

Abflusssteuerung in Kanalnetzen - eine interdisziplinäre Herausforderung für Ingenieure

von Dr.-Ing. Wolfgang Verworn, bpi Hannover, Beratende Ingenieure

Einleitung und Überblick

Abflusssteuerung in Kanalnetzen hatte vor nicht allzu langer Zeit noch den Touch des Besonderen, des Exotischen, des Revolutionären. Manche sahen in der Abflusssteuerung die Lösung vieler Probleme in der Stadtentwässerung – andere lehnten sie vehement und kategorisch als nicht umsetzbar ab. In den vergangenen Jahren ist mit Vorurteilen und Wunschvorstellungen bezüglich der Abflusssteuerung deutlich aufgeräumt worden, so dass sie mittlerweile den ihr zustehenden Platz in der Siedlungsentwässerung einnimmt. Zu dieser Entwicklung hat sicherlich auch in besonderem Maße die im Jahre 1980 eingerichtete Arbeitsgruppe „Abflusssteuerung in Kanalnetzen“ der Abwassertechnischen Vereinigung beigetragen mit Ihren Berichten, Veranstaltungen und Veröffentlichungen. Die Abflusssteuerung ist sicher kein Allheilmittel – andererseits aber durchaus eine Technologie, mit der intelligente und kostengünstige Lösungen bei vielfältigen Problemen erreicht werden können. Daher sollte bei generellen Planungen und Sanierungsplanungen von Entwässerungssystemen die Abflusssteuerung als mögliches Konzept – gegebenenfalls auch nur für Teilsysteme – mit in Betracht gezogen werden. Als Abflusssteuerung oder auch Kanalnetzbewirtschaftung bezeichnen wir den zielgerichteten Eingriff in die laufenden Abfluss- und Speichervorgänge in einem Entwässerungssystem. Dabei werden auf der Grundlage von Messungen im Kanalnetz und im Einzugsgebiet während des Abflussvorganges die Steuerungseinrichtungen so betrieben, dass die Betriebsziele mit möglichst wenigen Beeinträchtigungen oder Schäden erreicht werden.

In vielen Fällen können bauliche Maßnahmen durch den Einsatz von Steuerungssystemen ersetzt bzw. in ihrem Umfang verringert werden. Darüber hinaus ergibt sich durch ein Steuerungssystem der Vorteil, dass die Anlagen nicht nur für einen einzelnen Betriebszustand ausgelegt sind, sondern flexibel auf die unterschiedlichen Abflussverhältnisse reagieren können. Zudem bieten Steuerungssysteme durch die einfache Veränderung von Sollwerten die Möglichkeit, flexibel auf die Ausbauzustände des Kanalnetzes während der Realisierung von Sanierungsmaßnahmen zu reagieren.

Somit stellt die Abflusssteuerung die flexiblere Lösung im Gegensatz zur starren, baulichen Lösung dar. Abflusssteuerungen in Kanalnetzen werden unter verschiedensten Zielsetzungen eingesetzt, wobei in der Regel mehrere Ziele gleichzeitig angestrebt werden:

- Verminderung der Gewässerbelastung (Kanalnetzbewirtschaftung)
- Vermeidung von Überlastungen
- Verminderung von Betriebskosten
- Durchführung von Betriebsvorgängen (z.B. Kanalspülung)

- Einhaltung von wasserrechtlichen oder vertraglichen Vorgaben

Der Haupteinsatzbereich der Abflusssteuerung liegt allerdings in der Bewirtschaftung von Speicherräumen in der Mischwasserkanalisation.

Typische Steuerungseinrichtungen

Aus der Anzahl der bislang realisierten Steuerungssysteme lassen sich einige typische, häufiger anzutreffende Beispiele anführen:

- die Bewirtschaftung von Teilnetzen
- die Steuerung von Mischwasserentlastungsanlagen (Regenüberläufe)

Anhand der Beschreibung dieser beiden Beispiele werden grundsätzliche Planungsüberlegungen über den Einsatz von Steuerungssystemen dargelegt.

Bewirtschaftung von Teilnetzen

Innerhalb eines Kanalnetzes ist oftmals ein großes Speichervolumen vorhanden. Im ungesteuerten Zustand wird das Kanalnetz als statisches System betrieben und sich weitgehend selbst überlassen. Durch eine Kanalnetzbewirtschaftung können Stauräume aktiviert werden, um auf diese Weise die Mischwasserentlastungsmengen zu verringern. Bei einer Vielzahl von Abflussereignissen läuft bereits Mischwasser in die Gewässer über, obwohl im Kanalnetz noch Stauraum verfügbar ist. Durch eine Speicherraumbewirtschaftung können diese Stauräume genutzt und Mischwasserentlastungen vermieden werden.

Es ist somit im Grundsatz bei jeder Überplanung von Mischkanalisationen zu prüfen, ob durch eine Kanalnetzbewirtschaftung dieser Stauraum aktiviert werden kann. Dazu muss zunächst der vorhandene Speicherraum im Entwässerungssystem ermittelt werden. Das im Kanalnetz vorhandene Volumen nimmt im allgemeinen zu,

- je größer zusammenhängende Kanalnetze sind, da mit der Netzlänge der Anteil der großvolumigen Hauptsammler zunimmt
- je flacher die Geländeneigungen und damit in der Regel auch die Kanalgefälle sind, da dadurch größere Kanalprofile erforderlich werden
- je weniger Regenüberläufe im Kanalnetz vorhanden sind.

Das Kanalvolumen muss aber nicht nur vorhanden, sondern für die Bewirtschaftung auch leicht aktivierbar sein. In der Regel ist das Kanalvolumen um so einfacher aktivierbar, je flacher die Hauptkanäle verlegt sind.

Abflusssteuerung in Kanalnetzen - eine interdisziplinäre Herausforderung für Ingenieure

von Dr.-Ing. Wolfgang Verworn, bpi Hannover, Beratende Ingenieure

Bei geringem Kanalgefälle reicht, wie in Abb. 1 dargestellt, bereits eine Stueinrichtung aus, um ein weitreichendes Kanalvolumen zu aktivieren. Eine Stueinrichtung dient dem Zweck, das Mischwasser im Kanalnetz, gerade am Ende des Abflussereignisses, zurückzuhalten und gedrosselt weiterzuleiten. Gleichzeitig muss die Stueinrichtung die Abflussspitzen ungehindert durchlassen, damit keine Engpässe im Kanalnetz entstehen. Bei größerem Gefälle sind mehrere solcher Vorrichtungen notwendig, wodurch die Bewirtschaftung schnell unökonomisch wird.

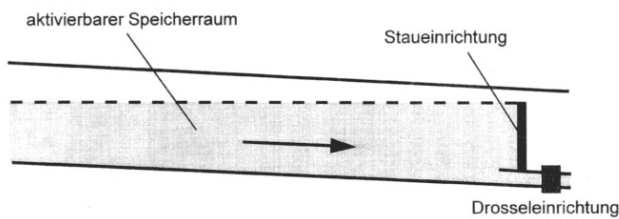


Abb. 1: Stueinrichtung zur Bewirtschaftung von Kanalabschnitten

Zur Beurteilung des von einem bestimmten Punkt aus aktivierbaren Kanalvolumens ist es nützlich, das oberhalb liegende Netzvolumen als Funktion der Einstauhöhe aufzutragen. Daraus ist dann erkennbar, wie stark das aktivierbare Kanalvolumen mit der Einstauhöhe anwächst. Gleichzeitig können in dieses Diagramm die Randbedingungen, wie Gelände- tiefpunkte oder Schwellenhöhen, mit eingetragen werden.

Daraus ergibt sich ein guter Überblick, in welchem Maße und wie weit das vorhandene Kanalvolumen bewirtschaftet werden kann. In Abb. 2 ist ein Beispiel für eine Speicherkennlinie wiedergegeben.

Es gibt bestimmte Kanalnetzverhältnisse, bei denen die Speicherraumbewirtschaftung besonders effektiv ist:

- In Einzugsgebieten, bei denen Teilnetze höher liegen und zu tiefer gelegenen Entlastungsstellen entwässern, läuft im ungesteuerten Zustand das höher gelegene Teilnetz nach Regenende rasch leer, wobei über die tiefer gelegenen Entlastungsstellen große Mischwassermengen abgeschlagen werden. Durch Bewirtschaftung des höher gelegenen Teilnetzes können die Abflüsse im Kanalnetz nach Regenende zurückgehalten und gedrosselt so weitergeleitet werden, dass an den unterhalb liegenden Entlastungsstellen keine unnötigen Abschlüge auftreten (Abb. 3).
- Oftmals sind in städtischen Mischsystemen längere Entlastungssammler vorhanden, die die Entlastungsabflüsse zu den Gewässern ableiten. Diese Entlastungssammler lassen sich vor Eintritt in das Gewässer mit einer Stueinrichtung versehen. Das nach Entlastungsende noch im Entlastungssammler vorhandene Mischwasser wird dadurch zurückgehalten und nicht in das Gewässer eingeleitet, sondern in das Kanalnetz zurückgefördert. Gleichzeitig muss die Stueinrichtung aber sicherstellen, dass die Abflussspitzen ungehindert weitergeleitet werden.

Speicherkennlinie Einzugsgebiet PW Neustadt

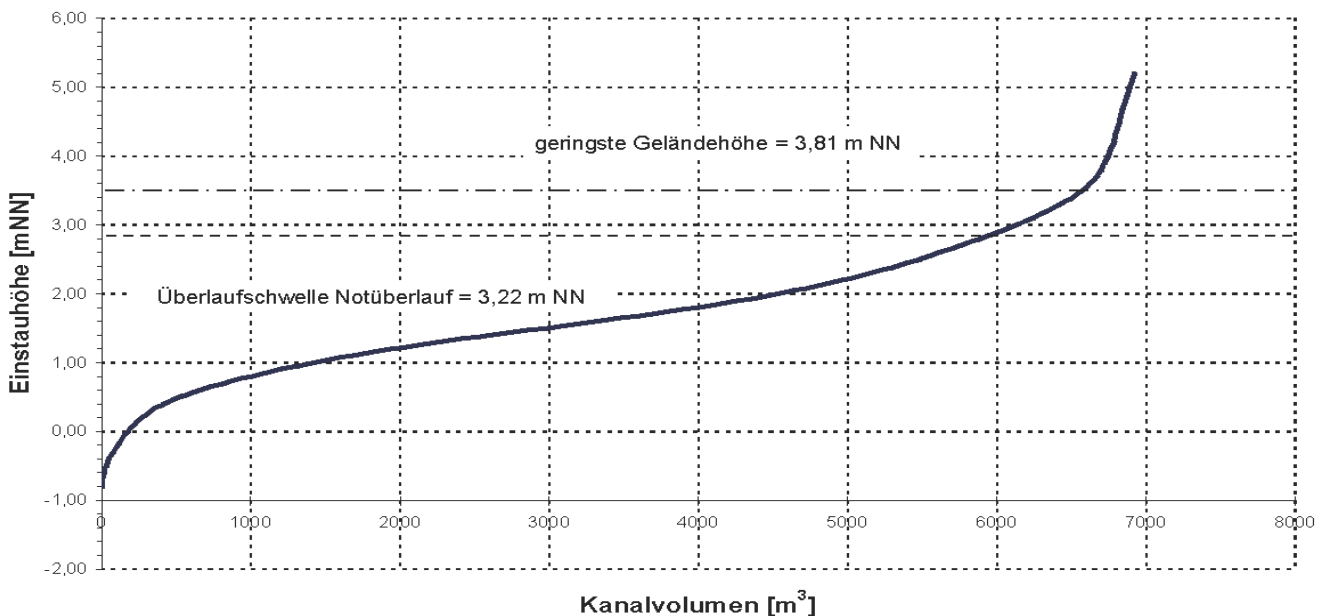


Abb. 2: Beispiel für eine Speicherkennlinie

Abflusssteuerung in Kanalnetzen - eine interdisziplinäre Herausforderung für Ingenieure

von Dr.-Ing. Wolfgang Verworn, bpi Hannover, Beratende Ingenieure

höher gelegenes Teilgebiet

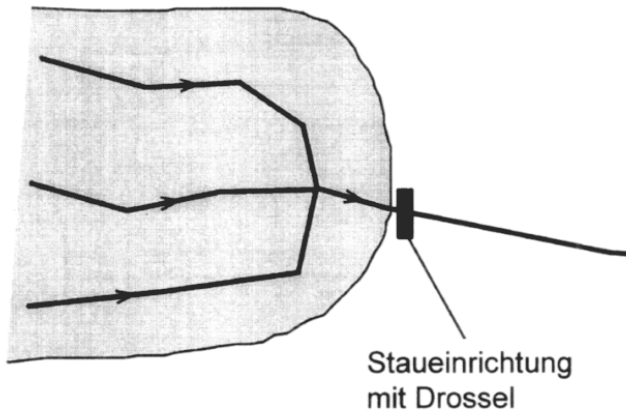


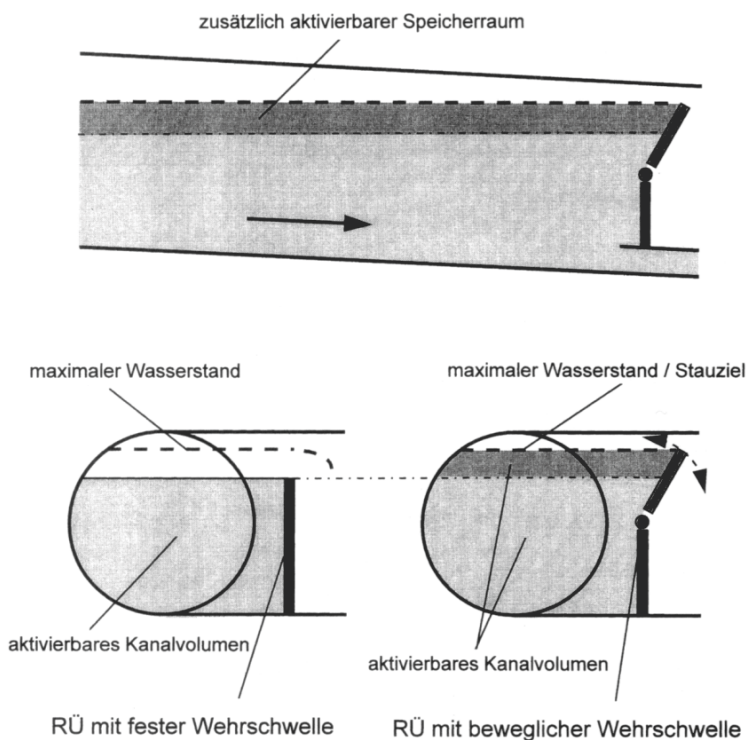
Abb. 3: Bewirtschaftung höher gelegener Teilnetze

Steuerung von Mischwasserentlastungen

Die Bemessung von Regenüberläufen (Schwellenhöhe und Schwellenlänge) richtet sich nach dem Bemessungslastfall sowie den größtmöglichen Zuflüssen zu dieser Entlastungsstelle. Mit der Dimensionierung des Bauwerks muss sicherge-

stellt werden, dass unzulässige Wasserstände im Kanalnetz vermieden werden. Bei kleineren Abflussereignissen könnte die Überlaufschwelle häufig durchaus höher angeordnet sein, wodurch mehr Mischwasser im Kanalnetz zurückgehalten und direkter Behandlung in der Kläranlage zugeführt würde.

Mit Hilfe von gesteuerten Entlastungsstellen kann auf die unterschiedlichen Belastungsverhältnisse flexibel eingegangen werden. Dieses geschieht u.a. durch bewegliche Wehrschwellen, z.B. in Form von Wehrklappen. Innerhalb des Kanalnetzes wird an dieser Entlastungsstelle ein Sollwasserstand vorgegeben, der nicht überschritten werden darf. Beim Erreichen des Sollwasserstandes wird dann die Wehrklappe abgesenkt und gibt auf diese Weise den Entlastungsquerschnitt frei. Über eine Regeleinrichtung wird sichergestellt, dass sich die Wehrklappe nur soweit absenkt, wie zur Begrenzung auf den Sollwasserstand erforderlich ist. Verringert sich der Zufluss bei Regenende und sinkt der Wasserstand im Kanalnetz wieder, so fährt die Klappe hoch und versperrt die Entlastung. Dadurch wird soviel Mischwasser wie möglich im Kanalnetz zurückgehalten. Der Sollwasserstand kann über der Oberkante einer vergleichbaren festen Wehrschwelle liegen, so dass sich, insbesondere bei flachliegenden Kanalnetzen, weitaus größere Mischwassermengen im Kanalnetz zurückhalten lassen (Abb. 4).



Weiterhin kommt bei gesteuerten Entlastungseinrichtungen hinzu, dass der Sollwert während eines Abflussereignisses auch verändert werden kann. Dadurch ist es z.B. möglich, flexibel auf Belastungen im oberhalb liegenden Kanalnetz zu reagieren und bei Starkregenereignissen den Sollwasserstand an der Entlastungsstelle niedriger zu fahren. Nach Regenende kann der Sollwert dann wieder angehoben werden, so dass das Kanalnetz bestmöglich zur Zwischenspeicherung ausgenutzt wird. Die Flexibilität von gesteuerten Entlastungsanlagen wirkt sich auch positiv aus, wenn bei einer Sanierung verschiedene Zwischenzustände unterschiedliche Schwellenhöhen erfordern. Bei gesteuerten Einrichtungen muss dazu lediglich der Sollwert entsprechend verändert werden, ohne dass bauliche Maßnahmen erforderlich sind.

Abb. 4: Kanalnetzeinstau mit beweglicher Wehrschwelle

Abflusssteuerung in Kanalnetzen - eine interdisziplinäre Herausforderung für Ingenieure

von Dr.-Ing. Wolfgang Verworn, bpi Hannover, Beratende Ingenieure

Steuerungssysteme

Aus den obigen Beispielen ist erkennbar, dass Steuerungssysteme im Prinzip so funktionieren, dass anhand der Informationen über den Abflusszustand eine Steuerungseinrichtung (Stellorgan) so eingestellt oder verändert wird, dass der vorgegebene Sollwert erreicht bzw. beibehalten wird.

Steuerungssysteme setzen sich stets aus den Komponenten

- Messgerät
- Regler/Steuergerät
- Stellorgan
- ggf. Datenfernübertragung

zusammen, wobei die einzelnen Komponenten räumlich oder in ihrer Wirkungsweise in einem Gerät verbunden sein können. Liegen die Komponenten räumlich auseinander, so ist zusätzlich eine Datenfernübertragung erforderlich. In Abb. 5 sind die einzelnen Bausteine eines Steuerungssystems mit ihren Aufgaben dargelegt und einige Beispiele zur Illustration angegeben.

Betriebsziele

Voraussetzung für die Planung und den Entwurf von Steuerungssystemen ist die detaillierte Festlegung der Betriebsziele. Globale Ziele für das gesamte Entwässerungsgebiet ergeben sich z.B. aus wasserrechtlichen Anforderungen, etwa den Vorgaben nach dem ATV-Arbeitsblatt A 128. Daraus müssen dann die Betriebsziele des jeweiligen Steuerungssystems abgeleitet werden. Häufig sind mehrere, konkurrierende Zielsetzungen vorhanden, wie z.B.

- Vermeidung von Überflutungen des Kanalnetzes
- Reduzierung der Mischwasserabschläge in Gewässer
- Minimierung von Betriebs- und Energiekosten
- Vermeidung von unnötigen Beckenbefüllungen

(d.h. Reduzierung des Reinigungsaufwandes)

In diesen Fällen müssen Prioritäten der Einzelziele angegeben werden, damit auch in Konfliktfällen noch eine sinnvolle Steuerung möglich ist. Aus der Definition der Betriebsziele leiten sich dann die Sollwerte für die einzelnen Steuerungsanlagen ab.

Steuerstrategie

Wesentlicher und charakteristischer Bestandteil eines Steuerungssystems ist die Steuerstrategie. Sie gibt an, auf welche Weise das Stellorgan eingestellt werden muss oder zu betreiben ist, damit der Sollwert - und damit im weiteren Sinne auch das Betriebsziel - eingehalten wird.

Eine Steuerstrategie kann im einfachsten Fall aus Ein- und Ausschaltpunkten für eine Pumpe, aber auch aus einer Steuermatrix (WENN-DANN-Beziehungen), Parametern für einen Regler oder sogar aus den Regeln für ein Expertensystem bestehen.

Die Steuerstrategie muss so ausgelegt sein, dass sie im Mittel über alle auftretenden Belastungszustände - also nicht nur für einen Bemessungsregen - die Betriebsziele bestmöglich erreicht. Für die Entwicklung und den Nachweis von Steuerstrategien sind mathematische Simulationsmodelle ein unentbehrliches Hilfsmittel geworden.

Mathematische Simulationsmodelle

Mit Simulationsmodellen für die Kanalnetzberechnung und die Schmutzfrachtberechnung können in bekannter Weise hydraulische Auslastungen des Kanalnetzes und mittlere jährliche Entlastungsdaten berechnet werden. Beide Berechnungsmodelle gehen dabei bislang überwiegend von einem starren Berechnungsnetz aus. Für die Belange der Abflusssteuerung müssen dagegen hydrodynamische Simulationsmodelle eingesetzt werden, die zusätzlich zum herkömmlichen Umfang auch Module zur Simulation des hydraulischen Verhaltens der Stellorgane (Schieber, Wehre, Klappen, Pumpen) sowie Module zur Einbeziehung von Steuerstrategien enthalten. Darüber hinaus ist es vorteilhaft, wenn auch das Echtzeitverhalten der Stellorgane sowie der Regel- und Steuereingriffe nachgebildet werden kann. Dadurch ist es dann möglich, bereits in der Entwurfsphase mittels Computersimulation die Anforderungen an das dynamische Verhalten der Stellorgane (z.B. Verstellgeschwindigkeiten von Wehrklappen) anzugeben und die erforderlichen Reglertypen einschließlich der Parameter festzulegen.

Bei den Simulationsrechnungen für Steuerungszwecke wird die Langzeitsimulation angewendet, da die Berechnungen für die unterschiedlichsten Belastungen durchgeführt werden müssen. Die Simulationsmodelle dienen dann dazu, die ausgewählten Standorte der Steuerungseinrichtungen zu überprüfen, die Auswirkungen unterschiedlicher Steuerstrategien zu beurteilen sowie die wasserwirtschaftlichen Erfolge von Steuerungsmaßnahmen zu ermitteln.

Abflusssteuerung in Kanalnetzen - eine interdisziplinäre Herausforderung für Ingenieure

von Dr.-Ing. Wolfgang Verworn, bpi Hannover, Beratende Ingenieure

Sicherheitsaspekte bei der Entwurfsgestaltung

Mit dem Einbau von Steuerungssystemen im Kanalnetz werden verschiedenste Einrichtungen installiert, die alle einer gewissen Ausfallrate unterliegen. Um das Risiko technischen Versagens klein zu halten, sollte man sich an folgenden Entwurfsgrundsätzen orientieren:

- Bei der Auswahl der technischen Einrichtungen ist die Betriebszuverlässigkeit der Geräte ein ganz wesentliches Kriterium
- Unbedingte Voraussetzung für die Funktionssicherheit eines Steuerungssystems ist eine ausreichende Überwachung und Wartung
- Für Systembausteine, bei deren Ausfall oder Störung ein hohes Schadensrisiko entsteht, muss gewährleistet sein, dass im Versagensfall eine Funktionsweise erreicht wird, die mindestens der des ungesteuerten Systems entspricht.

Entwurfsbestandteile

Grundbestandteil eines Entwurfs für Steuerungssysteme ist ein normaler bau-, maschinen- und elektrotechnischer Entwurf. Daneben sind zusätzlich steuerungsspezifische Unterlagen zu erstellen, wobei das Ausmaß sehr vom jeweiligen Anwendungsfall abhängt. Vielfach sind folgende zusätzliche Unterlagen zu erstellen:

- Verfahrensschemabilder für Steuerungseinrichtungen, aus denen schematisch die Zusammenhänge zwischen baulichen und mess-, steuer- und regelungstechnischen Belangen ersichtlich wird
- Dokumentation der Steuerstrategie, ggf. als genehmigungsfähiger Betriebsplan
- Anforderungen an Hardware und Software
- Datenumfang für Fernwirkverbindungen
- Umfang der Darstellung des Betriebszustandes vor Ort
- Umfang der Protokollierung und Archivierung von Messdaten für Beweissicherungszwecke
- Verfahrensweise bei Ausfall von Anlagenteilen

Zusammenfassung

Durch den Einsatz von Steuerungssystemen in Kanalnetzen können in vielen Fällen bauliche Maßnahmen ersetzt bzw. in ihrem Umfang verringert werden. Auf

diese Weise können erhebliche Investitionskosten eingespart werden, indem die vorhandenen Kanäle bewirtschaftet werden und existierender Speicherraum besser ausgenutzt wird.

Steuerungssysteme funktionieren im Prinzip so, dass anhand der Informationen über den Abflusszustand eine Steuerungseinrichtung (Stellorgan) so eingestellt oder verändert wird, dass der vorgegebene Sollwert erreicht bzw. beibehalten wird. Steuerungssysteme sind nicht nur auf einen bestimmten

Abflusszustand ausgelegt, sondern können flexibel auf die unterschiedlichen Abflussverhältnisse reagieren und sind durch Sollwertänderungen einfach anpassbar. Bei Sanierungen ist dies gerade in Hinblick auf einen schrittweisen Ausbau mit vielen Zwischenzuständen von großem Vorteil.

Planung und Entwurf von Steuerungssystemen stellen an den Ingenieur erhöhte Anforderungen, da zusätzlich die Belange der Messtechnik sowie der Steuer- und Regelungstechnik hinzukommen. Nachdem sich in Voruntersuchungen die Anwendbarkeit der Abflusssteuerung gezeigt hat, ist es notwendig, die Betriebsziele und deren Prioritäten genau zu definieren. Darauf baut dann die Entwicklung der Steuerstrategie auf, die in der Regel mit Hilfe von Simulationsmodellen

durchgeführt wird. Diese Modelle müssen über entsprechende Berechnungsmodule für die Simulation des hydraulischen und des Echtzeitverhaltens von Stellorganen, Reglern und Steuereinheiten sowie von Regel- und Steuereingriffen verfügen. Auf diese Weise wird es möglich, bereits bei der Entwurfsphase die dynamischen Anforderungen an alle einzelnen Elemente eines Steuerungssystems festzulegen und die erforderlichen Regler, Steuereinheiten etc. einschließlich der zugehörigen Parameter zu definieren. Bei der Inbetriebnahme des Steuerungssystems ist dann allenfalls noch eine Feinjustierung der Anlage erforderlich.