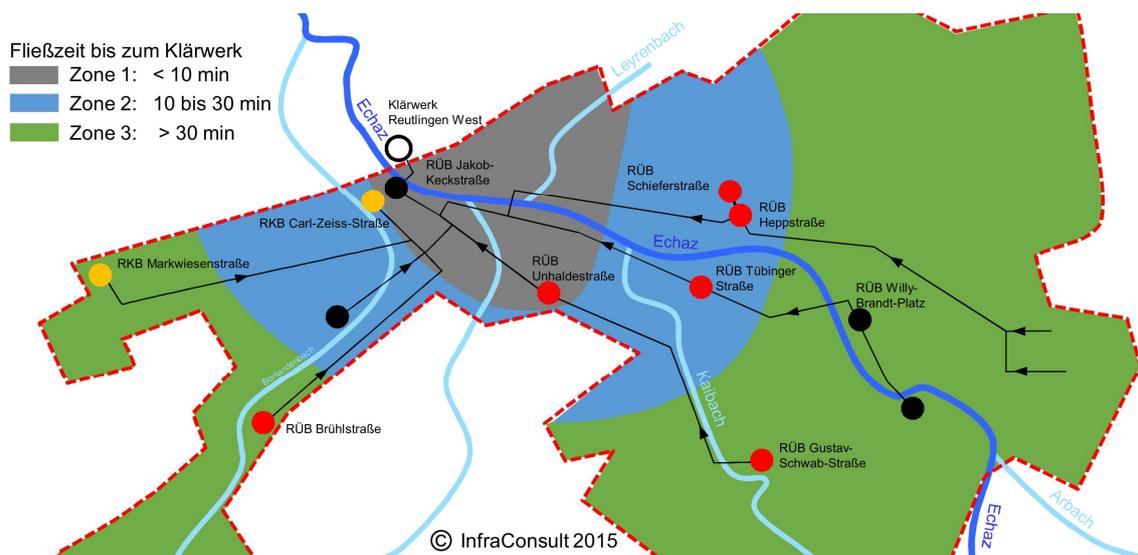


Abb. 13 Fließzeitzonen

Um den Einfluss der Fließzeit simulativ zu untersuchen, wurden den Steuerregeln Messwerte aus der Vergangenheit der jeweiligen Fließzeit zugeordnet.

Die Ergebnisse zeigen, dass bei Anwendung des Ansatzes mit den Vergangenheitswerten, das Überlaufvolumen ansteigt, und sich, wie erwartet, die Dauer der Zulaufüberschreitung reduziert.

2.4 Steuerstrategien

2.4.1 Steuerformulierung

Für die Entwicklung von Basisstrategien werden vornehmlich die folgenden sieben Kriterien verwandt (nach DWA-M 180): Entlastungshäufigkeiten, -volumen und -dauer, Entlastungsfrachten und -konzentrationen, maximaler Kläranlagenzufluss unter Einhaltung der Überwachungswerte am Ablauf und gewässergütebasierte Kriterien (z.B. biologisches Besiedlungsbild).

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):
Regentlastungen 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 Kläranlagenzulauf, 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 auch 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” und das/die andere(n) - wenn möglich - auf “normal” . 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.

Für die Abflusssteuerung in Reutlingen werden zwei Messwerte genutzt, der Beckenwasserstand und der Drosselabfluss. Auf Basis dieser beiden Werte wurden die oben beschriebenen WENN-DANN-Regeln entworfen. Die Abb. 14 zeigt eine stufenweise Anpassung des Drosselabflusses je nach Beckenwasserstand bzw. Einstauvolumen. In diesem Beispiel wird die Entlastung zeitlich verzögert oder ganz vermieden.

2.4.2 Befüll- und Entleerungsstrategie

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.

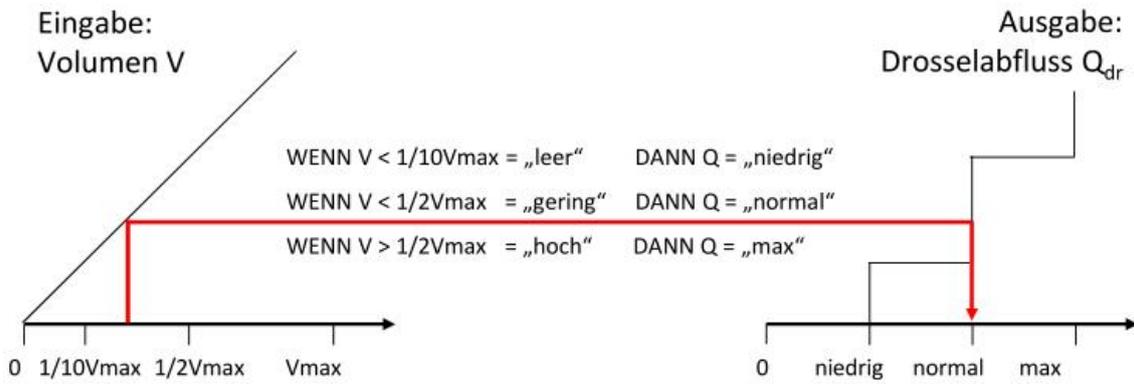


Abb. 14 Einstellung des Drosselabflusses in Abhängigkeit des Beckenfüllstands

Die Abb. 15 zeigt beispielhaft zwei RÜB, deren Drosseleinstellungen je nach Füllstand der Becken erhöht bzw. verringert werden. Die angegebenen Drosseleinstellungen sind qualitativ zu verstehen und beziehen sich auf das direkt zugeordnete Einzugsgebiet. Der tatsächliche Drosselwert richtet sich nach den oberhalb und unterhalb liegenden Becken und wird zudem von der hydraulischen Kapazität des weiterführenden Netzes begrenzt. Die Einstellungen zeigen einen Gesamtdrosselwert von $4 Q_{TW}$.

Während beim Befüllen der Becken versucht wird, den Entlastungsbeginn der volleren Becken hinauszuzögern (Bild 15 links), nutzt die Entleerstrategie (Bild 15 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.

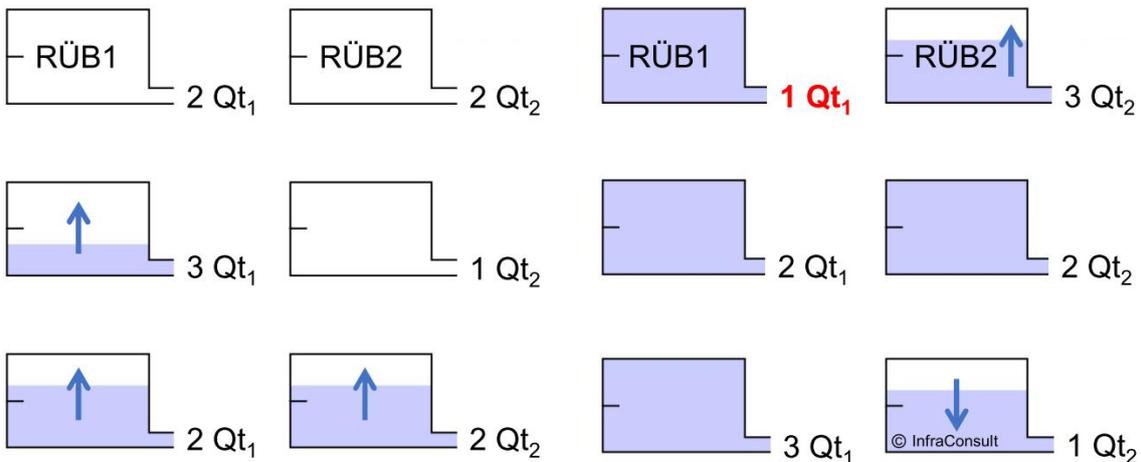


Abb. 15 Befüll- und Entleerungsstrategie

2.4.3 Trenngebiete

Das Gewerbegebiet „Markwiesen“ (siehe Abb. 4) im Südwesten von Reutlingen ist trennentwässert. Derzeit entleeren die RKB in Abhängigkeit des Kläranlagenzulaufs und sind auf dieser Grundlage zeitgesteuert in die Abflusssteuerung aufgenommen. Wünschenswert wäre, dass zukünftig das RKB am schützenswerten Fürstbach in gleicher Weise wie die übrigen RÜB in die Verbundbeckensteuerung integriert wird, damit das Beckenvolumen möglichst rasch nach Regenende wieder zur Verfügung steht.

2.4.4 Saisonbetrieb Kläranlage

Das Wasserrecht des Klärwerks sieht vor, dass die Kläranlage saisonal betrieben wird. In den Sommermonaten darf der Kläranlage mehr Abwasser zugeführt werden als in den Wintermonaten. Diese Leistungsreserve soll zukünftig nicht nur statisch am letzten RÜB vor der Kläranlage, sondern im gesamten Einzugsgebiet optimiert genutzt werden.

2.4.5 Umbau, Wartung und Störung

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 bei Ausfall einer wichtigen Messsonde angezeigt. Der verallgemeinerte Steuerungsalgorithmus sieht hierfür - sofern möglich - den Rückfall auf eine lokale Steuerung des entsprechenden Elementes vor.

Wird die Steuerung in einen „Wartungsmodus“ versetzt, so heißt dies nicht, dass die Ziele der Steuerung hinfällig wären, 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.

2.5 Genehmigungsverfahren

Nach erfolgter Potenzialstudie (Kap. 2.1 bis 0) können intensive Gespräche über Größenordnung und Örtlichkeit einer Entlastungsminderung und damit einer Gewässergüteverbesserung geführt werden. An den Gesprächen sind alle Entscheidungsträger zu beteiligen. Diese sind:

Die Verwaltung/der Betreiber, die Planer anderer Fachbereiche (Stadt- und Landschaftsplanung), Interessensverbände und die Genehmigungsbehörde. In Form eines regelmäßig tagenden Runden Tisches werden die Planungsergebnisse, deren Möglichkeiten und Grenzen diskutiert.

Grundsätzlich sollte die Genehmigungsfähigkeit einer Kanalnetzsteuerung nicht anders zu bewerten sein, als jede andere Neu- oder Umbaumaßnahme im Entwässerungssystem. Sie sollte dann akzeptabel sein, wenn die Auswirkungen auf die Gewässer gegenüber einem statischen System mindestens gleich sind. Bei der Festlegung der Anforderungen an ein gesteuertes Netz ist ein Vergleich mit einem statischen System somit zwingend erforderlich.

Zu Beginn des Forschungsvorhabens lagen eine Schmutzfrachtsimulation des statisch betriebenen Systems, Auswertungen von plausibilisierten Messdaten an den Regenüberlaufbecken über einen Zeitraum von zwei Jahren und Gewässeraufnahmen vor. Zudem wurde über einen Zeitraum von einem Jahr das statische System auf dieser Basis optimiert.

Letztendlich wurde der Betrieb für das Forschungsvorhaben auf Basis abgestimmter, überprüfbarer Steuereingriffe (Abb. 16) genehmigt. Zusätzlich waren die erlaubten Spannungswerten bezüglich des Drosselabflusses auf minimal das 1,5-fache (=niedrig) und maximal das 4-fache von Q_{TW} (=max) und die Beckeneinstauhöhe, bis zu welcher gesteuert wird, auf 50 % des Beckenfüllstands (> hoch) beschränkt.

Die Steuereingriffe wurden anhand von Ganglinien der Drosselabflüsse beobachtet und überprüft (Anlage 3). Von besonderem Interesse sind hier die Drosselanpassungen am RÜB Brühlstraße, da an diesem Standort die Entlastungstätigkeit zurückgenommen werden soll. Die Hinweispeile in der Abb. 30 (Anlage 3) verdeutlichen, dass die Spannungswerte der

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	
1	leer	leer	leer	leer	leer	normal	normal	normal	normal	normal	1.200
2	gering	leer	leer	leer	leer	max	niedrig	normal	normal	normal	1.102
3	hoch	leer	leer	leer	leer	max	niedrig	normal	normal	normal	1.102
4	leer	gering	leer	leer	leer	niedrig	max	normal	normal	normal	1.172
5	gering	gering	leer	leer	leer	max	niedrig	normal	normal	normal	1.102
6	hoch	gering	leer	leer	leer	max	niedrig	normal	normal	normal	1.102
7	leer	hoch	leer	leer	leer	niedrig	max	normal	normal	normal	1.172
8	gering	hoch	leer	leer	leer	niedrig	max	normal	normal	normal	1.172
9	hoch	hoch	leer	leer	leer	normal	normal	normal	normal	normal	1.200
10	leer	leer	gering	leer	leer	niedrig	niedrig	max	normal	normal	1.200
11	gering	leer	gering	leer	leer	max	niedrig	erhöht	normal	normal	1.200
12	hoch	leer	gering	leer	leer	max	niedrig	erhöht	normal	normal	1.200

Abb. 16 Überprüfbare Darstellung von WENN-DANN-Regeln

Drosseleinstellungen zukünftig weiter gefasst werden dürfen. Obwohl das Becken Brühlstraße leer ist, hat die entstandene Differenz zwischen herrschendem Trockenwetterabfluss und Drosselabfluss am RÜB Gustav-Schwab-Straße bislang keinen Effekt auf dessen Einstellung.

Aus Sicherheitsgründen war die Steuerung in den ersten Wochen nur während der Arbeitszeit des Betriebspersonals eingeschaltet.

Zusammengefasst ergibt sich folgende Vorgehensweise:

- Vergleich der Simulationsergebnisse mit dem statisch betriebenen System
- Festlegen von Steuerspannweiten für Q_{Drossel} und V_{Becken} (Füllgrad)
- Dauer für den Probetrieb wählen (z.B. 6 Monate) mit anschließender Berichterstattung
- Sicherheitsmechanismen beschreiben (z.B. Betrieb während der Arbeitszeiten)

3 Installation

3.1 Messtechnik

3.1.1 Allgemein

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 die Messsonden für das Betriebspersonal gut erreichbar zu positionieren, da sonst die unumgängliche, regelmäßige Wartung und damit das Messwtergebnis leidet, infolge dessen der Überwachungsaufwand steigt.

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% [ATV-DVWK-M 177, Bemessung und Gestaltung von Regenentlastungsanlagen in Mischwasserkanälen, Juni 2001].

Für alle Messsondenstandorte, die nicht in vorbeschriebener Weise geplant oder umgebaut werden, sollten Höhenbolzen in der Nähe der Sonde eingeschlagen sein. Dies vereinfacht den Höhenabgleich, da sich die Messwerte vor Ort auf müNN umrechnen lassen.

Neben den im folgenden Kapitel diskutierten Sondentypen gibt es noch andere, ebenfalls am Markt gebräuchliche. Zu nennen wären die „Kanalmaus“ (digitale Mustererkennung), die Gabelsonde oder das Einperlverfahren. Letzteres wird allerdings kaum noch angerufen.



Abb. 17 Verbesserte Zugänglichkeit von Messstellen bei Einbau von außen

3.1.2 Überlaufmessung

Überläufe werden i.d.R. mit Druck-, Radar- oder Ultraschallsonden gemessen.

Da die Messwerte möglichst genau sein sollen, kommt es zum einen auf den richtig gewählten Messbereich der Sonde an (Auflösung im Millimeterbereich), zum anderen auch auf einen hydraulisch günstigsten Standort. Generell gilt, dass die Sondenmessung noch unterhalb der Wehrschwelle beginnen sollte, damit eine Hysterese mit erfasst wird.

Wird die Sonde zu nah an die Wehrschwelle positioniert, fällt die Messung in den Absenkungsbereich des Überfallstrahls. Es empfiehlt sich einen Abstand von mindestens des

drei- bis vierfachen der Überfallhöhe zu wählen. Falls das Wehr mit einer Tauchwand ausgestattet ist, wäre dies noch vor der Tauchwand.

Es macht einen Unterschied ob die Überfallhöhe an einem Streichwehr oder an einem senkrecht angeströmten Wehr gemessen wird. An einem Streichwehr tritt eine gekrümmte Wasserspiegellage auf. Näherungsweise erhält man die mittlere Überfallhöhe als Messwert, wenn die Sonde in der Mitte angeordnet wird.

Sollte die Sonde an dem vorbeschriebenen hydraulisch günstigsten Standort für das Betriebspersonal unerreichbar sein, empfiehlt es sich einen anderen Standort zu wählen. Die hydraulischen Besonderheiten werden dann bei der Messdatenauswertung berücksichtigt.

Radar-/Ultraschallsonde

Radar- oder Ultraschallsonden eignen sich zur Messung von Wasserstand und Fließhöhe.

Eine Radar- oder Ultraschallsonde gehört zu den berührungslosen Messmethoden. Das Messprinzip besteht in der Messung der Laufzeit eines Mikrowellen- oder Schallimpulses. Sie wird an der Bauwerksdecke oder an einem Kragarm installiert und sollte selbst bei Volleinstau mit dem Abwasser nicht in Kontakt kommen.

Die Sonden haben eine Blockdistanz, d.h. ein Bereich in dem kein Messwert übertragen wird, da die Sonde von Senden auf Empfangen umschaltet. Er misst rd. 20 cm ab Unterkante Sonde. Dieser Abstand ist bei der Planung zu berücksichtigen. Reicht der Freibord nicht aus, so kann die Sonde auch waagrecht mit einem Umlenblech eingebaut oder muss höher gesetzt werden. In diesem Fall wird die Beckendecke geöffnet (Kernbohrung) und Schachtringe aufgesetzt (Abb. 17 rechts), in denen die Sonde montiert wird. Dies hat den Vorteil, dass die Sonde von außen zugänglich ist und bequem gewartet werden kann.

Am besten werden die Sonden so platziert, dass keine Einbauteile (z.B. Leitern) die sog. Schallkeule stören. Auch darf der Sohlbereich, bis zu welchem die Sonde messen soll, nicht zu eng oder schief sein (z.B. Bermen oder Vouten). Je höher die Sonde sitzt, umso größer sollte die angezielte Grundfläche sein. Deshalb ist es oft problematisch diese Sondenart für die Messung des Wasserstandes in kleineren Pumpensümpfen o.ä. zu verwenden.

Da die Schallgeschwindigkeit von der Dichte der Luft abhängt, die Lufttemperatur aber am Sensorkopf gemessen und - nur in einem gewissen Rahmen - messtechnisch kompensiert werden kann, sollten die Sonden bei offenen Becken nicht der direkten Sonneneinstrahlung ausgesetzt werden. Gegenüber Temperaturschichtungen oder dämpfiger Atmosphäre sind Radarsonden unempfindlich.

Drucksonde

Drucksonden kommen mit dem Abwasser in Kontakt und müssen in einem Schutzrohr verlegt werden, welches an der Beckenwand oder einer Beckenstütze befestigt ist. Ihr Messprinzip beruht auf der Umwandlung der Membranverformung in ein elektrisches Signal.

Um die Zugänglichkeit von Sonden in Beckensohlennähe zu gewährleisten, ist der untere Teil des Schutzrohres (ca. 1,5 m) vom weiter aufsteigenden Teil getrennt und nur angeklickt. So kann das Schutzrohrende abgenommen und die Sonde gewartet werden. Das abgenommene Schutzrohr kann auch als Messrohr verwendet werden.

Muss eine höher liegende Sonde abgehängt werden, so empfiehlt es sich genügend Kabelschlingen vorzusehen, um mehr Bewegungsfreiheit zu haben. Außerdem muss die Aufhängvorrichtung so gestaltet sein, dass sich die Sonde millimetergenau zurückhängen lässt.

Die Drucksonde lässt sich problemlos warten, wenn sie von außen zugänglich ist. Wie schon bei der Ultraschallsonde beschrieben, wird hierzu ein Wartungsschacht auf die Bau-

werksdecke gesetzt (Abb. 17 links). Eine weitere Möglichkeit ist die Sonde in die Beckenwand zu integrieren, beispielsweise in die Trennwand zum Pumpenkeller neben dem Becken. Sie kann auch auf eine geschlossen geführte Abwasserleitung gesetzt werden, dann allerdings ist der Druckabfall bei höheren Fließgeschwindigkeiten in der Leitung zu berücksichtigen. In all diesen Fällen erübrigt sich der Einstieg in den Ex-Bereich.

Drehwinkelgeber

Dreh- oder Neigungswinkelgeber werden an der Rückseite von Klappen montiert, um dessen Stellung bestimmen zu können. Der Messwert, in Verbindung mit einer Wasserspiegelmessung, dient als Steuerwert für die Klappenmechanik, um den Wasserspiegel konstant zu halten.

Für die Ermittlung der Entlastungsmenge ist es wichtig, dass die beiden Sonden (Drehwinkelgeber und Wasserstandssonde) besonders exakte und vertrauenswürdige Werte liefern, da sich Fehler der Messung bei der Berechnung addieren, evtl. potenzieren und das Ergebnis verfälschen, ohne dass es eine Möglichkeit der Plausibilisierung gäbe.

Es hat sich gezeigt, dass ein einfacher Kontaktgeber an der Klappe für den Entlastungsbeginn und das -ende eine zuverlässige Informationsquelle ist.

3.1.3 Durchflussmessung

Das Herzstück eines funktionstüchtigen Regenüberlaufbeckens ist die zuverlässige Einstellung des Drosselabflusses (vgl. Kap. 3.3.1).

Es wird unterschieden in Abfluss-Steuerungen, welche bis zu einem minimalen Abfluss von 25 l/s empfohlen werden und den Abfluss-Regelungen, welche bis 10 l/s herunterdrosseln dürfen. Dies hängt damit zusammen, dass bei Regelungen der Abfluss direkt gemessen und eine Verlegung des Drosselorgans selbstständig erkannt und behoben wird. Der Schieber fährt dann auf, um mehr Abfluss freizugeben.

Magnetisch-induktive Durchflussmessung



Abb. 18 Mess- und Regeleinheit mit teilgefülltem IDM

Als Drosselorgan eignen sich elektrisch betriebene Regelschieber, welche über einen IDM angesteuert sind (Abb. 18). Diese Regeleinheit weist eine gute Trennschärfe und hohes Reaktionsvermögen auf und gewährleistet einen verlegungs-freien Betrieb.

Wird die magnetisch-induktive Durchflussmessung (MID) mit einem Regelschieber ergänzt, so lassen sich die Drosselabflüsse recht trennscharf einstellen (vgl. Kap. 2.2.5). Das Messprinzip beruht darin, dass beim Durchströmen eines Magnetfeldes das leitfähige Abwasser Spannung induziert, welche von Elektroden aufgenommen wird. Die Geräte gibt es zur Messung von teil- und vollgefüllten Rohren.

Bei einem gedükerten Einbau muss die Ablagerungsgefahr und Sielhautbildung aufgrund geringer Fließgeschwindigkeiten, z.B. bei Nachtabfluss (Einbau einer Spüleinrichtung) sowie die Bildung einer Schwimmschlammdecke im Oberwasser eines Vorschachtes berücksichtigt werden.

Beim Einbau eines MID's sind die Herstellerangaben zu den Beruhigungsstrecken vor und nach der Messung zu beachten.

Parallel zur Ablaufleitung findet sich eine Bypassleitung als Notumgehung des Drosselorgans, i.d.R. mit Handschieber. Bei Störungen muss das Personal vor Ort, um den Schieber zu betätigen. Ist das Becken mit ausreichend Messtechnik versehen, leistet ein Motorschieber in der Bypassleitung - verfahrbar über eine Fernwirkanlage - gute Dienste und sorgt für mehr Betriebskomfort und -sicherheit. Zum Zwecke einer Kanalspülung, welche sich in ein Steuerprogramm integrieren lässt, lassen sich zudem Drosselschieber und Notschieber kontrolliert öffnen.

Oberwassergesteuertes Drosselorgan

Bei einer Teilverlegung eines oberwassergesteuerten Drosselorgans tritt der fatale Effekt auf, dass der Wasserspiegel im Becken oder Trennbauwerk ansteigt und die Drossel davon ausgeht, dass sie weiter zufahren muss, um den vermeintlich höheren Vordruck auszugleichen. Deshalb werden oft Verlegekontrollmessungen in einem Nachschacht angeordnet. Dieser muss erstens weiter unterhalb angeordnet werden, da das unter dem Drosselschieber hervorstäubende Wasser die Messung unbrauchbar macht und zweitens muss im Messschacht Normalabfluss herrschen, um eine halbwegs brauchbare Abflussmessung zu gewährleisten.

Unterwassergesteuertes Drosselorgan

Ebenfalls weit verbreitet ist die durchflussgeregelterte Abflusssteuerung mittels Fließhöhenmessung in einem weiter unterhalb liegenden Messschacht. Mit der Fließformel von Prandtl-Colebrook wird der Durchfluss berechnet und als Regelgröße für den Drosselschieber verwandt. Diese Messanordnung darf nur gewählt werden, wenn das Netz zu 100% rückstaufrei arbeitet - auch bei stärkeren Regenereignissen, bei denen es sehr oft zu Druckabflüssen kommt. Gleiches gilt, wenn im Bereich des Messschachtes mit Ablagerungen zu rechnen ist. In beiden Fällen herrscht unter der Messsonde kein Normalabfluss und die berechnete Ganglinie täuscht zu hohe Abflusswerte vor. Fehlerhaft wird diese Anordnung vor allem bei schießendem Abfluss.

3.2 Prozessleittechnik

Die Abflusssteuerung ist der Fernwirktechnik auf dem Klärwerk Reutlingen West als ein zusätzlicher Baustein angefügt (Abb. 19). 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.

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

Die Installationen in der Warte beinhalten einen zusätzlichen Fernwirkkopf für die Außenstationen und den SPS-Baustein.

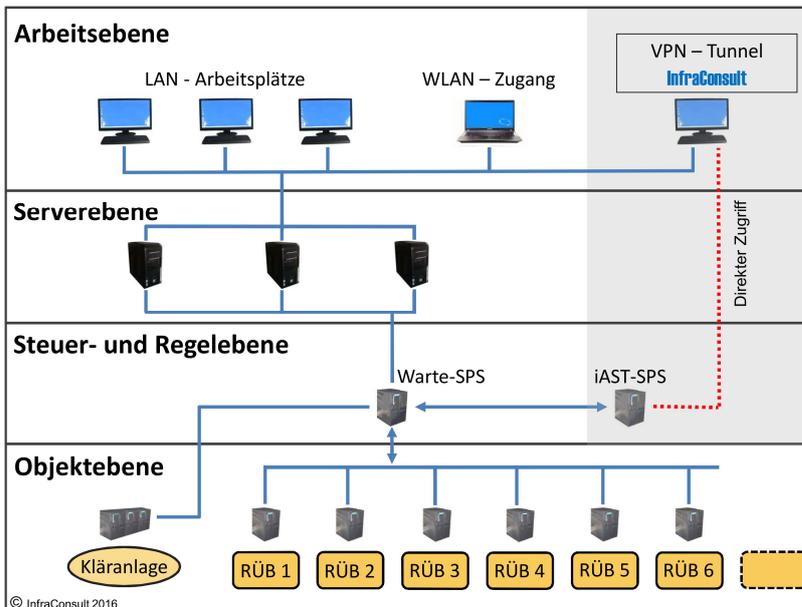


Abb. 19 Einbindung der Steuer- und Regelsoftware (iAST-SPS) in das Prozessleitsystem

3.3 Qualitätsmessung

Online-Qualitätsmessungen können wertvolle Hinweise zum besseren Systemverständnis auch in Hinblick auf optimale Steuerungsstrategien liefern. Bei der Auswahl einer geeigneten Qualitätsmesstechnik zum Einbau in der Mischwasserkanalisation gilt es zu beachten, dass robuste und explosionsgeschützte Messsonden mit ATEX-Zulassung nach 94/9/EG ausgewählt werden. Ebenfalls sind für die dynamische Überwachung, und ggf. darauf basierende Eingriffe, Messsysteme mit Ansprechzeiten von wenigen Minuten erforderlich.

Im Rahmen des Forschungsprojekts SAMUWA wurden Spektrometersonden der Firma s::can (s::can spektro::lyser V2) verwendet. Diese erfüllen die für den Einsatz im Mischsystem genannten Anforderungen und haben sich bereits in mehreren Langzeitmessstationen in europäischen Mischwasserkanälen bewährt (z. B. Gruber et al. 2006; Hasselbach und Dittmer 2007).

Die Grundlage der verwendeten online-Konzentrationsmessung ist das Prinzip der Spektroskopie. Dabei wird ein Lichtstrahl emittiert, der das Abwasser in einem Messspalt durchstrahlt. Die Intensität der Strahlung wird dabei abgeschwächt. Ein Sensor erfasst das UV/Vis-Spektrum zwischen 190 und 720 nm nach Probendurchgang. Aus dem Absorptionsspektrum kann durch einen geräteinternen Algorithmus auf die Konzentrationen bestimmter Inhaltsstoffe des Mediums geschlossen werden. Es ist eine zeitliche Auflösung von bis zu einer Minute möglich. Für unterschiedliche Medien stehen unterschiedliche interne Auswertemodelle (globale Kalibrierungen) zur Verfügung. Die verwendeten Sonden können im Abwasser (Globale Kalibrierung „Zulauf Kläranlage“) Äquivalenzkonzentrationen von abfiltrierbaren Stoffen (AFS), chemischem Sauerstoffbedarf (CSB, gesamt und filtriert) und Nitrat erfassen.

3.3.1 Installationshinweise

Ein Stromanschluss ist zum Betrieb der Messeinrichtung erforderlich. Oberirdisch muss genügend Platz für eine sichere Aufbewahrung der zur Messeinrichtung zugehörigen Geräte (Kompressor für Druckluftspülung, Bediengerät, Datenfernübertragung) vorhanden sein, die beispielsweise in einem einfachen Schaltschrank (Abb. 20) untergebracht sein können. Vom Schaltschrank muss eine Durchführung des Sondenkabels sowie der Druck-



Abb. 20 Oberirdischer Schaltschrank einer Messeinrichtung

luftschläuche zur Sonde vorhanden sein. Die genannten Voraussetzungen sind grundsätzlich gegeben, wenn ein Regenüberlaufbecken über eine Messstelle für eine automatische Probenahme verfügt, wie sie im einschlägigen DWA-Arbeitsblatt A 166 empfohlen wird.

Wegen der Lärmentwicklung des Kompressors sollte ein ausreichender Abstand zur nächsten Wohnbebauung eingehalten werden. Zum Schutz vor Diebstahl und Vandalismus hat sich im Forschungsprojekt eine Lampe mit Bewegungsmelder neben dem oberirdischen Schaltschrank bewährt.

Die Sonde muss in regelmäßigen Abständen visuell überprüft und manuell gereinigt werden. Aus diesem Grund sollte die Sonde gut zugänglich angebracht werden. Der Einbau kann beispielsweise in einem begehbaren Schacht erfolgen. Auch eine Sondeninstallation im

Bypass ist möglich. Zur Unterstützung einer Abflusssteuerung empfiehlt es sich, die aus dem Gebiet ankommende Schmutzfracht zu überwachen. Der Installationsort hängt dabei vom Bauwerk ab. Im Rahmen dieses Forschungsprojektes hat sich der Einbau der Sonde im Trennbauwerk eines RÜB's als besonders günstig erwiesen. So konnten nicht nur Überlaufkonzentrationen sondern auch Zulaufkonzentrationen zum Becken erfasst werden.

Die Sonde kann entweder permanent oder temporär (beispielsweise nur bei Beckeneinstau) eingetaucht eingebaut werden. Im Rahmen von SAMUWA wurden beide Einbauarten untersucht. Aufgrund der besseren Überwachungsmöglichkeit einer permanent eingetauchten Sonde (siehe Empfehlungen zum Betrieb der Sonde) bei vorhandener Datenfernübertragung liegt die Empfehlung klar bei einer permanent eingetauchten Einbauweise. Vor- und Nachteile der unterschiedlichen Einbauarten sind in folgender Tabelle gegenüber gestellt.

Tabelle: Vor- und Nachteile permanent und temporär eingetauchter Sondeninstallation

Permanent eingetauchte Installation	Temporär eingetauchte Installation
+ Dauerhafte Überwachung der Parameter	+ Einfache Sondenreinigung
+ Tagesgang erlaubt schnelle Plausibilitätsprüfung der Messwerte	- Trockenfallen der Sonde
+ Insgesamt verlässlichere Werte	
- Höherer Aufwand bei Sondenreinigung	

Zur besseren Erreichbarkeit und für eine bessere Reinigungsmöglichkeit der Sonde empfiehlt sich die Installation einer permanent eingetauchten Sonde an einem schwenkbaren Arm (Abb. 21), so dass die Sonde aus dem Abwasserstrom herausgeklappt und einfach aus der Sondenhalterung entnommen werden kann. Je nach Verschmutzung des zu messenden Abwassers mit groben Partikeln kann auch ein zusätzlicher Schutz der Sonde vor mechanischer Beschädigung sinnvoll sein.



Abb. 21 Temporär (oben) und permanent (unten) eingetauchte Installation einer Spektrometersonde an einer Trennbauwerksschwelle eines RÜB's

Im Projekt SAMUWA haben sich beide vorgesehenen Messstellen im Betrieb bewährt. Aus früheren Projekten ist jedoch bekannt, dass der Sondenbetrieb in Einzelfällen mit einem unverhältnismäßig hohen Wartungsaufwand verbunden sein kann. Hauptursache hierfür sind hartnäckige Beläge auf den Sondenfenstern, die von der Druckluftspülung nicht vollständig entfernt werden. Dass sich solche Beläge bilden, lässt sich im Vorfeld nicht sicher ausschließen. Vor einer stationären Einrichtung eines Qualitätsmessstelle sollte daher unbedingt ein mehrwöchiger Probebetrieb stattfinden.

3.3.2 Empfehlungen zum Betrieb

Die Sonden sind mit einem Druckluftanschluss ausgestattet, über den eine automatische Druckluftspülung des Messspalts in einem durch den Benutzer vorgegebenen Intervall möglich ist. Diese automatische Spülung reicht in der Regel beim Betrieb in einem Mischwasserkanal nicht aus, um den Messspalt dauerhaft frei von Verunreinigungen zu halten. Je nach Verschmutzung des Mischwasserabflusses und Installation der Sonde (permanent oder temporär eingetaucht) ist eine regelmäßige manuelle Sondenreinigung im Abstand von zwei bis 6 Wochen erforderlich. Bei permanent eingetauchter Installation der Sonde empfiehlt sich eine regelmäßige Kontrolle der Messdaten auf unplausibles Verhalten oder starke Drift, die an Trockenwettertagesgängen leicht erkannt werden kann. Bei vorhandener Datenfernübertragung kann so eine bedarfsgerechte Wartung der Sonden gewährleistet werden.

Die Sondenreinigung kann je nach Verschmutzung des Abwassers mit fettlösendem Spülmittel, Aceton und verdünnter Salzsäure erfolgen. Das Messfenster darf bei der Reinigung nicht beschädigt oder zerkratzt werden, beispielsweise durch die Verwendung einer Bürste mit zu harten Borsten. Nach der Reinigung der Sonde sollte eine Nullpunktmessung mit destilliertem Wasser erfolgen. Dazu liefert der Hersteller in der Regel die notwendige Ausrüstung mit.

3.3.3 Aussagekraft und Kalibrierung

Der große Vorteil der Online-Messung im Zusammenhang mit der Bewirtschaftung von Regenwetterabflüssen liegt in ihrer hohen zeitlichen Auflösung. Sie gibt die hohe Dynamik des Stofftransportes bei Regenwetter unmittelbar wieder und ermöglicht es somit, diese in der Konzeption und Optimierung der Steuerung zu berücksichtigen.

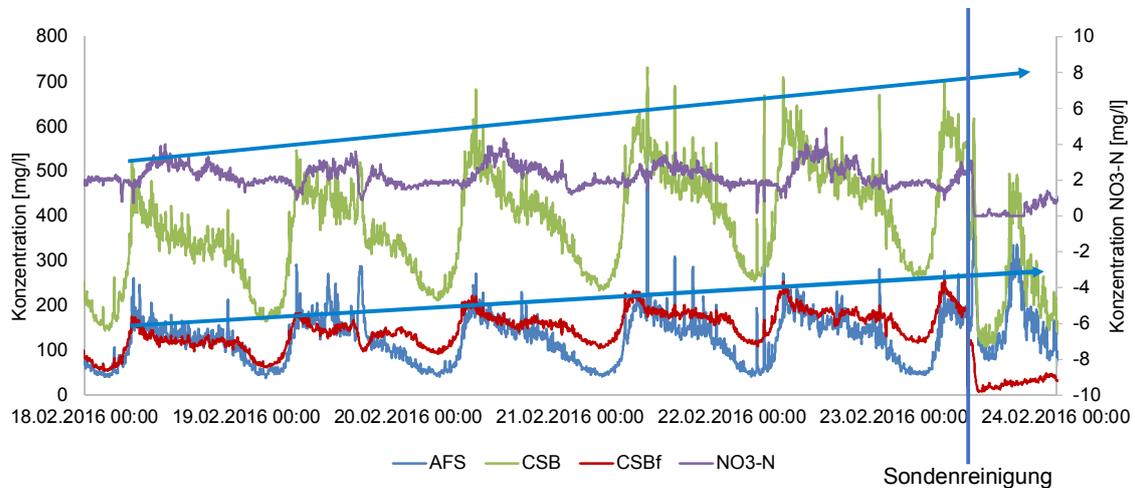


Abb. 22 Trockenwetterganglinien von AFS, CSB, filtriertem CSB (CSBf) und NO₃-M mit Drift und Sondenreinigung

Durch die quasi-kontinuierliche Messung wird, gegenüber einer Probenahme, der Integrationsfehler, der sich aus der Mittelung über das Beprobungsintervall ergibt, nahezu eliminiert. Aufgrund des indirekten Messverfahrens erreicht die Sonde jedoch für die Momentanwerte von Parametern wie AFS oder CSB nicht die Genauigkeit einer Laboranalyse. Die Vorteile beider Verfahren können kombiniert werden, wenn die Sonde anhand von Vergleichsproben auf die jeweiligen lokalen Bedingungen kalibriert wird (lokale Kalibrierung). Für Messungen im Regenwetterabfluss ist jedoch eine relativ umfangreiche Beprobung erforderlich (Lepot et al. 2016). Die Kalibrierung ist deshalb nur zu empfehlen, wenn tatsächlich Absolutwerte für transportierte und entlastete Frachten ermittelt werden sollen. Für die Erfassung der Transportdynamik und für einen relativen Vergleich der Konzentrationen an verschiedenen Entlastungsbauwerken kann dagegen auf die Beprobung verzichtet werden.

3.3.4 Betriebserfahrungen

Die im Rahmen des Forschungsprojektes SAMUWA in den Trennbauwerken von zwei Regenüberlaufbecken betriebenen Spektrometersonden lieferten von August 2014 bis Juli 2016 verlässlich Messwerte der Äquivalenzkonzentrationen von AFS, CSB (gesamt und filtriert) und Nitrat in fünfminütiger Auflösung. Einbau und Wartung der Sonden liefen ohne Zwischenfälle. Im Untersuchungszeitraum wurden an jeder Sonde 33 Sondenwartungen mit Reinigung durchgeführt. Die gewonnenen Qualitätsdaten liefern wertvolle Einblicke in das Systemverhalten.

Während des Betriebes kam es an einem Becken zu einem kurzzeitigen Ausfall der Datenfernübertragung. Die lokale Datenaufzeichnung wurde von dem Ausfall nicht beeinträchtigt. Betriebsprobleme traten im Normalbetrieb durch den mehrmaligen Abriss des Druckluftschlauches an beiden Sonden auf. Durch die kontinuierliche Datenüberwachung konnten diese Betriebsprobleme jedoch schnell entdeckt und zeitnah durch Verwendung eines anderen Druckluftanschlusses dauerhaft behoben werden. An einem der beiden Regenüberlaufbecken wurde die Sonde zweimal von Kanalsedimenten bedeckt (siehe Abb. 23).



Zu dieser Zeit lieferte diese Sonde keine belastbaren Werte. Auch hier ermöglichte die Datenfernübertragung eine schnelle Erkennung und Behebung des Problems.

Abb. 23: Verzopfte Spektrometersonde

4 Betrieb

Klare Verantwortlichkeiten, eine vorausschauende Betriebsplanung und aussagekräftige Betriebsanweisungen schaffen hohe Anlagenverfügbarkeit für den reibungslosen Betrieb einer Abflusssteuerung.

4.1 Messdatenauswertung

Die Verfügbarkeit von korrekten Messdaten und die Sicherstellung von funktionstüchtigen Regelorganen sind eine Grundvoraussetzung für den Betrieb einer Abflusssteuerung, aber auch für den bisherigen alltäglichen Betrieb. Deshalb rücken die Tätigkeiten, welche in Zusammenhang mit der Messtechnik und Fernüberwachung stehen in den Vordergrund. Einerseits sind die aktuellen Trendkurven aller (mindestens der gesteuerten) Becken täglich zu bewerten, andererseits sind die Messdaten rückblickend statistisch auszuwerten, um die Funktionstüchtigkeit nachzuweisen oder Verbesserungen an den Steueralgorithmen vornehmen zu können.

Die annähernd tägliche Sichtung der Trendkurven im Zuge des Forschungsvorhabens gerät zu einer Routineaufgabe. Neben den üblichen Wasserstands- und Ablaufganglinien müssen zu diesem Zweck auch Stellwerte der Schieber und Betriebszeiten der Aggregate (Pumpen, Rührwerke) übertragen werden. Dabei muss der Betrachter in der Lage sein die Kurven zu interpretieren. Auf Basis dieser Erkenntnisse wird der Wartungstrupp tagesaktuell informiert bzw. sein Arbeitseinsatz der nächsten Tage gezielt geplant. Die Fernüberwachung entwickelt sich damit zu einem wichtigen Betriebsführungstool.

4.1.1 Routineprüfung am Einzelbecken

Während des Forschungszeitraums wurden alle Becken einer intensiven, manuellen Prüfung mittels Messdatenauswertung unterzogen. Letztendlich müssen auch die lokalen Steuerungen der Becken funktionieren, die nicht im Steuerungsverbund sind.

Die Funktionstüchtigkeit einzelner Becken wird anhand von Einzelregenauswertungen überprüft. Sofern vorhanden werden Betriebszeiten der technischen Ausrüstung mit den Abfluss- und Wasserstandsdaten verglichen. Auffälligkeiten sowie resultierende Maßnahmen werden in einer Tabelle zusammengefasst und fortgeschrieben, um den Betrieb zu optimieren.

Die Abb. 24 gibt beispielhaft eine Einzelregenauswertung wieder. Je nach Auflösung der verfügbaren Messdaten - vorteilhaft sind 1-Min.-Werte - kann die programmierte (lokale) Steuerung des Beckens anhand der Ganglinien nachvollzogen werden. Für den Gewässerschutz sind in diesem Zusammenhang zwei Größen von besonderer Bedeutung:

Zum einen ist dies die Einhaltung der Drosselwassermenge auf den Soll-Wert, was im Beispiel sehr gut gelingt. Sollte die Menge zu hoch sein, so füllen sich nachfolgende Becken schneller und die Entlastung ins Gewässer erfolgt öfter. Oder das Abwasser trifft auf ein schon gefülltes Becken, was die Schmutzkonzentration der Entlastung erhöht, weil der Spülstoß nicht aufgenommen werden kann. Gleiches geschieht, wenn zwar der Drosselabfluss eingehalten wird, aber die Regelzeiten des Schiebers zu lang sind.

Zum anderen sind es die zur Reinigung des Beckens eingebauten Aggregate. Im Beispiel starten die Strahljets korrekterweise bei fallendem Wasserspiegel. Würden sie bei Beckenbefüllung einschalten, so bestünde die Gefahr, dass ein vollaufmischer, verschmutzter Wasserkörper am Beckenüberlauf entlastet.

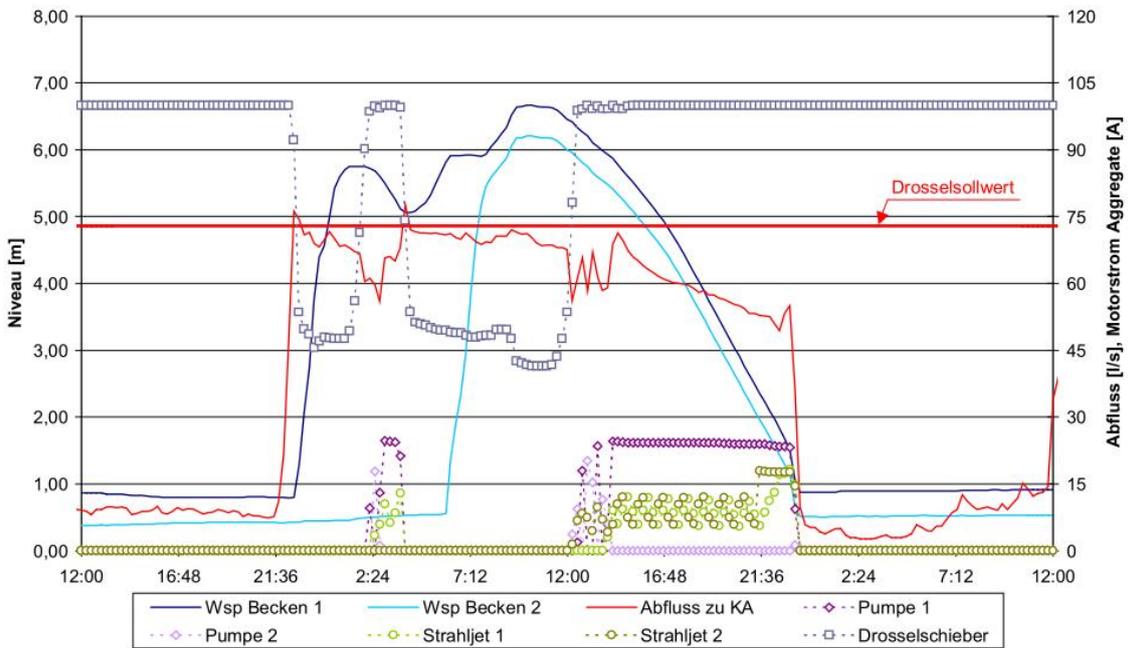


Abb. 24 RÜB-Trendkurven für die Einzelregenauswertung und Funktionsüberprüfung

Letztendlich lässt sich der gesamte Prozessablauf von Ferne aus prüfen und zeigt, dass dieses Becken in allen Belangen funktionstüchtig ist und ordnungsgemäß betrieben wird.

4.1.2 Prüfung eines gesteuerten Beckens

Die im Steuerprogramm implementierten Algorithmen werden ebenfalls mittels Messdaten geprüft. Um das Schaubild nicht zu überlasten werden hierzu die Beckenfüllstandkurven und die dazugehörigen, vorgesehenen Drosselsollwerte eingeblendet. Die Zusammenhänge werden in dem folgenden Beispiel erläutert (Abb. 25):

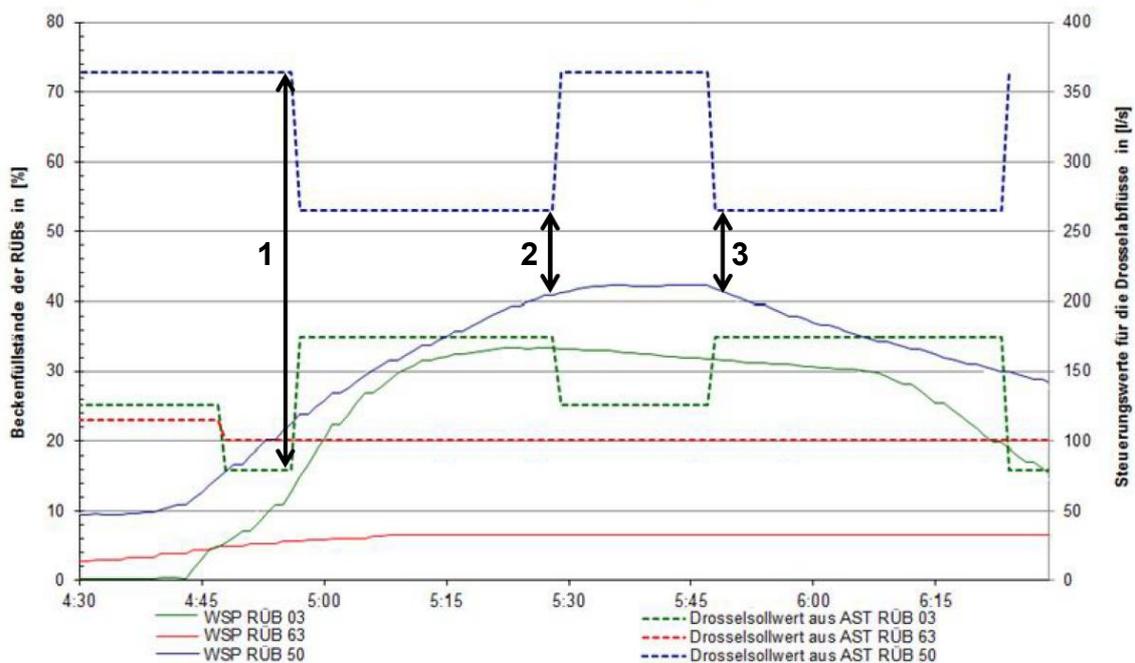


Abb. 25 Prüfung der Steuereingriffe anhand von Trendkurven

1: Das RÜB 03 erreicht einen Füllstand größer „LEER“, Becken 60 ist bereits teilgefüllt. Da das Becken an einem schutzwürdigen Gewässer liegt, sollen Entlastungen vermieden werden. Deshalb wird der Drosselabfluss am RÜB 03 auf einen maximalen Wert erhöht. Gleichzeitig wird der Abfluss von Becken 60 auf einen minimalen Wert gesetzt, um den Gesamtzufluss zur Kläranlage nicht zu überschreiten.

2: Die Becken wurden weiter gefüllt. Das Becken 60 erreicht nun die Steuermarke „VOLL“. Tatsächlich befindet sich der Wasserspiegel noch unterhalb der Entlastungsschwelle, jedoch setzt das Erreichen dieser Marke den Drosselabfluss auf den genehmigten Drosselwert „NORMAL“ zurück. Eine Entlastung des Beckens 60 bei einem Drosselabfluss kleiner als dem genehmigten soll nicht stattfinden. Das Erhöhen des Drosselabflusses bei Becken 60 hat gleichzeitig eine Reduzierung des Drosselabflusses auf „NORMAL“ bei Becken 03 zur Folge.

3: Die Wetterlage hat sich geändert. Die Becken fangen an sich zu entleeren. Das Becken 60 durchläuft wieder die Marke „VOLL“, nun mit sinkendem Wasserspiegel. Wieder werden die Drosselabflüsse geändert. Die Sollwerte entsprechen Ereignis 1. Das Becken 03 wird zügig geleert, um für einen Folgeregen maximales Volumen bereit zu stellen.

4.1.3 Auswertebereich

In dem Bericht zur Messdatenauswertung sind folgende Punkte aufzunehmen:

- Datenlücken
- Ergebnis der Einzelregenauswertung (Einzel- und gesteuerte Becken)
- Statusübersicht aller Sonden (Abb. 26)
- Wartungsarbeiten nach ihrer Dringlichkeit
- Veränderungen im Einzugsgebiet
- Vergleich mit der Schmutzfrachtberechnung (Abb. 27)

Lfd. Nr.	Messung Aggregat	RÜB 1	RÜB 2	RÜB 3	RÜB 4	RÜB 5	RÜB 6	RÜB 7	
1	Drossel-ablauf	✓	✓	(✓)	x	✓	x	✓	✓ Messung/Verbraucher funktioniert
2	Becken-einstau	✓		✓	✓	(✓)	✓	✓	() Zusätzliche Informationen siehe Bericht
3	Kläüberlauf	x	✓	-	-		-		- nicht vorhanden
4	Becken-überlauf	✓	*	x	x	*	*	*	* Sonde installieren
5	Entleerungs-pumpen	(✓)	✓	✓	(✓)	(✓)	(✓)	-	x Handlungsbedarf siehe Bericht
6	Drossel-schieber	✓	f	f	-	-	f	-	f Messwerte fehlen
7	sonstige Schieber	-	✓	-	-	f	-	f	

Hinweis: Die Beckeneinstaumessung und die Klärüberlaufmessung ist bei den Durchlaufbecken eine Messstelle

Abb. 26 Statusübersicht nach einer Sondenüberprüfung

Die Messdatenauswertung und ihr Abgleich mit den Ergebnissen aus der Schmutzfrachtberechnung dienen der Plausibilitätsprüfung und decken Fehler bei der Erfassung von Prozessdaten, respektive der Ermittlung von Kenndaten auf.

Aus Abb. 27 lässt sich das Entlastungsverhalten der vergangenen Jahre ablesen und vergleichen. Aufgetragen ist die Ergebnisspanne (gestrichelt) mit dem zugehörigen Mittelwert (blau), die im Auswertejahr ermittelte Entlastungshäufigkeit (grün) und das Ergebnis aus der Schmutzfrachtsimulation. Als weiteres Vergleichskriterium werden die Klassengrenzen

aus den Rankingtabellen der „Arbeitsmaterialien zur Regenwasserbehandlung Baden-Württemberg“ als gestrichelte Linien übernommen (rechte Ordinate).

Der Vergleich mit den Ergebnissen aus einer Schmutzfrachtsimulation sollte frühestens nach drei Jahren gesicherter Messdatenerfassung erfolgen, um den Einfluss der Variabilitäten des Wetters und der Messtechnik verstehen und richtig einordnen zu können.

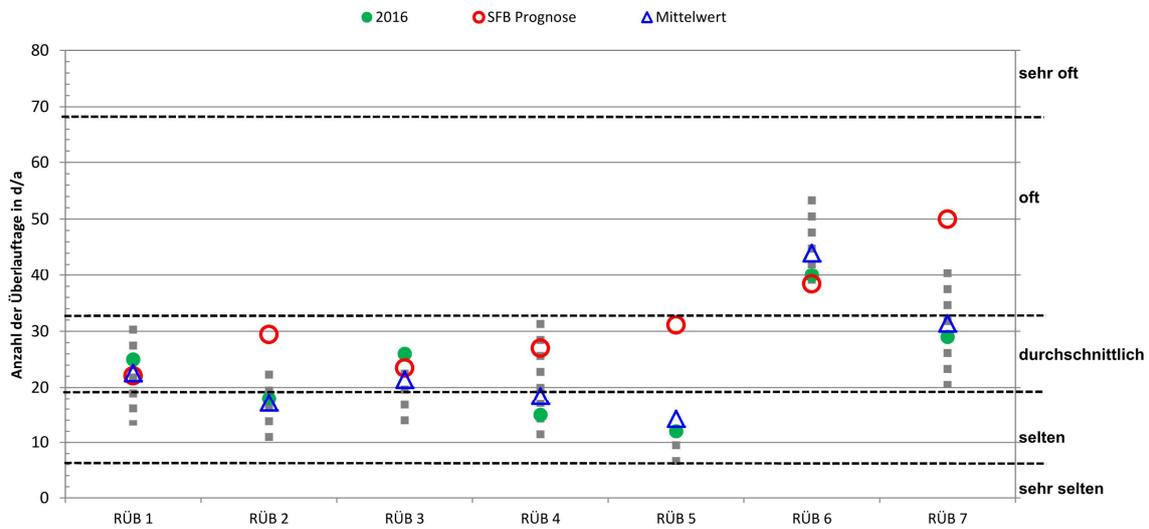


Abb. 27 Vergleichende Messdatenauswertung und statistische Einordnung des Entlastungsverhaltens

Die Erkenntnisse aus einer solchen vergleichenden Datenauswertung geben Aufschluss darüber, ob Optimierungen in den Bereichen Beckenbetrieb und -verfahrenstechnik angezeigt sind. Im vorliegenden Fall scheinen die Becken ihren lokalen Vorgaben zu entsprechen, da der langjährige Mittelwert und der aktuelle Wert in etwa übereinstimmen. Jetzt müssen die Messergebnisse in das Simulationsmodell einfließen und es sollte ein weiterer Kenndatenzyklus angestoßen werden (vgl. Kap. 2.1).

4.2 Betriebsablauf

4.2.1 Betriebsaufgaben

Die Betriebsaufgaben untergliedern sich in Inspektion, Störungsbeseitigung, Wartung und Instandsetzung. Sie sind nicht getrennt voneinander zu betrachten. Vor allem die Wartung sollte im Zuge der Inspektion oder Störungsbeseitigung präventiv durchgeführt werden, um die Anlagensicherheit zu erhöhen und damit die Anzahl von Noteinsätzen zu reduzieren. Dies setzt voraus, dass anlagenspezifisches Knowhow vorhanden ist (vgl. Kap. 4.3.3). An den in Reutlingen gesteuerten RÜB's fanden folgende Wartungsstellen besondere Berücksichtigung:

1. Priorität: Drosselorgan und Beckeneinstaumessung

Die dazugehörigen Messungen wie auch die Abflussregelung sind essentielle Bestandteile der Abflusssteuerung. Bei Ausfall einer der beiden Komponenten, muss das betroffene Becken aus dem Steuerungskonzept genommen werden. Je nach verwendeter Mess- und Regelstrecke sollte eine Sichtkontrolle mindestens 14-tägig erfolgen. Für den Fall, dass die Messdaten belastbar und zeitnah ausgewertet sind, kann die empfohlene Zeitspanne verlängert werden.

Während des Forschungsvorhabens fand die Kontrolle wöchentlich statt.

2. Priorität: Beckenentleerung

Die zeitpunktabhängige Beckenentleerung birgt ein bedeutsames Steuerungspotential in sich, falls - anders als bisher - nicht alle Becken gleichzeitig abgewirtschaftet werden (vgl. Kap. 2.4.2). Der Beckenentleerschieber ist regelmäßig auf Funktionstüchtigkeit zu prüfen.

Diese Aufgabe wurde in Reutlingen mittels des Fernwirksystems erledigt.

3. Priorität: Beckenüberlaufmessung und Beckenreinigung

Die Entlastungstätigkeit muss in jedem Fall erfasst und ausgewertet werden. Dies dient der Erfolgskontrolle und bildet die Basis für eine Verlängerung der Einleiterlaubnis. Für den interaktiven Steuerungseingriff hat sie keine Bedeutung. Die Funktionstüchtigkeit der Beckenreinigung spielt bei Implementierung einer Entleerungsstrategie eine wichtige Rolle, weil mit längeren Einstauzeiten zu rechnen ist.

4.2.2 Betriebsanweisung

Zentrales Dokument für alle Aufgaben rund um das Regenüberlaufbecken, stellt die Betriebsanweisung dar. Die SER achtet darauf, dass dieses Dokument nicht mit Allgemeinplätzen überladen ist. Das gleiche gilt für die Anzahl von Formblättern, deren Existenz gerne in Vergessenheit gerät, wenn das Tagesgeschäft nicht ihren regelmäßigen Gebrauch verlangt. Der Inhalt muss sich also am Bedarf orientieren und nicht umgekehrt. Das heißt, dass alle enthaltenen Festlegungen, welche entweder logisch-kausal nachvollziehbar und vom Anwender verstanden werden, oder gesetzlich gefordert sind, uneingeschränkt akzeptiert werden und die Betriebsanweisung gelebt werden kann.

Um den Anforderungen einer ordnungsgemäß betriebenen Abflusssteuerung gerecht zu werden, wurden die Betriebsanweisungen angepasst bzw. ergänzt (Anlage 4). Folgende Aspekte flossen in die Überarbeitung ein:

- eine ausführliche Funktions- und Steuerbeschreibung ist zu erstellen
- 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 Min.- und Max.-Werte der Drosselabflüsse und Einstauhöhen sind zu benennen, so dass die Grenzwerteinstellungen vor Ort oder mittels FÜ geprüft werden können
- 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, welche Sonden und Antriebe sind für die Steuerung unerlässlich

4.2.3 Ertüchtigungsmaßnahmen

Abflusssteuerungen sollen möglichst unterbrechungsfrei betrieben werden. Sind Unterbrechungen aufgrund von Ertüchtigungsmaßnahmen unumgänglich, so sollte sich dies auf einen möglichst kurzen Zeitraum beschränken.

Selbstverständlich waren auch im Verlauf des Forschungsvorhabens immer wieder Sanierungs- oder auch Modernisierungsmaßnahmen erforderlich, sei es an den gesteuerten oder den ungesteuerten Becken. Für diese Arbeiten hat sich der im Folgenden beschriebene Ablauf bewährt.

Das Ablaufdiagramm (Abb. 28) zeigt, stark verkürzt, den Weg einer Ertüchtigungsmaßnahme vom Erkennen eines Mangels bis zu seiner Behebung.

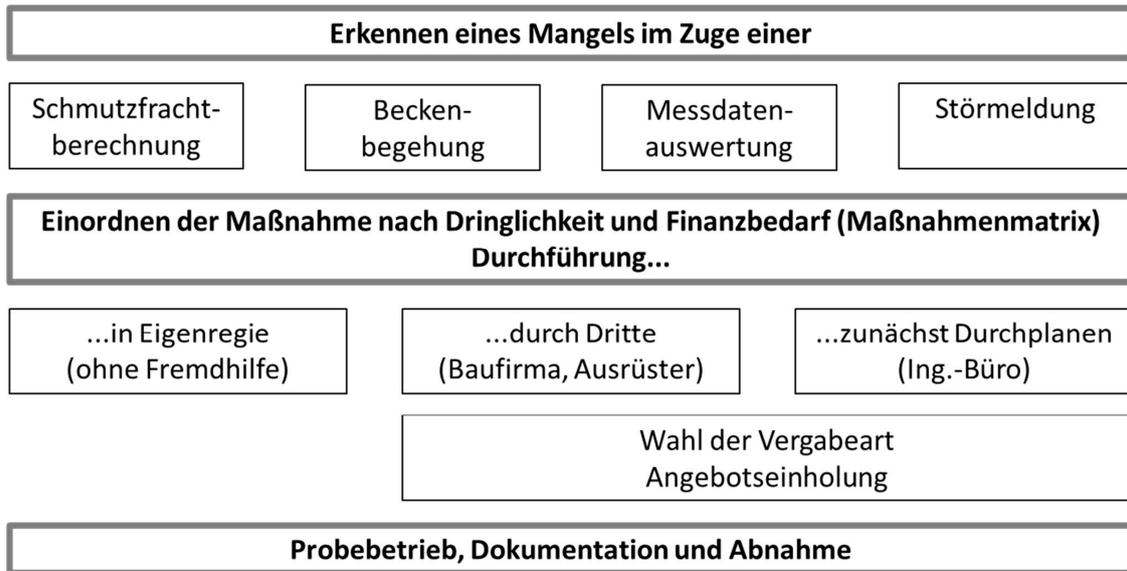


Abb. 28 Arbeitsablauf bei Ertüchtigungsmaßnahmen

Als besonders effektiv hat sich bei der SER die, während des Forschungsvorhabens durchgeführte, jährliche Beckenbegehung erwiesen, vergleichbar mit dem Gewässerschauen. Die Begehung wird von einem Koordinator (vgl. Kap. 4.3.1) organisiert, protokolliert und ausgewertet. Einmal vor Ort werden alle Belange des Beckenbetriebs angesprochen. Hierzu gehört die Tauglichkeit der installierten Aggregate genauso, wie die Arbeitssicherheit oder Veränderungen, die sich über das Jahr ergeben haben. Die Auswertung des Protokolls weist in der Regel ein breites Spektrum von Maßnahmen auf. Es liegt nun im Verantwortungsbereich des Koordinators die zur Verfügung stehenden Ressourcen optimal einzusetzen. Folgende Fragen sind dabei zu beantworten:

- wie viel Zeit bleibt zur Behebung eines Mangels (Dringlichkeit)?
- was kostet die Ertüchtigung?
- kann der Missstand vom Betriebspersonal selbst behoben werden?
- müssen Dritte hinzugezogen werden, z.B. Jahresbauer, Ausrüster?
- muss die Maßnahme zunächst durchgeplant werden?

Anschließend erstellt der Koordinator eine Maßnahmenmatrix, aus welcher die kurz- bis mittelfristigen Aufgaben hervorgehen und kommuniziert sie im Betrieb. Sie ist die Basis für das weitere Handeln.

Die SER ist bestrebt die installierten Aggregate - soweit im Zuge der Ausschreibung rechtlich möglich - zu vereinheitlichen. Dies hat den Vorteil, dass das Betriebspersonal mit der Technik vertraut ist und sich auch die Ersatzteillagerhaltung vereinfacht und die Ersatzteilverfügbarkeit erhöht. Dem Betrieb eröffnet sich damit die Möglichkeit in Eigenregie manche Reparatur- oder Austauschmaßnahme ad-hoc durchzuführen. Besonders wichtig erscheint dieser Aspekt für das Beheben von verfahrenskritischen Störungen, die die Abflusssteuerung beeinflussen und rasch beseitigt werden müssen.

Die möglichen Vergabearten der VOB werden bei der SER konsequent genutzt, damit sich die Umsetzung von Ertüchtigungsmaßnahmen nicht unnötig verzögert. Vor allem bei kleineren Maßnahmen (z.B. Austausch einer Sonde) hat es sich gezeigt, dass die Ausrüster kein Interesse an dem wenig lukrativen Geschäft haben. Hier empfiehlt es sich die Maßnahmen

aus mehreren benachbarten RÜB's zu bündeln, damit eine freihändige Vergabe (auf Basis von mindestens drei Angeboten) möglich ist. Bei mittelgroßen Maßnahmen (z.B. Erneuerung der Elektrotechnik) sollte, soweit möglich, auf die beschränkte Ausschreibung zurückgegriffen werden. So ist gewährleistet, dass der Ausrüster aus der Region kommt und bei Problemen kurze Anfahrtswege und -zeiten gewährleistet sind. Größere Maßnahmen müssen öffentlich ausgeschrieben werden.

Unabhängig von der Vergabeart sollte eine Funktionsprüfung und ein drei bis sechs Monate währender Probetrieb vereinbart werden. Während des Probetriebs sind die Messdaten dahingehend zu prüfen, ob die geplante Verfahrensweise ordnungsgemäß arbeitet. Erfahrungsgemäß sind in dieser Zeitspanne zum Teil noch erhebliche Nacharbeiten notwendig. Sie reichen von der Anlagenkennzeichnung bis hin zu Korrekturingriffen in die Steuerung. Mit Übergabe/Abnahme der Arbeiten ist akribisch darauf zu achten, dass die Dokumentation vollständig und korrekt ist. Besonders hingewiesen wird an dieser Stelle auf das Einmessprotokoll der Messsonden.

4.3 Betriebsorganisation

4.3.1 Organisationsstruktur

Hinsichtlich der generellen Organisation sind ergänzende Überlegungen bei Einführung einer Abflusssteuerung anzustellen. Folgende Hauptpunkte müssen beachtet werden:

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

Dies wertet die Arbeit im Außenbereich auf, ganz besonders an den Regenbeckenstandorten und führte dazu, dass man sich Gedanken über die Organisationsstruktur machte. Ergebnis der Untersuchungen ist, dass ein eigener für die Regenbecken verantwortlicher Betriebsbereich aufgebaut wird, an dessen Spitze ein geprüfter Abwassermeister (vgl. Kap. 4.3.3) steht. Dieser Schritt hat zwei Vorteile:

- das Personal lässt sich speziell für die Aufgaben der Regenwasserbehandlung sensibilisieren und qualifizieren,
- der Tätigkeitsbereich jedes Einzelnen lässt sich eindeutig abgrenzen, was das Verantwortungsbewusstsein fördert und die Arbeitsqualität steigert.

Neben dem Betriebsbereich für die Außenstationen wird ein Koordinator installiert. Dieser hat die Aufgabe alle erforderlichen Maßnahmen an den Becken zusammenzustellen und sie in eine korrekte zeitliche Abfolge zu stellen. Er pflegt außerdem den Kontakt zu Dritten, wie beispielsweise Ausrüsterfirmen oder Ingenieurbüros und veranlasst die Umsetzung. Der Koordinator ist über alle erforderlichen Maßnahmen an den Regenbecken informiert, bei Bedarf bündelt er sie zu Vergabepaketen, um kostengünstige Angebote zu erzielen.

Die Vorteile eines eigenen Betriebsbereichs „Regenwasserbehandlung“ lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Die Bedeutung der Außenstationen wird aufgewertet, das Verantwortungsbewusstsein gefördert, die Arbeitsqualität steigt.
- Es können eigene, angepasste Betriebsabläufe geschaffen werden, das verkürzt die Reaktionszeiten bei betrieblichen Störungen.
- Das Betriebspersonal wird gezielt für die Belange der Regenwasserbehandlung geschult und kann Fehlfunktionen richtig einordnen.

- Auf die ansteigenden Erwartungen der Unteren Wasserbehörde kann angemessen reagiert werden (z.B. Abgabe von Prüfberichten zum Beckenverhalten).

Die Bedeutung der Regenwasserbehandlung wird in den nächsten Jahren weiter zunehmen. Deshalb sollten sich die Betreiber Gedanken dazu machen, wie der neue Betriebsbereich am besten in die übergeordnete Organisationsstruktur einzubinden wäre.

4.3.2 Betriebsplanung

Mit Einführung einer integralen Abflusssteuerung ist eine hohe Anlagenverfügbarkeit erforderlich. Dies begründet sich darin, dass die Becken miteinander kommunizieren und bei Ausfall eines Beckens das Steuerungspotenzial des Gesamtsystems nur eingeschränkt nutzbar ist. Die Häufigkeit der Durchführung einzelner Betriebsaufgaben bestimmt größtenteils das Ausfallrisiko. So ist zu erwarten, dass die Inspektionszeiträume enger gewählt werden sollten. Dies gilt im besonderen Maß für den Probebetrieb. Mit wachsender Zahl an Erfahrungswerten, auch bezüglich der Wartungstiefe, werden die Inspektionszeiträume den tatsächlichen Erfordernissen angepasst.

Bei der Betriebsplanung sollten zukünftig folgende Punkte berücksichtigt werden:

- Während der Installation und vor allem während des Probebetriebs ist wegen der Einstellarbeiten mit einer erhöhten Fahrleistung zu rechnen.
- Im Regelbetrieb generiert die Abflusssteuerung keine Mehrleistungen. Vielmehr treten dann Arbeiten in den Vordergrund, die in einem weniger stringent überwachten System in Unkenntnis vernachlässigt wurden.
- Zu den vermeintlich zusätzlichen Routinearbeiten gehören der gesamte Bereich „Pflege und Instandhaltung der Messtechnik“ sowie die Messdatenauswertung.
- Aufgrund neuer Festlegungen, welche Arbeiten prioritär und zeitnah abzuarbeiten sind, muss die Einsatzplanung flexibel bleiben. Es sind zeitliche Freiräume in den Betriebsplänen vorzusehen, damit der Wartungstrupp eigenverantwortlich reagieren kann.

Auch eine noch so detailliert ausgearbeitete Betriebsplanung wird einen auf allen Ebenen reibungslosen Betrieb nicht gewährleisten. Deshalb sind Betriebsautomatismen innerhalb der Steuerkonzeption (Umschalten auf einen anderen Betriebsmodus, z.B. Herausnahme eines Regenbeckens aus den Steuerungsalgorithmen, vgl. Kap. 2.4.5) notwendig. Diese Sicherheitsmechanismen sorgen dafür, dass die Betriebsaufgaben auch weiterhin sorgsam ausgeführt werden können und die Rufbereitschaft durch eigentlich vermeidbare Einsätze nicht überstrapaziert wird.

4.3.3 Personalqualifikation

Eine integrale Abflusssteuerung sollte - unabhängig von der Gemeindegröße - überall dort zum Einsatz kommen, wo die Steuerwürdigkeit auf Basis technischer und ökologischer Randbedingungen nachgewiesen ist. Aufgrund ihrer Komplexität sollte ab Gemeindegrößen über 10.000 Einwohnern oder mehr als drei regelbaren Speicherräumen die technische Führungskraft ein geprüfter Abwassermeister oder ein Mitarbeiter mit ingenieurtechnischem Hochschulabschluss sein.

Eine frühzeitige Beteiligung des Betriebspersonals erhöht die Akzeptanz und gibt Raum für Ideen. 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.

Das Inspektions- und Wartungsteam muss so zusammengesetzt sein, dass die Gewerke Maschinen- und Elektrotechnik in jedem Fall abgedeckt sind. So ist es den Mitarbeitern möglich fachlich fundierte Rückschlüsse auf Ursachen der meisten Fehlfunktionen an den Regenbecken zu ziehen, die erforderlichen Ertüchtigungsmaßnahmen unmissverständlich zu formulieren oder auch eigene Ideen zu einem weitergehenden optimierten Betrieb einzubringen.

Eine häufig verwendete Betriebseinheit in einem AST-Konzept ist die Messsonde mit Regelorgan, für deren Wartung Kenntnisse aus der Elektrotechnik erforderlich sind. Eine Fachqualifikation aus diesem Bereich (Elektrofachkraft) ist unabdingbar.

5 Übertragbarkeit

Auf den demographischen Wandel, wie aber auch auf unerwartete wirtschaftliche Entwicklungen müssen Stadtentwicklungskonzepte flexibel reagieren. Gleiches muss selbstverständlich für die städtische Infrastruktur gelten. Die Abflusssteuerung bietet hier ein äußerst anpassungsfähiges Werkzeug, da sie ökologische und ökonomische Zielsetzungen vorbildlich vereint.

Die Übertragbarkeit auf andere Kommunen/Betreiber sollte bei ähnlicher Netzkonstellationen gegeben sein. Letztendlich wird dies eine Potentialstudie zeigen, welche in jedem Fall dann angezeigt ist, wenn das Ergebnis der Bewertungstabelle (vgl. Kap. 2.2.1 und Anlage 1) dies vermuten lässt.

Die anschließenden planerischen Schritte und die technische Installation einer integralen Abflusssteuerung können nach dem beschriebenen, bzw. einem den örtlichen Verhältnissen angepassten, Arbeitsablauf erfolgen.

Sollten die eigenen personaltechnischen Ressourcen nicht zur Verfügung stehen, so bietet sich eine Kooperation mit anderen Betreibern im Sinne einer iAST-Betriebsführung an.

6 Fazit

Aufgrund ihrer Anpassungsfähigkeit an veränderte Randbedingungen vereint die Abflusssteuerung ökologische und ökonomische Ziele. Die Verbesserungen, die eine Abflusssteuerung für das Gesamtsystem Kanalnetz, Kläranlage und Gewässer schafft sind unbestritten und können konventionell nur durch hohe Investitionen in zusätzlichen Speicherraum erzielt werden.

Das Forschungsvorhaben hat gezeigt:

- Eine Kanalnetzsteuerung lässt sich trotz ihrer Komplexität verständlich darstellen und stufenweise einführen.
- Die Möglichkeit, verschiedene Betriebsweisen vorzubelegen und bei Bedarf aufzurufen, erleichtert den dauerhaften Umgang mit dieser Technik und macht sie sicher.
- Die konzeptionelle und programmtechnische Entwicklung einer integralen Abflusssteuerung kann nach einem strukturierten und definierbaren Schema erfolgen, was für die Übertragbarkeit auf andere Kommunen spricht.

„Die Potentiale einer Kanalnetzsteuerung aufzuspüren kostet fast nichts. Sie nicht zu nutzen kann sehr teuer sein.“ Ulrich Haas, 2005

Literatur

- DWA, Betriebsaufwand für die Kanalisation - Betriebsaufgaben und Häufigkeiten, Arbeitsblatt DWA-A 147, Hennef, April 2005
- DWA, Handlungsrahmen zur Planung von Abflusssteuerung in Kanalnetzen, Merkblatt DWA-M 180, Hennef, Dezember 2005
- DWA, Richtlinien für die Bemessung und Gestaltung von Regenentlastungsanlagen in Mischwasserkanälen, Arbeitsblatt ATV A 128, April 1992
- DWA, Risiko- und Störungsanalysen bei Einsatz von Abflusssteuerungen in Kanalnetzen, Gemeinsamer Arbeitsbericht der DWA-Arbeitsgruppen ES 2.4 und ES 7.3, Korrespondenz Abwasser 02/09
- Alex, J., Schütze, M., Ogurek, M., Jumar, U. (2008): Systematic Design of Distributed Controllers for Sewer Networks; International Federation of Automated Control (IFAC) World Congress, Seoul 2008
- Gruber, G.; Kainz, H.; Sprung, W.; Flamisch, N.; Pressl, A.; Winkler, S. (2006): Langzeiterfahrungen mit dem Betrieb von Kanal-Online-Messstationen in Österreich. In: DBU (Hg.): Abflusssteuerung - Schwallspülung - Gewässerschutz. Fachtagung der DBU, 30./31.08.2006
- Haas, U., D., Muschalla, (2013): Entwerfen von Entwässerungsstrategien, Aqua Urbanica, Zürich 30.09.-01.10.2013
- Haas, U., Schütze, M. (2015): Konzepte der integralen Abflusssteuerung in Reutlingen und deren programmtechnische Umsetzung; DWA-GMA Gemeinschaftstagung „Mess- und Regelungstechnik in abwasser-technischen Anlagen“, Kassel, 09./10.06.2015
- Hasselbach, R.; Dittmer, U. (2007): Erhebung von Messdaten zur Kalibrierung eines integrierten Modells von Kanalnetz und Kläranlage. In: DW (Hg.): Landesverbandstagungstagung 2007 Baden-Württemberg. Pforzheim, 18.-19.10.2007, S. 121–131.
- Lepot, M.; Torres, A.; Hofer, T.; Caradot, N.; Gruber, G.; Aubin, J.-B.; Bertrand-Krajewski, J.-L. (2016): Calibration of UV/Vis spectrophotometers. A review and comparison of different methods to estimate TSS and total and dissolved COD concentrations in sewers, WWTPs and rivers. In: Water Res.
- Schütze, M. Alex, J. (2011): A generic algorithm for real time control of urban drainage systems – applied in practice; Watermatex – 8th IWA Symposium on Systems Analysis and Integrated Assessment, San Sebastian, 21.-23.06.2011
- Schütze, M., Haas, U., (2010): Real time control of a drainage system, applying the new German RTC guidelines, Novatech, Lyon 2010

Anlage 1: Ausgefüllte Bewertungstabelle nach PASST

Bewertungstabelle

Die Bewertungstabelle dient dazu, das Steuerungspotenzial eines Kanalnetzes abzuschätzen. Die aus der Anwendung der Tabelle resultierenden Ergebnisse geben einen Hinweis darauf, ob es sich lohnt weitergehende gebietsspezifische Untersuchungen hinsichtlich einer Kanalnetzsteuerung durchzuführen.

1. Entwässerungsgebiet			
1.1	Gebietsausdehnung (Fließweg im Hauptsammler)	lang > 5 km <input checked="" type="radio"/>	mittel <input type="radio"/> kurz < 1 km <input type="radio"/>
1.2	Unterschiede zwischen aktueller und geplanter Gebietsentwicklung	groß <input type="radio"/>	klein <input checked="" type="radio"/> keine <input type="radio"/>
2. Abwasseranfall			
2.1	Gebiete mit spezieller Verschmutzung des Oberflächenabflusses	mehrere <input type="radio"/>	1-2 <input type="radio"/> keine <input checked="" type="radio"/>
2.2	Örtlich und zeitlich differenzierter Schmutzwasseranfall, z.B. Starkverschmutzer, Übergabe aus Trennsystemen	hoch <input type="radio"/>	mittel <input checked="" type="radio"/> keiner <input type="radio"/>
3. Kanalnetz			
3.1	Anzahl vorhandener Steuerungseinrichtungen, z.B. Pumpen, Schieber, Wehre	mehrere <input checked="" type="radio"/>	1-2 <input type="radio"/> keine <input type="radio"/>
3.2	Sammmergefälle	flach < 2 ‰ <input type="radio"/>	mittel <input checked="" type="radio"/> steil > 5 ‰ <input type="radio"/>
3.3	Leistungsfähige Maschen im Sammlernetz	mehrere <input type="radio"/>	1-2 <input checked="" type="radio"/> keine <input type="radio"/>
3.4	Anzahl vorhandener Rückhalteanlagen Becken und Stauraumkanäle > 50 m ³	> 4 <input checked="" type="radio"/>	1 - 4 <input type="radio"/> 0 <input type="radio"/>
3.5	Anzahl vorhandener Entlastungsanlagen	> 6 <input checked="" type="radio"/>	2 - 4 <input type="radio"/> < 2 <input type="radio"/>
3.6	absolutes Speichervolumen Becken und/oder Kanalstauräume	> 5.000 m ³ <input checked="" type="radio"/>	2.000 - 5.000 m ³ <input type="radio"/> < 2.000 m ³ <input type="radio"/>
3.7	spezifisches Speichervolumen = absolutes Speichervolumen bezogen auf befestigte Fläche	> 40 m ³ /ha <input type="radio"/>	20 - 40 m ³ /ha <input checked="" type="radio"/> < 20 m ³ /ha <input type="radio"/>
3.8	Anzahl Zulaufsammler zur Kläranlage	> 2 <input type="radio"/>	2 <input type="radio"/> 1 <input checked="" type="radio"/>
4. Betriebliches Netzverhalten			
4.1	Lokal begrenzte Überschwemmungsbereiche	mehrere <input type="radio"/>	1-2 <input type="radio"/> keine <input checked="" type="radio"/>
4.2	Anzahl von Becken mit ungleichmäßiger Ausnutzung	> 1 <input type="radio"/>	1 <input checked="" type="radio"/> keines <input type="radio"/>
4.3	Ungleichmäßiges Entlastungsverhalten	stark <input type="radio"/>	mittel <input checked="" type="radio"/> gering <input type="radio"/>
5. Gewässer			
5.1	Örtliche Unterschiede in der hydraulischen Leistungsfähigkeit	stark <input type="radio"/>	mittel <input checked="" type="radio"/> keine <input type="radio"/>
5.2	Örtliche Unterschiede in der stofflichen Belastbarkeit (z.B. Baden, Fischzucht, Schutzgebiete)	stark <input checked="" type="radio"/>	mittel <input type="radio"/> keine <input type="radio"/>
5.3	Empfindlichkeit des Gewässers	sehr empfindlich <input checked="" type="radio"/>	wenig empfindlich <input type="radio"/>
6. Kläranlage			
6.1	Möglicher Mischwasserzufluss = $Q_{S,QM} + Q_{S,AM} + Q_{F,AM}$	größer <input type="radio"/>	gleich <input checked="" type="radio"/> kleiner <input type="radio"/>
6.2	Kläranlage reagiert empfindlich gegenüber hydraulischen und/oder Schmutzstoffstößen	sehr empfindlich <input checked="" type="radio"/>	wenig empfindlich <input type="radio"/>

senden

Einschätzung der Steuerwürdigkeit

3	Punkte von 4	Entwässerungsgebiet
1	Punkte von 4	Abwasseranfall
22	Punkte von 31	Kanalnetz
4	Punkte von 10	Betriebliches Netzverhalten
8	Punkte von 10	Gewässer
3	Punkte von 5	Kläranlage
41	Punkte von insgesamt 64	

Das Netz ist für Steuerung prädestiniert

Anlage 2: Programmcode der Steuerung (Auszug)

```
Programcode.txt

(* iAST Reutlingen-West
(* Input: Beckenfuellgrade [0..1] der 5 Becken
(* Output: einzustellende Drosselabfluesse dieser Becken [m3/d]
(* Reihenfolge der Becken in den Matrizen: RUEB03, RUEB50, RUEB44, RUEB30, RUEB63
(* Fuellgradgrenzen der Becken, Beckenfuellgrade werden im Feld IV wie folgt kodiert:

(* 0: "niedrig": bei Fuellgrad < 0.1
(* 1: "gering": bei Fuellgrad zw. 0.1 und 0.5
(* 2: "hoch": bei Fuellgrad >= 0.5
(* Eingestellte Drosselabfluesse in ID wie folgt:
(* 1: niedrig (RUEB03, 50) bzw. normal
(* 2: normal (RUEB03, 50) bzw. erhoehrt
(* 3: max.

(* Steuerungsregel (b): Wenn ein Becken nichtleer, dann dieses Becken mit max. Drosselabfluss,
(* alle uebrigen auf niedrigster Stufe, hsum: Anzahl der nichtleeren Becken
hsum := 0.0;
ixhsum := 0;
FOR ibx:=1 TO nbecken BY 1 DO
  IF IV[ibx]>0 THEN
    hsum := hsum + 1.0;
    ixhsum := ibx;
  END IF;
END_FOR;

IF hsum = 1.0 THEN
  ID[ixhsum] := 3;
  FOR ibx:=1 TO nbecken BY 1 DO
    IF ibx<>ixhsum THEN
      ID[ibx] := 1;
    END IF;
  END_FOR;
END_IF;

(* Steuerungsregel (c): Zwei oder mehr Becken "nicht Leer"
IF hsum >= 2.0 THEN
  (* Erhoehung der Drosselabfluesse wird zunaechst fuer Becken mit hohem Fuellstand [ib(ib)=2],
  (* dann fuer Becken mit geringem Fuellstand durchlaufen
  (* Suche gemaess Prioritaetsreihenfolge nach Becken, das "hoch" ist
  FOR ibx:=1 TO nbecken BY 1 DO
    IF IV[ibx]>=2 THEN
      IF ID[ibx] < 3 THEN
(* Setzen der Q aus den ID-Werten und Ermittlung der Summe der Drosselabfluesse, aber ohne QD63
        summeqd := 0.0;
        FOR ibxx:=1 TO nbecken BY 1 DO
          i000 := ID[ibxx];
          QD[ibxx] := qmatrix[ibxx,i000];
          summeqd := summeqd + QD[ibxx];
        END_FOR;
        summeqd := summeqd - QD[5]; (* RUEB63 abziehen
        i000:=ID[ibx];
        IF summeqd+(qmatrix[ibx,i000+1] - qmatrix[ibx,i000]) <=1200.0 THEN
          ID[ibx] := ID[ibx]+1;
        END_IF;
      END_IF;
    END_IF;
  END_FOR;

  (* fuer Becken mit geringem Fuellstand [ib(ib)=1]
  (* Suche gemaess Prioritaetsreihenfolge nach Becken, das "hoch" ist
  FOR ibx:=1 TO nbecken BY 1 DO
    IF IV[ibx]=1 THEN
      IF ID[ibx] < 3 THEN
(* Setzen der Q aus den ID-Werten und Ermittlung der Summe der Drosselabfluesse, aber ohne QD63
        summeqd := 0.0;
        FOR ibxx:=1 TO nbecken BY 1 DO
          i000 := ID[ibxx];
          QD[ibxx] := qmatrix[ibxx,i000];
          summeqd := summeqd + QD[ibxx];
        END_FOR;
        summeqd := summeqd - QD[5]; (* RUEB63 abziehen
        i000:=ID[ibx];
        IF summeqd+(qmatrix[ibx,i000+1] - qmatrix[ibx,i000]) <=1200.0 THEN
          ID[ibx] := ID[ibx]+1;
        END_IF;
      END_IF;
    END_IF;
  END_FOR;
END_IF;
```

Anlage 3: Überprüfung des SOLL- und IST-Drosselabflusses

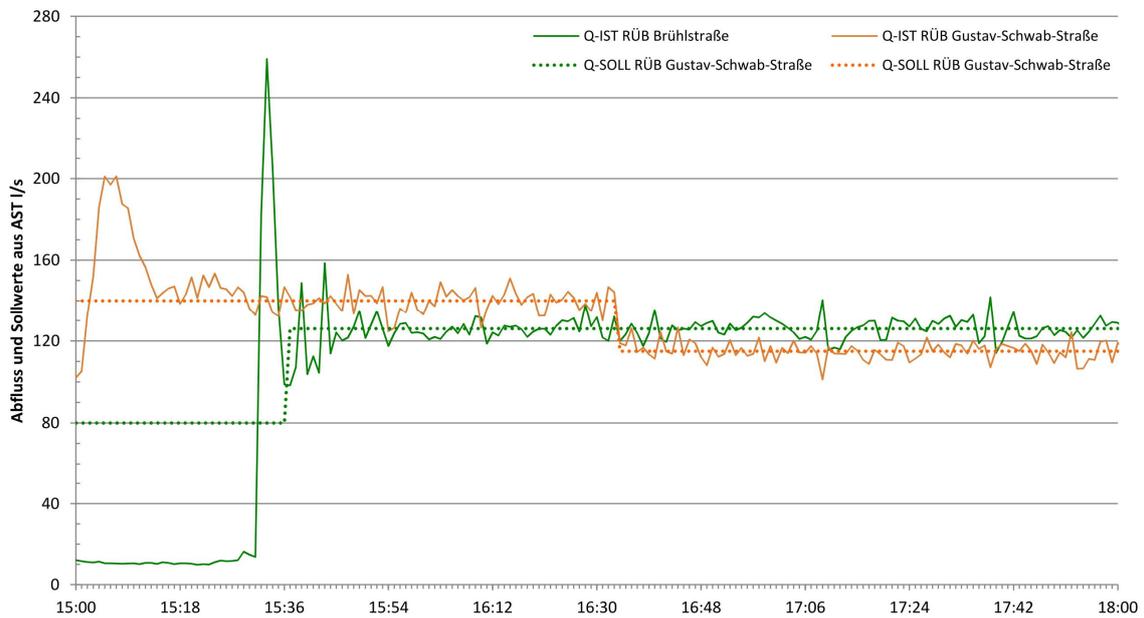


Abb. 29 Drosselabfluss im Zuge der Beckenbefüllung des RÜB's Brühlstraße

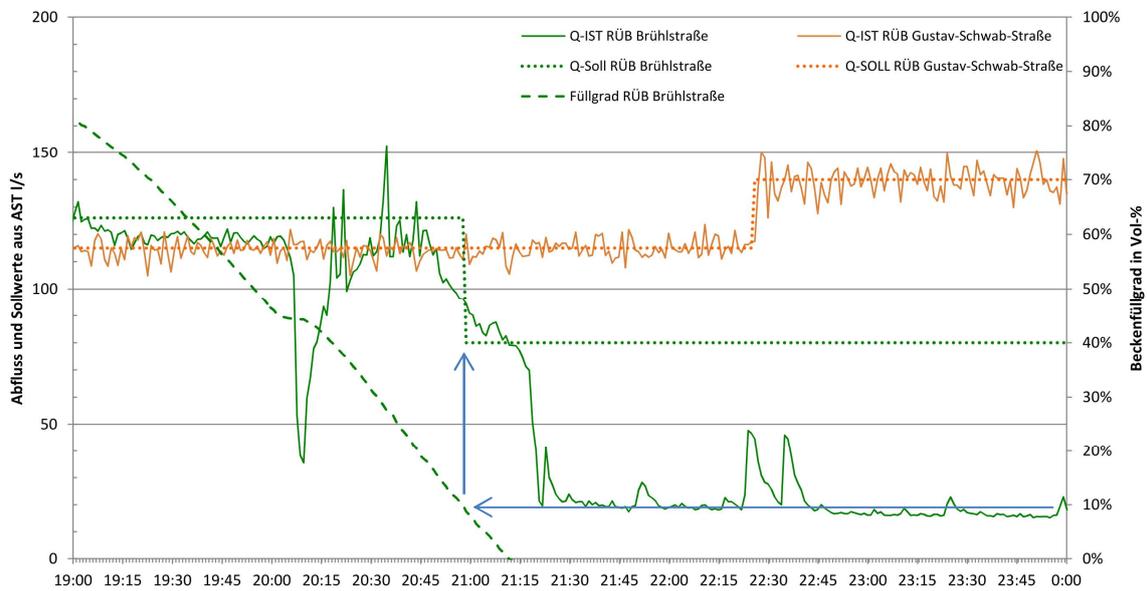


Abb. 30 Drosselabfluss im Zuge der Beckenentleerung des RÜB's Brühlstraße

3. Umgang mit Störungen bzw. Störmeldungen

3.1. Aktivierung von Alarmen

Auf die eingehenden Störmeldungen zu reagieren.

Folgende Störmeldungen sind zusätzlich zu aktivieren (rot umrandet):



3.2. Die übergeordnete Steuerung geht auf Störung

In diesem Fall ist die AST sofort auszuschalten, siehe Iltis Schaltfläche 52. Es ist dann auf lokale Steuerung umgestellt.

3.3. Ausfall von Sonden und Antriebe

Die nachfolgende aufgelisteten Sonden und Antriebe werden für die Steuerung benötigt und müssen deshalb ständig betriebsbereit sein.

RÜB Brühlstraße	RÜB Unhaldestraße	RÜB Gustav-Schwab-Straße
Beckensonde	Beckensonde	Beckensonde
Abflussonde	Abflussonde	Abflussonde
Ablaufregelschieber (Drosselschieber)	Ablaufregelschieber (Drosselschieber)	Ablaufregelschieber (Drosselschieber)

Bei Ausfall (Störung, die nicht unmittelbar behoben werden kann) einer dieser Messsonden bzw. Antriebe ist die AST auszuschalten.

3.4. Wiederinbetriebnahme der AST nach Störungen

Nach Behebung von Störungen ist die AST nach Rücksprache mit InfraConsult wieder in Betrieb zu nehmen.