

## Abflusssteuerung - Einführung und Ziele

Wolfgang Schilling

Department of Hydraulic & Environmental Engineering  
Norwegian University of Science and Technology, Trondheim

### 1 Einführung in die Abflusssteuerung

Kanalisationsanlagen im Mischsystem haben die grundlegenden Funktionen

- (1) der Wasserableitung zum Vorfluter und
- (2) der Schmutzstoffableitung zur Kläranlage.

Im Idealfall sollten Überflutungen im Entwässerungsgebiet und Regenentlastungen in die Vorfluter nicht auftreten. Falls sie nicht vermeidbar sind, sollten sie wenigstens **nur dann auftreten, wenn zur selben Zeit die zur Verfügung stehenden Sammler und Speicher ihre Kapazitätsgrenzen erreicht haben und möglichst nur dort, wo der Schaden am geringsten ist.**

Für alle die vielen möglichen Belastungszustände kann ein Kanalnetz zwangsläufig nicht optimal arbeiten: Trotz Überlauf in den Vorfluter oder gar Überstau mit Wasserständen über die Rückstauenebene hinaus kann Transport- oder Speicherkapazität ungenutzt sein. In derartigen Fällen sind diese Schäden vermeidbar oder wenigstens verminderbar durch eine laufende Beeinflussung der Abwasserableitung, kurz: durch **Bewirtschaftung** oder **Steuerung**.

Beispielsweise tritt im Falle einer Beckenentleerung durch eine Rohrdrossel der Bemessungsabfluß nur bei vollständiger Beckenfüllung auf. Zu Zeiten von Teilfüllungen wird die Reinigungskapazität der Kläranlage dagegen nicht ausgenutzt, da der Beckenabfluß infolge des kleineren Vordrucks geringer ist. Somit wird in derartigen Fällen Speicherraum verschenkt, da bereits Einstau erfolgt, wenn dies noch gar nicht notwendig ist. Zudem wird auch die Entleerungszeit verlängert, da nur während eines kurzen Zeitraums der größte zulässige Drossel- bzw. Entleerungsabfluß erreicht wird.

Ähnliche Überlegungen gelten auch für die **Minimierung der Schadstoffemissionen** aus dem Gesamtsystem Kanalnetz und Kläranlage. Das Prinzip der

Mischkanalisation und mechanisch/ biologischer Kläranlage hat sich wegen des breiten Spektrums der vom Abwasser abgetrennten Stoffe und der hohen Betriebszuverlässigkeit schnell verbreitet. Die Anpassung der physikalischen, biologischen oder chemischen Prozesse an stark schwankende Zulaufbedingungen, besonders während Regenereignissen, hat jedoch mehr oder minder ausgeprägte Leistungseinbußen der gesamten Anlage zur Folge. Dasselbe gilt auch für andere Mischwasserbehandlungsbauwerke im Kanalnetz, deren Leistung belastungsabhängig ist (z.B. Absetzprozesse in Durchlaufbecken, Stoffabtrennung in Wirbelabscheidern, etc.).

Aus diesen Gründen werden heute gleichzeitig die Forderungen nach einer verbesserten Überflutungssicherheit, einer erhöhten Speicherauslastung der Kanalnetze und geringer Ablaufwerte bei hoher Betriebsstabilität und hoher Belastbarkeit der Kläranlage (als Zulaufschwankung oder als Dauer der Mischwasserbeschickung) gestellt.

Wichtige Argumente sprechen für die Abflußsteuerung in Kanalnetzen:

1. Im Mischverfahren betriebene Kanalnetze verursachen Gewässerverunreinigungen, die nicht vernachlässigbar sind. In Deutschland wurden seit der Einführung des ATV-Arbeitsblattes A 128 Tausende von Regenüberlaufbecken gebaut.
2. Die Auswirkungen von Mischwasserentlastungen werden mit besserer Kläranlagenleistung zwar nicht gravierender aber deutlicher. Überspitzt ausgedrückt werden Fischsterben nach Anspringen von Mischwasserüberläufen erst durch eine wirksame zentrale Abwasserbehandlung möglich, da letztere die für Fische notwendigen günstigen Lebensbedingungen erst geschaffen hat.
3. Es ist ausgesprochen teuer, Mischwasserüberläufe und hydraulische Überlastungen mit konventionellen Mitteln wie dem Bau zusätzlicher Sammler und Becken zu verringern. Dies gilt insbesondere, wenn "der letzte m<sup>3</sup>" eines Regenbeckens nur wenige Male pro Jahr aktiviert wird.
4. Vermutlich gibt es kein wasserwirtschaftliches System, in dem die **Diskrepanz zwischen Entwurfs- und Betriebsbedingungen** so groß ist wie bei Mischkanalisationen. Während mehr als 90 % der Zeit werden Mischwasser-netze mit weniger als 10 % ihrer Transportkapazität beaufschlagt. Diese Diskrepanz eröffnet einen Handlungsspielraum, der mit Hilfe der Kanalnetzbewirtschaftung nutzbar gemacht werden kann.

## 2 Grundbegriffe der Abflusssteuerung und technische Randbedingungen

**Zielgerichtete Eingriffe** in die laufenden Abfluß- und Speichervorgänge in Entwässerungssystemen werden mit Kanalnetzbewirtschaftung oder Abflußsteuerung bezeichnet. Synonyme Begriffe sind Kanalnetzsteuerung, Echtzeitsteuerung, on-line Betrieb oder operationeller Betrieb. Dabei werden auf der Grundlage fernübertragener Messungen (z.B. Niederschlag, Wasserstand, Abfluß) **während** des Abflußvorganges Steuerungseinrichtungen (z.B. Wehre, Pumpen, Schieber) so betrieben, daß die Betriebsziele mit **möglichst wenigen** Beeinträchtigungen oder Schäden erreicht werden.

Betriebliche Unzulänglichkeiten ungesteuerter Kanalnetze sind weitgehend bekannt, so daß in vielen Systemen bereits von vornherein Steuerungseinrichtungen installiert oder nachgerüstet werden. Soweit Fremdenergie dabei nicht eingesetzt werden soll oder kann, werden hierzu selbstregulierende Steuerungseinrichtungen wie z.B. schwimmergeregelte Abflußklappen, schwimmergesteuerte Abflußblenden, Wirbeldrosseln, luftgeregelte Heberwehre, usw. eingesetzt. Diese Einrichtungen haben alle die Funktion, Abflüsse bzw. Wasserstände auf einem fest vorgegebenen Sollwert (Führungsgröße) zu halten.

Wenn zur Steuerung nur Messungen am Ort der Steuerungseinrichtung verwendet werden, spricht man auch von **lokaler Steuerung**. In Systemen mit lokaler Steuerung wird, im Gegensatz zu unbewirtschafteten Systemen, das Stauziel in einem Kanalstauraum oder der Bemessungsabfluß aus einem Becken eingehalten.

In Bewirtschaftungssystemen mit nur einem Element (z.B. ein Ausgleichsbecken am Kläranlagenzulauf) stellt die lokale Steuerung bei zweckmäßig gewähltem Sollwert eine günstige Betriebsweise dar. Bereits bei zwei Becken ist jedoch die unabhängige Bewirtschaftung der Beckenabflüsse problematisch. So geschieht es beispielsweise sehr häufig, daß das obenliegende Becken noch Abwasser abgibt, obwohl das untenliegende bereits überläuft. Offensichtlich entspricht also sowohl der ungesteuerte als auch der lokal gesteuerte Betrieb von mehreren Becken nicht dem erreichbaren Optimum.

Ein wesentlich flexiblerer Betrieb ist möglich, wenn **Fremdenergie** eingesetzt wird. Dann lassen sich Signale eines oder mehrerer **Meßgeräte** (z.B. Drucksonden) mittels elektronischer **Datenübertragung** zu einem Regler führen, der seinerseits den Antrieb eines Stellglieds (z.B. Elektroschieber) aktiviert. Die anfallenden Daten werden in einer Zentrale (z.B. Leitwarte auf der

Kläranlage) zusammengeführt. So kann der Betriebszustand aller Netzelemente berücksichtigt und deren Aktivierung im gesamten Entwässerungsgebiet über die Variation der Sollwerte koordiniert werden.

Die Notwendigkeit einer derartigen **Verbundsteuerung** stellt sich um so mehr,

- je mehr unabhängig aktivierbare Steuerungseinrichtungen vorhanden sind,
- je ungleichmäßiger deren Beaufschlagung bzw. Überlastungsverhalten sind,
- je variabler die Betriebsbedingungen und
- je strenger die Anforderungen an das Betriebsergebnis sind.

Wegen der höheren Kosten für Fremdenergie, Datenfernübertragung und Steuerzentrale muß der Nutzen eines Verbundsteuerungssystems im Einzelfall gegen den zusätzlich erforderlichen technischen Aufwand abgewogen werden.

Während Probleme der Gerätetechnik heute gelöst sind, wird nach wie vor das Potential verbesserter **Steuerstrategien** nicht ausgenutzt. Die in den letzten Jahrzehnten entwickelten Verfahren zur **optimierten** Systemsteuerung werden immer noch selten für die Kanalnetzbewirtschaftung angewendet. Bei der Implementierung der ersten Bewirtschaftungssysteme hat man sicher die Probleme insgesamt unterschätzt, als man schon von optimaler Steuerung sprach, die Hauptschwierigkeit jedoch noch darin bestand, die Ausrüstung funktionsfähig zu erhalten. So wird häufig der ursprünglich vorgesehene Schritt von der lokalen Steuerung hin zur Verbundsteuerung kaum mehr vollzogen. Leider scheint vielen Betreibern der potentielle Nutzen einer Verbundsteuerung in Kanalnetzen nicht bewußt zu sein. Welche sind nun die grundsätzlichen Optionen, Steuerstrategien zu ermitteln ?

In beaufsichtigten Steuerzentralen verläßt man sich meist auf das Betriebspersonal, dessen gesammelte Erfahrung einigermaßen zutreffende Einschätzungen des Betriebszustandes und darauf aufbauende Bewirtschaftungseingriffe gewährleistet (**überwachte Steuerung**). Zunehmend werden heute die Möglichkeiten flexibler Benutzeroberflächen moderner Leittechnik genutzt. Auch ist es möglich, mit Hilfe eines **Simulationsmodells** Steuerungseingriffe mit Hilfe eines Rechners zu testen, bevor sie ausgeführt werden.

Bei dieser beaufsichtigten Bewirtschaftung schließt der Mensch den Regelkreis. Dieser kann aus Erfahrung sofort viele mögliche Steuerungsvarianten ausschließen, reagiert bei entsprechender Erfahrung in außergewöhnlichen Situa-

tionen angemessen und kann sich Informationsquellen bedienen, die einem Rechner verschlossen sind ("Blick aus dem Fenster").

Eine überwachte Steuerung hat jedoch auch gravierende Nachteile. Die Betriebserfahrung des Personals bildet sich nur langsam. Es ist vor allem schwierig, sie an Nachfolger weiterzugeben. Im Gegensatz zu großräumigen Wassersystemen (z.B. Talsperren) oder Systemen mit regelmäßiger Belastung (z.B. Wasserversorgungsnetze) geschieht Kanalnetzbewirtschaftung unter Zeitdruck, da Entscheidungen innerhalb weniger Minuten gefällt werden müssen. Schließlich ist der Ermessensspielraum des Betriebspersonals eine schwer in Regeln fassbare Größe und daher für die Einführung von Bewirtschaftungsmaßnahmen eher hinderlich, da insbesondere von Aufsichtsbehörden hinsichtlich Fragestellungen bzgl. Sicherheit und Haftung "allgemein anerkannten Regeln der Technik" gefordert werden, die sich aber noch nicht ausgebildet haben.

Zwar ist die lokale Ebene in Bewirtschaftungssystemen praktisch immer automatisiert (z.B. Abwasserpumpen, Drosselschieber); automatische Verbundsteuerung ist dagegen bisher wesentlich seltener realisiert. Meist wird eine **automatische Steuerung** im Verbund anhand von "wenn ... dann ..." - Abfragen über Meß- und Statusgrößen realisiert (**Entscheidungsbaum**, **Entscheidungsmatrix**). Als Alternative kann man das Entscheidungsproblem als **Optimierungsproblem** formulieren und mit Hilfe Rechenprogrammen lösen lassen.

Bei der Konzeption von Steuerungssystemen werden zukünftig schmutzfrachtorientierte Gesichtspunkte neben der reinen Wassermengenbetrachtung an Bedeutung gewinnen, um die stoffliche Belastung der Gewässer zu reduzieren. Beispielsweise können Konzentrationen von einem oder mehreren Stoffen im Abwasser gemessen und anschließend ein Stellorgan betätigt werden, um einen vorgegebenen Sollwert für die Fracht dieser Wasserinhaltsstoffe zu erreichen. Derartige **Schmutzfrachtsteuerungen** sind bislang nur lokal auf bestimmte Prozeßstufen der Kläranlagen umgesetzt worden. Als Beispiel kann die Steuerung einer (Vor-)fällung in Abhängigkeit der zufließenden Phosphatfracht (frachtproportionale Dosierung) im Abwasser genannt werden.

Man kann aber auch indirekt auf eine wirksame Stoffabscheidung einwirken. Ein Beispiel stellen Durchlaufbecken dar, deren Absetzleistung in starkem Maße von der Oberflächenbeschickung abhängig ist. Hier wird der Zufluß nicht "gesteuert", sondern in einem Bereich eingestellt, der eine ausreichende Betriebseffizienz des Beckens gewährleistet. Die Grenzen dieses Bereiches können sich aus theoretischen Überlegungen oder aus Vorversuchen ergeben. Es

muß auch festgelegt werden, in welcher Betriebssituation die Grenzen dieses Bereiches überschritten werden dürfen, weil ein anderes Betriebsziel (z.B. Überflutungsschutz) von übergeordneter Bedeutung ist. Auch können netzspezifische Eigenschaften des Schmutzstofftransports bei der Erstellung von Betriebsplänen berücksichtigt werden. Als Beispiele können das **Abfangen von Konzentrationsspitzen** ("Spülstoß") in Speicherräumen an bestimmten Stellen der Kanalisation oder die bevorzugte Ableitung des Abflusses aus stark belasteten Einzugsgebieten (z.B. Industriegebiete) bei gleichzeitig stärkerer Aktivierung der Mischwasserentlastung in schwach belasteten Einzugsgebieten aufgeführt werden.

### 3 Steuerungseinrichtungen

Auf dem Markt befinden sich mittlerweile viele Geräte, die zur Kanalnetzbewirtschaftung eingesetzt werden. Alle Einrichtungen funktionieren im Prinzip so, daß aufgrund einer Information über den Abflußzustand (Wasserstand, Durchfluß) an einem Stellorgan ein Steuerungsvorgang ausgelöst wird, mit dem Ziel, den vorgegebenen Sollwert zu erreichen. Dabei können die Systembausteine Meßgerät, Regler/Steuergerät und Stellorgan als getrennt wirkende Geräte oder in ihrer Wirkungsweise in einem Gerät verbunden ausgeführt sein.

Die **Steuerungsaufgaben** einer einzelnen Einrichtung lassen sich auf drei Grundaufgaben zurückführen:

1. Einstellen des Wasserstandes vor der Steuerstelle (Oberwasser)
2. Einstellen des Wasserstandes hinter der Steuerstelle (Unterwasser),
3. Einstellen des Durchflusses an der Steuerstelle.

In diesem Zusammenhang sollte beachtet werden, daß im Sprachgebrauch der Abwassertechnik der Begriff "Steuern" übergreifend für die in der Regelungs-technik voneinander unterschiedenen Begriffe "Steuern" und "Regeln" verwendet wird.

Die Aufgabe "Einstellen eines Oberwasserstandes" ist immer dann zu lösen, wenn in Stauräumen ein **maximal zulässiges Stauziel** möglichst weitgehend ausgenutzt, nicht jedoch überschritten werden soll. Durch die herkömmliche feste Wehrschwelle läßt sich diese Zielsetzung prinzipiell nicht verwirklichen.

Als Steuerungseinrichtungen kommen zur Anwendung:

- durch ein Gewicht oder durch Auftrieb (Schwimmer) bewegte Stellorgane und
- durch Fremdenergie angetriebene Stellorgane, die durch ein Wasserstandsmeßgerät über einen Regler eingestellt werden.

Die Aufgabe, in der Kanalisation einen **vorgegebenen Durchfluß** einzustellen, ist vorwiegend dadurch gegeben, daß der Mischwasserabfluß in der Kanalisation einerseits aufgrund der beschränkten Kapazität der Kläranlagen auf ein bestimmtes Maß ( $2Q_s+Q_r$ ) begrenzt werden muß, daß aber andererseits die Kapazität der Abwasseranlagen bei Regenabfluß auch voll ausgenutzt werden soll. So ist beispielsweise auch denkbar, daß Kläranlagen auch bei erhöhtem Mischwasserzufluß die Reinigungsanforderungen erfüllen können.

Die herkömmliche feste Rohrdrossel ist in ihrer Durchflußleistung stark abhängig von der Druckdifferenz zwischen Ober- und Unterwasser und daher zur Einstellung einer festen Durchflußgröße nur bedingt einsetzbar. Für eine hinreichend exakte Einstellung eines Soll durchflusses und dessen **flexible Veränderung** unter allen Betriebsbedingungen (Rückstau, Verlegung, usw.) kommen nur Steuerorgane in Frage, die durch Fremdenergie angetrieben sind und durch ein Abflußmeßgerät und einen Regler eingestellt werden.

Wenn Rückstau und Verlegung ausgeschlossen werden können, kommen außer den genannten Geräten auch folgende Einrichtungen zum Einsatz:

- durch Schwimmer im Oberwasser bzw. Unterwasser bewegte Stellorgane,
- durch Fremdenergie angetriebene Stellorgane, die durch ein Wasserstandsmeßgerät im Oberwasser über ein Steuergerät betätigt werden
- durch Fremdenergie angetriebene Stellorgane, die durch ein Durchflussmessgerät im Unterwasser über ein Steuergerät betätigt werden oder
- ohne Fremdenergie arbeitende Sonderkonstruktionen, wie Wirbel-, Schlauch- oder Raddrossel.

Die **Wahl des geeigneten Gerätetyps** ist für den jeweiligen Einsatz gesondert nach folgenden **Kriterien** zu prüfen:

- Einsatzmöglichkeiten unter den lokalen Gegebenheiten (Platzbedarf, Höhenverlust),
- Notwendigkeit von Fremdenergie für den Betrieb,
- Kosten und Einbauaufwand,
- Möglichkeit der Fernüberwachung / -steuerung,
- Betriebssicherheit,
- Verhalten bei Störungen / Ausfällen (selbsttätiges Herbeiführen eines sicheren Betriebszustandes)
- Regelverhalten und Flexibilität (zulässiger Sollwertbereich, Regelabweichung, Anpassungsfähigkeit an veränderte Bewirtschaftungsziele) und
- Wartungsaufwand.

#### 4 Einsatzmöglichkeiten der Abflusssteuerung

Als eine der wichtigsten Voraussetzungen für eine rationale Planung eines Bewirtschaftungssystems müssen die **Betriebsziele** definiert werden. Dazu müssen die aktuellen Probleme des Entwässerungsbetriebs, der Abwasserreinigung und der Gewässergüte der betroffenen Vorfluter analysiert werden. Hieraus lassen sich Anforderungen an das Entwässerungssystem und damit die Betriebsziele formulieren. Entwässerungssysteme erfüllen von ihren drei prinzipiellen Aufgaben

- Schutz vor Gesundheitsgefahren,
- Entwässerung und
- Gewässerschutz

zumeist nur die erste in befriedigender Weise. Schadensfreie Entwässerung und perfekter Gewässerschutz sind wegen der extrem variablen Niederschlagsbelastungen und Schmutzwassereinleitungen nicht nur prinzipiell unmöglich, sondern, bei statischen, d.h. nicht steuerbaren Systemen auch noch vom Zufall

einer "passenden" zeitlichen und räumlichen Belastung und der ausnahmsweise zur Verfügung stehenden vollen Transport-, Speicher- und Behandlungskapazität abhängig.

**Hydraulische Überlastungen** des Netzes manifestieren sich durch nicht tolerierbar häufigen Rückstau oder Überschwemmungen im Entwässerungsgebiet. Oft wird in derartigen Fällen durch den Neubau von Sammlern versucht, zusätzliche Transportkapazität zu schaffen bzw. Teileinzugsgebiete an weniger beaufschlagte Sammler anzuschließen. Durch Kanalnetzbewirtschaftung ist es dagegen denkbar, überstaugefährdete Sammler zeitweise von obenliegenden Sammlerzuflüssen "abzuhängen". Dies geschieht in vermaschten Netzen durch **Abflußumleitung**, in Netzen mit Baumstruktur durch ausnahmsweises Öffnen obenliegender steuerbarer **Regenentlastungen**. Kleinere lokale Überlastungen lassen sich so wirksam bekämpfen. Dies ist aktuell besonders durch die Anforderungen der DIN EN 752 an die Überflutungssicherheit der Kanalnetze.

Während bei Regenbecken mit statischen und lokal wirkenden Drosselrichtungen nicht gewährleistet ist, daß **Mischwasserentlastungen** erst auftreten, wenn alle Becken auch wirklich eingestaut sind, kann dies durch im Verbund bewirtschaftete Becken besser erreicht werden. Zudem ist es denkbar, vorhandenen, aber nicht genutzten Sammlerstauraum durch gezielten Einstau auszunutzen. Hier liegt einer der wesentlichen Vorteile von bewirtschafteten Netzen. Kleinere Entlastungsereignisse lassen sich so vermeiden und mittlere deutlich vermindern.

Sinnvoller Gewässerschutz kann nur aus einer Gesamtbetrachtung von **Kanalnetz und Kläranlage** resultieren. Der Mischwasserabfluß wirkt sich auf unterschiedlicher Weise auf die Ablaufqualität von Kläranlagen aus. Bei Mischwasserabfluß fließt kurzfristig ein Mehrfaches der mittleren Stickstofffracht bei Trockenwetter der Nitrifikationszone zu. Die Ursache hierfür ist hauptsächlich die Ausspülung der Kanalisation und die Verdrängung von vergleichsweise hochverschmutztem Rohabwasser aus der Vorklärung. In Abhängigkeit vom Schlammalter, mit dem die Anlage betrieben wird, und von der durchschnittlich nitrifizierten Stickstofffracht bildet sich eine bestimmte Nitrifikantenpopulation im Belebtschlamm. Die Umsatzleistung dieser Population ist begrenzt und im wesentlichen vom Schlammalter, von der Ammoniumkonzentration und von der Temperatur im **Nitrifikationsbecken** abhängig.

Die Frachtbelastungsspitzen, die zu Beginn des Mischwasserabflusses auftreten, schlagen in den Ablauf durch und führen zu erhöhten Ammoniumkonzentrationen. Dies ist sowohl in halbtechnischen Anlagen beobachtet als auch auf Klärwerken bestätigt worden.

Mit zunehmender Dauer des Mischwasserabflusses nimmt infolge der starken Abnahme der Konzentrationen aller Wasserinhaltsstoffe durch Verdünnung in der Regel die Ablaufkonzentration ab. Die Leistung der **Denitrifikation** ist bei langanhaltendem Mischwasserzufluß stark vermindert. Dies ist auf die starke Abnahme der leicht abbaubaren Kohlenstoffverbindungen im Zulauf (gemessen als Gehalt an organischen Säuren) zurückzuführen.

Nach den Richtlinien bemessene und betriebene **Nachklärbecken** weisen oft eine Zunahme der abtreibenden Feststoffe im Ablauf der Nachklärung auf (als abfiltrierbare oder absetzbare Stoffe beschrieben). Diese Zunahme führt in der Regel nicht zu Grenzwertüberschreitungen, kann aber für den Austrag von partikulären organischen Stoffen (als CSB erfaßt) oder für partikulär gebundene Phosphorverbindungen von Bedeutung sein. Von besonderer Bedeutung ist die Beobachtung, daß der Anteil der feinpartikulären Feststoffe im Ablauf der Nachklärung bei Mischwasserabfluß zunimmt. Dies ist ein Hinweis auf einen erhöhten Austrag von Schadstoffen, insbesondere von Schwermetallen, die vorrangig an feinen Schwebstoffen gebunden sind. Durch die schlechtere Leistungsfähigkeit der Nachklärbecken bei Mischwasserzulauf nimmt auch die Schlammkonzentration im Belebungsbecken ab, was die o.g. Probleme bei der Nitrifikation verstärkt, da insbesondere die langsam wachsende Nitrifikantenpopulation erst später wieder aufgebaut ist.

Es läßt sich also feststellen, daß die Stoßbelastungen infolge Mischwasserzufluß bei der biologischen Abwasserreinigung zu Veränderungen in der Reinigungsleistung und der Ablaufqualität führen, die sich für die verschiedenen Abwasserinhaltsstoffe und Reinigungsprozesse unterschiedlich darstellen. Von Bedeutung für diese Beeinträchtigung ist einerseits das Verhältnis des maximalen Kläranlagenzulaufs bei Regen zum Zulauf bei Trockenwetterabfluß und andererseits die Dauer der Mischwasserbeschickung. Aus den obigen Ausführungen ist zu erkennen, daß auch eine konstante Kläranlagenbeschickung zeitweilig die Unterschreitung oder Überschreitung der Kapazität einzelner Prozesse zur Folge hat. Der zeitlicher Verlauf der Wassermengen und (in begrenztem Umfang) auch der Wasserinhaltsstoffe im Kläranlagenzulauf lassen sich beeinflussen, so daß die Kläranlagenbeschickung und der **Betrieb aufeinander abgestimmt** werden können. Dies gilt auch für andere Bauwerke, deren Leistung von der Beschickung abhängig ist (z.B. Fang- oder Durchlaufbecken). Es ist abhängig von der Leistungsfähigkeit der Kläranlage aber durchaus möglich, daß die Aufnahmekapazität der Kläranlage größer ist und somit das Füllen von Speichervolumina im Kanalnetz durch erhöhten Kläranlagenzulauf verzögert werden kann.

Befinden sich unterschiedlich empfindliche **Vorfluter** im Einzugsgebiet, so kann mit Kanalnetzbewirtschaftung erreicht werden, Regenüberläufe an sensibleren Vorflutern möglichst spät oder überhaupt nicht anspringen zu lassen. Mischwassereinleitungen können auf längere Zeiträume verteilt oder dort vorgenommen werden, wo die Stoffkonzentrationen erfahrungsgemäß am geringsten sind. Auf diese Weise kann der ökologische Streß im Vorfluter reduziert werden.

Besonders in flachen Einzugsgebieten muß Abwasser oft mehrfach gepumpt werden. Auch müssen Regenbecken in diesen Gebieten durch **Pumpen** beschickt oder entleert werden. Teilweise besteht die Möglichkeit, Abwasser entweder im Freigefälle durch flache Sammlernetze zur Kläranlage abfließen zu lassen oder in tiefliegenden Stauraumkanälen zu sammeln und nach Regenende zur Kläranlage zu pumpen. In jedem dieser Fälle kann durch einen optimierten Pumpbetrieb gewährleistet werden, daß nur möglichst geringe Wassermengen gepumpt und somit geringe Pumpleistungen erbracht werden müssen. Da Energiekosten meist überproportional mit der aufgenommenen Leistung steigen, können sogar zeitliche Umverteilungen von Pumpleistung Kosteneinsparungen bedeuten, ohne daß sich die gesamte Fördermenge verringert.

Kanalnetze müssen regelmäßig **gewartet** werden. Durch Steuerungs- und Überwachungseinrichtungen lassen sich diese Arbeiten koordinieren. Der Organisationsablauf wird ggfs. beschleunigt und die Sicherheit des Wartungspersonals erhöht. Gezielte, ferngesteuerte Spülungen sedimentationsanfälliger Sammler mit eingestautem Trockenwetterabfluß oder Wasser aus Vorflutern können den manuellen Aufwand vor Ort verringern.

**Trockenwetter"entlastungen"** oder ständig gefüllte Regenbecken treten auf, wenn Abflußdrosseln verstopft sind. Dies wird oft erst dann erkannt, wenn wegen des ausgeleiteten Schmutzwassers ein Gewässerschaden aufgetreten und es damit bereits zu spät ist. Mit einem Fernüberwachungssystem können derartige Ereignisse praktisch ausgeschlossen werden.

Eine wichtige Aufgabe ist die Einhaltung **wasserrechtlicher** Auflagen (z.B. durch Aufsichtsbehörden) und **vertraglicher** Vereinbarungen (z.B. gegenüber Nachbarkommunen). Häufig werden Abwässer an Übernahmepunkten zwischen Kommunen mengenmäßig genau registriert. Einige Kommunen überwachen ihre Regenentlastungen, um gegebenenfalls bei rechtlichen Auseinandersetzungen eine klare Beweisgrundlage zu besitzen.

## 5 Grundsätze der Planung von Abflusssteuerungssystemen

Eine notwendige Voraussetzung für die Planung von Bewirtschaftungssystemen sind umfassende Kenntnisse über die **Funktionsweise** des Entwässerungssystems. Probleme der Abwasserableitung und des Gewässerschutzes können nur dann sinnvoll analysiert werden, wenn ausreichend genaue Daten über das **Betriebsverhalten** des Entwässerungssystems vorliegen. **Messungen** im Kanalnetz, an Überläufen und an Kläranlagen und Betriebsprotokolle geben darüber erste Aufschlüsse. Besonders zweckmäßig ist ein zentrales Überwachungssystem, mit dem sich das Zusammenwirken aller Netzkomponenten gut analysieren läßt.

Für die weitere Planung unerlässlich sind **Modellrechnungen**, mit denen sowohl der **Ist-Zustand** als auch verschiedene **gesteuerte Varianten** verglichen werden können. Dabei kommt es vor allem darauf an, die unterschiedliche **Netzauslastung** zu erfassen, die durch räumlich und zeitlich variable Niederschlagsabflüsse und Abwassereinleitungen verursacht wird. Da der Effekt von Bewirtschaftungsmaßnahmen am gesamten Entwässerungssystem untersucht werden muß, sollte eine vereinfachte Netzdarstellung mit entsprechend großen Zeitschritten bei der Abflusssimulation verwendet werden. Wichtig dabei ist eine sinnvolle Detaillierungstiefe, die es mit akzeptablem Aufwand gestattet, eine zutreffende Massenbilanz an den wichtigsten Punkten des Netzes durchzuführen. Dabei kommt es vor allem auf realistische Belastungsansätze an (nicht Blockregen sondern möglichst räumlich-zeitlich variable historische Regendaten). Mit solchen Planungsmodellen werden der Ist-Zustand, die zweckmäßigste Lage und Anzahl von Steuerungseinrichtungen, die Auswirkungen unterschiedlicher Steuerstrategien sowie die Erfolge im Sinne der Erfüllung der Betriebsziele ermittelt.

Zunächst wird das **gesamte Kanalsystem** modellmäßig so vereinfacht, daß es aus möglichst wenigen **Elementen** besteht. Hierbei müssen jedoch alle wichtigeren hydraulischen Engpässe, Überläufe, Speicher, Transportstrecken sowie vorhandene und mögliche Standorte für Steuerungseinrichtungen erfasst werden. Mit Niederschlags- und Abflussmessungen lassen sich die Zulässigkeit dieser Vereinfachungen verifizieren. Im ersten Schritt wird das Leistungsvermögen des Netzes im ungesteuerten Ist-Zustand durch Modellrechnungen (**Langzeitsimulation**) analysiert.

Im nächsten Schritt werden je nach potentiell verfügbarer Kapazität zu bewirtschaftende Netzelemente ausgewählt und dann das Verhalten des **lokal gesteuerten Kanalnetzes** anhand der gleichen Belastungsfälle überprüft. Ein

Vergleich der Ergebnisse dieser lokalen mit denen des ungesteuerten Systems veranschaulicht die etwaigen Vorteile der lokalen Steuerung. Ein wichtiges Beurteilungskriterium ist,

- wie häufig hydraulische Überlastungen auftreten und **gleichzeitig** an anderen Stellen Transport- und Speicherkapazität verfügbar ist und
- wie häufig Entlastungen auftreten und **gleichzeitig** an anderen Stellen Speicher- bzw. Behandlungskapazität ungenutzt ist.

Falls die Kapazitätsausnutzung nicht befriedigend ist, muß eine **Steuerstrategie** zur **Verbundsteuerung** entwickelt werden. Hierbei muß eine Strategie entwickelt werden, nach der die Sollwerte aller lokalen Steuerungseinrichtungen in Abhängigkeit des Betriebszustandes **im Gesamtnetz** einzustellen sind. Wie bei der Überprüfung des Ist-Zustandes und des lokal gesteuerten Systems werden die Auswirkungen vorgeschlagener Strategien rechnerisch simuliert. So können unterschiedliche Strategievorschläge beurteilt und die erfolgversprechendste Lösung gefunden werden. Die Ergebnisse der möglichen Alternativen "ungesteuertes System", "lokal gesteuertes System" und "Verbundsteuerungssystem" (oder Mischformen) werden daraufhin gegenübergestellt. Die Entscheidung über das zu realisierende System sollte dann aufgrund einer **Kosten-Wirksamkeits-**Untersuchung erfolgen.

## 6 Betriebsziele der Abflusssteuerung

Dem Betriebspersonal sollten die Betriebsziele verständlich und überzeugend dargelegt werden. Daraus soll sich für das Betriebspersonal die Motivation ergeben, das Entwässerungssystem im Sinne der Betriebsziele optimal zu führen.

Hierzu sind alle **technischen Betriebsziele** aufzuführen, wobei die **Prioritäten** erkennbar sein sollten. Es muß klar sein, ob es sich um **absolute** Prioritäten handelt (1. Ziel immer wichtiger als 2. Ziel, 2. immer vor 3., usw.) oder ob diese **relativ** sein können (z.B. 2. vor 3., jedoch nur bei kritischer Vorfluter-Wasserführung).

Im Allgemeinen werden folgende **spezifischen Betriebsziele** angestrebt, wobei die **Sicherheit für Leib und Leben** des Betriebspersonals und der Bevölkerung allerdings zu jeder Zeit gewährleistet sein muß und somit grundsätzlich höchste Priorität hat. Sofern diese Sicherheit gewährleistet ist, sollen durch geeignete operationelle Eingriffe folgende Ziele erreicht werden:

1. **Schäden infolge Überflutungen** des Kanalnetzes, des entwässerten Siedlungsgebietes sowie der Unterlieger vermeiden (bei Gefährdung von Leib und Leben, Gesundheitsrisiken, o.ä.)
2. **Gewässerverschmutzung** infolge Mischwasserentlastungen und ggfs. Regenwassereinleitungen reduzieren oder vermeiden
3. Einzelne Anlagen und **Sachwerte schützen**
4. Ausgleich der Kläranlagenbeaufschlagung (auch bei TW), um die **Klärleistung optimieren**
5. Aktivierung von Beckenvolumen (d.h. unnötigen **Reinigungsaufwand**) vermeiden
6. Betriebs- und **Energiekosten minimieren** (z.B. Pumpbetrieb zu ungünstigen Zeiten vermeiden)
7. **Rückstau / Einstau** im Entwässerungssystem vermeiden

Die Ziffern entsprechen der Bedeutung (**Priorität**), die dem jeweiligen Betriebsziel in den meisten, allerdings nicht in allen Fällen zugemessen wird. Im Zweifelsfall empfehlen sich Abklärungen mit der Aufsichtsbehörde. In der obigen Aufstellung ist berücksichtigt, daß Gewässerschutz dem Anlagenschutz immer häufiger als höherwertiges Ziel vorgezogen wird (Schutz von Leben hat Vorrang vor Schutz von Vermögen). Es ist daher unerlässlich, im Vorhinein abzuklären, ob, wann und inwieweit ein Überschwemmungsrisiko in Kauf genommen wird, um das Gewässer besser zu schützen. (Das Betriebspersonal ist mit einer derart gravierenden Entscheidung in der aktuellen Situation überfordert !)

## 7 Betriebsplan

Der Betriebsplan (BP) ist ein Dokument, das dem Betriebspersonal vorschreibt, welche operationellen **Eingriffe** unter den jeweils herrschenden Betriebsbedingungen eines Entwässerungssystems getroffen werden sollen. Er ist notwendig, um die in der Planungs- und Genehmigungsphase zugrundegelegten Betriebsziele auch tatsächlich umzusetzen. Er steckt darüber hinaus auch einen **Handlungsrahmen** für Notfallsituationen ab.

Einige Landeswassergesetze schreiben den Betrieb von Kanalisationsnetzen als genehmigungspflichtig vor (z.B. LWG Nordrhein-Westfalen § 58, Abs. 1 und

2). Im Zusammenhang mit Verordnungen zur Selbstüberwachung kann der BP zur Erfolgskontrolle dienen. Besteht eine Verpflichtung zur **Selbstüberwachung**, so gilt dies sowohl für statische als auch gesteuerte Systeme.

Der Betriebsplan ergänzt die Dienst- und Betriebsanweisung gemäß A 148 in denjenigen Kanalnetzen, die mit Steuerungs- bzw. Fernwirksystemen ausgerüstet sind. In vollautomatischen Bewirtschaftungssystemen ist der BP Teil der im Regelfall automatisch ausgeführten Bewirtschaftungsstrategie. Der BP dient insbesondere dazu,

- gegenüber der Aufsichtsbehörde zu dokumentieren, welche Betriebsziele in welcher Weise realisiert werden sollen,
- eine Kontinuität in der Umsetzung der Betriebsziele zu schaffen,
- den Informationsfluß zwischen den Mitarbeitern in der Betriebszentrale und / oder an Außenstationen zu gewährleisten,
- offensichtlich unzweckmäßige Eingriffe (v.a. bei Trockenwetter) zu verhindern,
- neues Personal in die Grundlagen des operationellen Betriebes einzuführen sowie
- eine rationale Erörterung nach Schadensfällen zu ermöglichen (Beweissicherung).

Er besteht aus einem (kurzen) Handbuch und (umfangreichen) Anlagen. Im Handbuch sind die **Regeln** des operationellen Betriebes zusammengestellt, die innerhalb einer sehr kurzen Zugriffszeit auffindbar sein müssen. Die Anlagen enthalten dagegen alle technischen Details und Hintergrundinformationen, die zur Fortschreibung der Regeln, der Fehlersuche, der Wartung, usw. dienen können, aber i.d.R. nicht unter Zeitdruck benötigt werden.

## 8 Administrative Aspekte der Abflusssteuerung

Im Hinblick auf gesteuerte Kanalnetze bietet es sich an, vorhandenen Stauraum in Sammlern zur Speicherung von Abwasser auszunutzen, um so den Gewässerschutz zu verbessern. Prinzipiell erscheint dies auch dann zulässig, wenn durch Ortssatzungen festgelegte **Rückstauenebenen** dadurch wesentlich häufiger erreicht werden. Die hierdurch auftretenden Schadensfälle infolge unzureichen-

der Rückstausicherungen können sehr wohl durch den Nutzen "verbesserter Gewässerschutz" aufgewogen werden. Der Anschlußnehmer hat nämlich keinen Rechtsanspruch auf einen außergewöhnlich hohen Entwässerungskomfort, auch wenn dieser in der Vergangenheit bestand. Allerdings sollte sich der **Entwässerungskomfort** in den Netzteilen, die schon bisher die geringste Leistungsfähigkeit aufweisen, nicht zusätzlich verschlechtern, sondern es sollte eine möglichst **gleichmäßige Netzauslastung** angestrebt werden.

Wenn die zulässigen Grenzwerte und Überschreitungshäufigkeiten im Hinblick auf den Entwässerungskomfort und den Gewässerschutz unter Abwägung wirtschaftlicher Aspekte festgelegt sind, ist ein entsprechender **Nachweis** für das Kanalnetz zu führen. Dabei ist es nicht möglich, dies mit der für ungesteuerte Kanalnetze üblichen Nachrechnung mit einem Bemessungsregen durchzuführen: Per Definition arbeitet das Netz unter der Bemessungsbelastung zufriedenstellend. Bewirtschaftung heißt vielmehr, den Netzbetrieb auch für die vom Planungszustand abweichenden Belastungen zu optimieren. Daher kann die **Betriebsicherheit** und der **Betriebserfolg** bewirtschafteter Netze nur durch Simulation des Niederschlag-Abfluß-Prozesses einschließlich der Steuerungseingriffe für eine Vielzahl von Belastungszuständen nachgewiesen werden. Dabei sollten auch die **Funktionsicherheit** der einzelnen Meßgeräte und Steuerungseinrichtungen sowie die Eingriffsmöglichkeiten des Bedienpersonals berücksichtigt werden. Um das Risiko technischen Versagens klein zu halten, sollte man sich an dem Entwurfsgrundsatz orientieren, daß für Systembausteine, bei deren Störung ein hohes Schadensrisiko entsteht, gewährleistet sein muß, daß entweder **betriebsbereite Ersatzelemente** vorhanden sind (z.B. redundante Rechnersysteme) oder die ausgefallenen Funktionen von einer anderen Ebene übernommen werden (z.B. Umschalten von Verbundsteuerung auf lokale Steuerung). Grundsätzlich soll hierdurch im Versagensfall wichtiger Systemelemente eine **Funktionsweise garantiert werden, die mindestens der des ungesteuerten Systems entspricht** (z.B. Notumläufe bei Drosselbauwerken, um Überflutungen zu vermeiden).

Bei **Haftungsansprüchen** der Anschlußnehmer an den Betreiber steht in ungesteuerten Kanalnetzen bisher nur die Frage der richtigen Konzeption oder Dimensionierung im Vordergrund. Bei bewirtschafteten Netzen können auch fehlerhafte Betriebsentscheidungen oder technische Mängel des Bewirtschaftungssystems als Ursache für Schadensfälle vom Geschädigten angeführt werden. Der juristische Entscheidungsspielraum und damit das Haftungsrisiko lassen sich jedoch eingrenzen, wenn der Nachweis geführt wird, daß die **Konzeption** des Bewirtschaftungssystems und der Steuerstrategie sowie die **technische Ausstattung** und **Wartung** sachgerecht durchgeführt wurden. Damit

wird dokumentiert, daß der gewählte Entwässerungs- und Gewässerschutzstandard nicht willkürlich, sondern aufgrund eines umfassenden Abwägungsprozesses zustande gekommen ist, wobei auch wirtschaftliche Gesichtspunkte einfließen können und müssen.

Beim heute zu beobachtenden Entwicklungsfortschritt ist es zu erwarten, daß Kanalnetzbewirtschaftung zur Regel der Technik wird. In diesem Zusammenhang sei auf das Überwachungsgebot in einigen Bundesländern an wichtigen Entlastungsstellen oder auf die einschlägigen Empfehlungen in dem neuen ATV-Arbeitsblatt A 128 hingewiesen. Damit wird sich auch eine neuartige Rechtslage für den Anlagenbetreiber ergeben: Sie könnten für Schäden verantwortlich gemacht werden,

- die dadurch auftreten, daß **keine** Steuerungseinrichtungen vorhanden sind, um die Kapazität der vorhandenen Abwasseranlagen bei jedem Abflußereignis im Sinne des Gewässerschutzes optimal zu bewirtschaften, oder
- die dadurch entstehen, daß ein vorhandenes Bewirtschaftungssystem **fehlerhaft** oder **gar nicht** bedient wurde, obwohl die technischen Möglichkeiten vorhanden sind.

Entwässerungstechnik entwickelt sich primär aufgrund von gesetzlichen oder gesetzesähnlichen Vorgaben, die Mindestanforderungen vorschreiben. Diese lassen sich in der Regel mit konstruktiven Maßnahmen (z.B. Regenbecken mit Rohrdrosseln) erreichen. Aufwendungen, die über die Mindestanforderungen hinausgehen (z.B. Bewirtschaftung von Becken) erzeugen für den Betreiber Kosten, die häufig auch dann als nicht tragbar angesehen werden, wenn eine erhebliche **Effizienzsteigerung** damit verbunden ist. Der umgekehrte Weg, **Investitionen** (z.B. Beckenvolumen) zu sparen und die Effizienz der bereits vorhandenen Anlagen zu erhöhen, ist schwierig, wenn Aufsichtsbehörden konventionelle Maßnahmen explizit vorschreiben. Dieses offenkundige Dilemma ließ sich bisher nur im Einzelfall und durch erhebliche Überzeugungsarbeit lösen. Neuerdings wird jedoch von Seiten der Bundesländer und der ATV besonderer Wert auf kostensparende Technologien gelegt. Insofern bieten sich der Abflußsteuerung auch unter dem Gesichtspunkt erhöhte Chancen, Investitionskosten für Bauwerksvolumina einzusparen.

Eines der Probleme bei der Einführung von Technologien mit relativ hohen Betriebskosten wie etwa der Kanalnetzbewirtschaftung wird durch die gängige staatliche **Subventionspraxis** geschaffen. Hohe Zuschüsse zu baulichen und gerätetechnischen **Investitionen**, aber keinerlei Zuschüsse zu den **Betriebskosten** (Wartung, Personal, usw.) erzwingen geradezu den Bau von Kanalnetzen

mit einfachster technischer Ausstattung. Im Extremfall kann sich unter diesen Bedingungen gar die Umwandlung von Misch- in Trennsysteme aus der Sicht der Betreiber als die "wirtschaftlichste" Lösung herausstellen.

Man sollte auch beachten, dass der Nutzen der Kanalnetzbewirtschaftung v.a. aus der **Kombination vieler Vorteile resultiert**. Seltener Überlastungen, verminderte Entlastungsmengen, ausgeglichener Pumpbetrieb, verminderter Reinigungsaufwand, bessere Datengrundlagen für künftige Planungen und vor allem die Informationen im Hinblick auf Überwachung und Beweissicherung rechtfertigen als Summe aller Vorteile den Aufwand für ein Bewirtschaftungssystem.

## 9 Zusammenfassung und Schlußfolgerungen

Zusammenfassend läßt sich feststellen, daß die wesentlichen technische Probleme der Kanalnetzbewirtschaftung gelöst sind. Der Markt bietet bewährte Meßgeräte, Steuerungseinrichtungen, Datenübertragungs-, Regler- und Rechnersysteme, die sich auch für die rauen Einsatzbedingungen in der Stadtentwässerung eignen. Mit den heute existierenden Simulationsmodellen steht ein Instrumentarium zur Verfügung, mit dem die Wirkung von Bewirtschaftungssystemen abgeschätzt werden kann, bevor diese überhaupt implementiert werden. Die für Bewirtschaftungssysteme notwendige Ausrüstung ist eine andere, als die traditionell in der Stadtentwässerung übliche. Sie ist teilweise neuartig und erfordert in jedem Fall mehr und teureren Wartungsaufwand für anders ausgebildetes Personal. Bei einem Kostenvergleich mit konventionellen (d.h. ungesteuerten) Systemen muß jedoch auch berücksichtigt werden, daß in einem Kanalnetz mit einem funktionsfähigen Bewirtschaftungssystem im wahren Wortsinn "alles unter Kontrolle" ist. Die permanente Information über den Betriebszustand sowie die in allen existierenden Bewirtschaftungssystemen erreichten Verminderungen von Regenentlastungen und (in geringerem Maße) hydraulischen Überlastungen lassen es geraten erscheinen, Kanalnetzbewirtschaftung nicht nur unter dem Gesichtspunkt der höheren Betriebskosten, sondern auch denen der möglich Einsparungen von Investitionen und der höheren Effizienz zu beurteilen. Analog läßt sich zeigen, dass bewirtschaftete Systeme kleiner ausgelegt werden können und dennoch die gleiche Effizienz besitzen wie größer dimensionierte, statisch wirkende Systeme.

## 10 Weiterführende Literatur

- Alex, J.; Risholt, L.P.; Schilling, W. (1999). Integrated modeling system for simulation and optimization of wastewater systems. Proc. 8th Int. Conf. Urban Storm Drainage, Sydney, Australia, 30 August - 3 September, ISBN 0 85825 718 1, pp. 1553-1561.
- ATV (1982). Steuerung von Kanalisationsnetzen. Ber. zur Abwasser- und Abfalltechnik, Nr. 8.
- ATV (1985). Abflußsteuerung in Kanalnetzen. 1. Arbeitsbericht der ATV-Arbeitsgruppe 1.2.4 "Abflußsteuerung in Kanalnetzen", Korr. Abwasser, Bd. 32, H.5, 429-438, Mai.
- ATV (1987). Planungsmethoden bei der Entwicklung von Steuerungssystemen in Mischwassernetzen. 2. Arbeitsbericht der ATV-Arbeitsgruppe 1.2.4 "Abflußsteuerung in Kanalnetzen", Korr. Abwasser, 678-681.
- ATV (1989). Sicherheitsaspekte und Haftungsfragen bei gesteuerten Kanalnetzen. 3. Arbeitsbericht der Arbeitsgruppe 1.2.4 "Abflußsteuerung in Kanalnetzen", Korr. Abwasser, H.1, S. 77-78.
- ATV (1992). Betriebspläne für gesteuerte Kanalnetze - Anleitung zur Aufstellung und Fortschreibung. 4. Arbeitsbericht der ATV-Arbeitsgruppe 1.2.4 "Abflußsteuerung in Kanalnetzen", Korr. Abwasser, Nr. 9, 1391-1395.
- ATV (1995). Untersuchung zum Steuerungspotential von Kanalnetzen. 5. Arbeitsbericht der ATV-Arbeitsgruppe 1.2.4 "Abflußsteuerung in Kanalnetzen", Korrespondenz Abwasser, Bd. 42, Nr.1, 103-108.
- ATV (1995). Wirtschaftlichkeit der Abflußsteuerung. 6. Arbeitsbericht der ATV-Arbeitsgruppe 1.2.4 "Abflußsteuerung in Kanalnetzen", Korrespondenz Abwasser, Bd. 42, Nr.8, 1373-1381.
- ATV (1991). Abflußsteuerung - Hinweise zu Planung, Entwurf und Betrieb. ATV-Arbeitsgruppe 1.2.4, ATV-Schriftenreihe, Nr. 28.
- ATV (1992). Richtlinien für die Bemessung und Gestaltung von Regenentlastungen in Mischwasserkanälen. Arbeitsblatt A 128 der Abwassertechnischen Vereinigung e.V., St. Augustin.
- ATV (1994). Rundschreiben an die Sprecher der Arbeitsgruppen, vom 16.8.1994.
- Erbe, V.; Risholt, L.P.; Schilling, W.; Londong, J. (1999). Aufbau eines dynamischen Modells zur integrierten Optimierung von Kanalnetz und Kläranlage. Schlussbericht zum Projekt 21/99, ATV-Forschungsfonds, Wuppertal.
- IAWPRC (1989). Real Time Control of Urban Drainage Systems. The State-of-the-Art. Scientific and Technical Report No.2, Pergamon Press, London, ISBN: 0-08-040145-7.

- Krejci, V.; Krebs, P.; Schilling, W. (1998). Integrated Urban Drainage Management. in: Marsalek, J.; Maksimovics, C; Zeman, E.; Price, R., "Hydroinformatics Tools for Planning, Design, Operation and Rehabilitation of Sewer Systems", NATO ASI Series 2: Environment, Vol. 44, ISBN 0-7923-5097-9, pp. 475-506, Kluwer, Dordrecht.
- Marsalek, J.; Schilling, W. (1998). Operation of Sewer Systems. in: Marsalek, J.; Maksimovics, C; Zeman, E.; Price, R., "Hydroinformatics Tools for Planning, Design, Operation and Rehabilitation of Sewer Systems", NATO ASI Series 2: Environment, Vol. 44, ISBN 0-7923-5097-9, pp. 393-414, Kluwer, Dordrecht.
- Schilling, W. (1986a). 15 Jahre Kanalnetzsteuerung in den Vereinigten Staaten - Was wurde erreicht?. Korr.Abwasser, Band 33, Nr.2, S.147-151, Feb. 1986a.
- Schilling, W. (1986b). Technische Aspekte der Kanalnetzsteuerung an Beispielen nordamerikanischer Systeme. gwf-wasser/abwasser, Bd.127, H.7, Juli 1986b.
- Schilling, W. (1987). Berechnung optimaler Steuerstrategien für ein Stadtentwässerungssystem. gwf-wasser/abwasser, Bd.128, H. 6, Juni, 313-340.
- Schilling, W. (1990). Operationelle Siedlungsentwässerung. Oldenbourg Verlag, München, ISBN 3-486-26177-0.
- Schilling, W. (1994). Smart Sewer Systems - Improved Performance by Real Time Control. European Water Pollution Control, Vol 4., No.5, 24-31.
- Schilling, W. (1995). Integrierte Siedlungsentwässerung Fallstudie Fehrltorf - Möglichkeiten der Abflußsteuerung in einem kleinen Kanalnetz. Gas-Wasser-Abwasser.
- Schilling, W. (Hrsg., 10 Autoren) (1996). Praktische Aspekte der Abflußsteuerung in Kanalnetzen. 188 S., R. Oldenbourg Verlag, München, Wien, ISBN 3-486-26208-4.
- Schilling, W. (1999). Möglichkeiten zur frachtabhängigen Kanalnetzsteuerung. Seminar: Der Spektrale Absorptionskoeffizient zur Bestimmung der organischen Abwasserbelastung, BEW Duisburg, 9.11.98, in: Wiener Mitteilungen, Band 156, S. 69-84, ISBN 3-85234-047-0, Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft, TU Wien.
- Weyand, M. (1990). Analyse und Klassifizierung lokaler Steuerungseinrichtungen in Kanalisationen, Reihe Gewässerschutz-Wasser-Abwasser, Nr. 117, Inst. für Siedlungswasserwirtschaft, RWTH Aachen.
- Weyand, M.; Schilling, W.; Broll-Bickhardt, J. (2000). Wirtschaftlichkeit und Effektivität der Kanalnetzsteuerung", Korrespondenz Abwasser, Vol. 47, No.2, 223-232.

Autor:

Prof. Dr. Wolfgang Schilling

Department of Hydraulic & Environmental Engineering  
Norwegian University of Science and Technology  
N - 7491 Trondheim

Tel.: ++47 - 735 - 94754

Fax: ++47 - 735 - 91298

E-Mail: [Wolfgang.Schilling@bygg.ntnu.no](mailto:Wolfgang.Schilling@bygg.ntnu.no)

URL: <http://www.ntnu.no/~wos/>

zur Zeit:

URGC - Hydrologie Urbaine  
INSA DE LYON  
34, Avenue des Arts  
69621 Villeurbanne CEDEX  
France

Tel. (direkt): +33 - (0)4 72 43 82 77

Tel. (Sekretariat): +33 - (0)4 72 43 85 56

Fax: +33 - (0)4 72 43 85 21

E-Mail: [Wolfgang.Schilling@bygg.ntnu.no](mailto:Wolfgang.Schilling@bygg.ntnu.no)