

# Abflusssteuerung in der Stadtentwässerung



**Dr.-Ing. Lothar Fuchs**

itwh Hannover

Engelbosteler Damm 22, 30167 Hannover

+49 (0) 511 971930

l.fuchs@itwh.de



## 1. Einleitung

Kanalisationsanlagen im Mischsystem dienen der Wasserableitung zum Vorfluter und der Schmutzstoffableitung zur Kläranlage. Regenentlastungen in die Vorfluter sollten nur selten, Überflutungen im Entwässerungsgebiet erheblich seltener vorkommen. Falls sie nicht vermeidbar sind, sollten sie nur dann auftreten, wenn gleichzeitig die vorhandenen Sammler und Speicher ihre Kapazitätsgrenzen erreicht haben und möglichst nur dort, wo der Schaden am geringsten ist.

Für alle Belastungen kann ein Kanalnetz nicht optimal arbeiten: Trotz Entlastung in den Vorfluter oder Überstau mit Wasserständen über die Rückstauenebene hinaus kann Transport- oder Speicherkapazität ungenutzt sein. In derartigen Fällen sind Schäden vermeidbar oder wenigstens vermindierbar durch eine laufende Beeinflussung der Abwasserableitung, d.h. durch Bewirtschaftung oder Steuerung.

Beispiele dafür sind z.B. die Entleerung eines Beckens über eine Rohrdrossel, die erst bei vollständiger Beckenfüllung den Bemessungsabfluss weiterleitet. Im Teilfüllungsbereich wird somit die Reinigungskapazität der Kläranlage nicht vollständig ausgenutzt, nach Ende des Regenereignisses verlängert sich darüber hinaus die Entleerungszeit des Beckens. Auf der Kläranlage hat die mangelnde Anpassung der physikalischen, biologischen oder chemischen Prozesse an stark schwankende Zulaufbedingungen während Regenereignissen Leistungseinbußen der gesamten Anlage zur Folge.

Aus diesen Gründen werden heute gleichzeitig die Forderungen nach einer verbesserten Überflutungssicherheit, einer erhöhten Speicheraus-

# Abflusssteuerung in der Stadtentwässerung

lastung der Kanalnetze und geringer Ablaufwerte bei hoher Betriebsstabilität und hoher Belastbarkeit der Kläranlage (als Zulaufschwankung oder als Dauer der Mischwasserbeschickung) gestellt.

Um dies zu erreichen sprechen wichtige Argumente für die Abflusssteuerung in Kanalnetzen:

1. Im Mischverfahren betriebene Kanalnetze verursachen Gewässerverunreinigungen, die nicht vernachlässigbar sind.
2. Es ist unwirtschaftlich, Mischwasserüberläufe und hydraulische Überlastungen mit konventionellen Mitteln wie dem Bau zusätzlicher Sammler und Becken zu verringern.
3. Während mehr als 90 % der Zeit werden Mischwassernetze mit weniger als 10 % ihrer Transportkapazität beaufschlagt. Diese Diskrepanz eröffnet einen Handlungsspielraum, der mit Hilfe der Kanalnetzbewirtschaftung nutzbar gemacht werden kann.
4. Die ständige Überwachung des Kanalnetzes erhöht dessen Betriebssicherheit.

## 2. Definitionen

Zielgerichtete Eingriffe in die laufenden Abfluss- und Speichervorgänge in Entwässerungssystemen werden mit Kanalnetzbewirtschaftung oder Abflusssteuerung bezeichnet. Auch die Begriffe Kanalnetzsteuerung, Echtzeitsteuerung, on-line Betrieb oder operationeller Betrieb sind gebräuchlich. Hierbei werden auf der Grundlage von 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. Dabei unterscheidet man zwischen verschiedenen Arten der Abflusssteuerung:

Lokale Steuerung: Zur Steuerung werden nur Messungen am Ort der Steuerungseinrichtung verwendet. Beispielsweise wird in Systemen mit lokaler Steuerung, im Gegensatz zu unbewirtschafteten Systemen, das

# Abflusssteuerung in der Stadtentwässerung

Stauziel in einem Kanalstauraum oder der Bemessungsabfluss aus einem Becken eingehalten.

Verbundsteuerung: Zur Steuerung werden sämtliche Systeminformationen an einem Ort zentral zusammengefasst und unter Berücksichtigung des aktuellen Betriebszustands aller Netzelemente die Aktivierung der Steuerungselemente im gesamten Entwässerungsgebiet koordiniert. Die Vorteile einer Verbundsteuerung kommen dann zum Tragen, wenn

- viele unabhängig aktivierbare Steuerungseinrichtungen vorhanden sind,
- eine ungleichmäßige Beaufschlagung bzw. Überlastungsverhalten vorhanden ist,
- variable die Betriebsbedingungen vorliegen und
- hohe Anforderungen an das Betriebsergebnis gestellt werden.

Die Ermittlung der jeweils günstigen (optimalen) Sollwerte kann dabei auf verschiedene Arten erfolgen.

Manuelle/überwachte Steuerung: Das Betriebspersonal entscheidet über die Steuerungseingriffe aufbauend auf den gesammelten Erfahrung bzw. Betriebsanweisungen oder auf Grund von Vorschlägen die vorab mit Hilfe eines Rechners getestet wurden. Das Betriebspersonal kann aus Erfahrung sofort viele mögliche Steuerungsvarianten ausschließen, reagiert bei entsprechender Erfahrung in außergewöhnlichen Situationen angemessen und kann sich Informationsquellen bedienen, die einem Rechner verschlossen sind ("Blick aus dem Fenster").

Eine manuelle/überwachte Steuerung hat jedoch auch gravierende Nachteile. Die Betriebserfahrung des Personals bildet sich nur langsam, die Weitergabe an Nachfolger ist schwierig und die Entscheidung geschieht unter Zeitdruck. Der Ermessensspielraum des Betriebspersonals ist eine schwer fassbare Größe und daher für die Einführung von Bewirtschaftungsmaßnahmen eher hinderlich, da insbesondere von Aufsichtsbehörden hinsichtlich Fragestellungen bzgl. Sicherheit und

# Abflusssteuerung in der Stadtentwässerung

Haftung "allgemein anerkannten Regeln der Technik" gefordert werden, die sich aber noch nicht ausgebildet haben.

Bei der automatischen Verbundsteuerung werden ausgehend von den aktuellen Messgrößen und Stellungen der Regelorgane die Sollgrößen mit Hilfe einer Regelbasis ermittelt. Hier können auch Vorhersagen der zukünftigen Abflüsse und deren Verteilung im Kanalnetz durch parallele Simulation berücksichtigt werden. Als Alternative kann man das Entscheidungsproblem als Optimierungsproblem formulieren und mit Hilfe Rechenprogrammen lösen lassen.

### 3. Steuerungseinrichtungen

Die Einrichtungen zur Kanalnetzbewirtschaftung stellen aufgrund einer Information über den Abflusszustand (Wasserstand, Durchfluss) ein Stellorgan ein, mit dem Ziel, einen Sollwert zu erreichen.

Die Steuerungsaufgaben (Regelungsaufgaben) 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.

Das "Einstellen eines Oberwasserstandes" tritt dann auf, 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.

# Abflusssteuerung in der Stadtentwässerung

Das "Einstellen eines Unterwasserstands" tritt dann auf, wenn an einzelnen Stellen des Kanalnetzes bestimmte Wasserstände nicht überschritten werden dürfen, oberhalb aber Entlastungsanlagen und/ oder Speicherräume vorhanden sind. Als Steuerungseinrichtungen kommen die oben genannten zur Anwendung.

Das "Einstellen eines Durchflusses" ist dann erforderlich, wenn der Mischwasserabfluss in der Kanalisation einerseits aufgrund der beschränkten Kapazität der Kläranlagen auf ein bestimmtes Maß ( $2Q_s + Q_f$ ) begrenzt werden muß, daß aber andererseits die Kapazität der Abwasseranlagen bei Regenabfluss auch voll ausgenutzt werden soll.

Für eine hinreichend exakte Einstellung eines Solldurchflusses 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 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 zu prüfen.

### 4. Planungsgrundsätze

Probleme der Abwasserableitung und des Gewässerschutzes können nur dann sinnvoll analysiert werden, wenn ausreichend genaue Daten über die Funktionsweise und das Betriebsverhalten des Entwässerungssystems vorliegen. Das gilt umso mehr für die Planung von Abflusssteuerungsmaßnahmen. Messungen im Kanalnetz, an Überläufen und an Kläranlagen und Betriebsprotokolle geben darüber erste Aufschlüsse.

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. 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, das 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 lässt 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 die örtlich differenzierten potentiellen Speichervolumina im Kanalnetz bestimmt, die 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. Wichtige Beurteilungskriterien sind:

### Abflusssteuerung in der Stadtentwässerung

- Häufigkeit hydraulischer Überlastungen und gleichzeitige Verfügbarkeit von Transport- und Speicherkapazität an anderen Stellen
- Häufigkeit von Entlastungen auftreten und gleichzeitige Verfügbarkeit von Speicher- bzw. Behandlungskapazität an anderen Stellen.

Falls die Kapazitätsausnutzung nicht befriedigend ist, ist eine Steuerstrategie zur Verbundsteuerung sinnvoll. Bei dieser Strategie werden die Sollwerte aller lokalen Steuerungseinrichtungen in Abhängigkeit des Betriebszustandes im Gesamtnetz eingestellt. Wie bei der Überprüfung des Ist-Zustandes und des lokal gesteuerten Systems werden die Auswirkungen vorgeschlagener Strategien rechnerisch simuliert, beurteilt und die Erfolg versprechenden Lösungen gefunden. 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.

# Abflusssteuerung in der Stadtentwässerung

## 5. Beispiel Wien

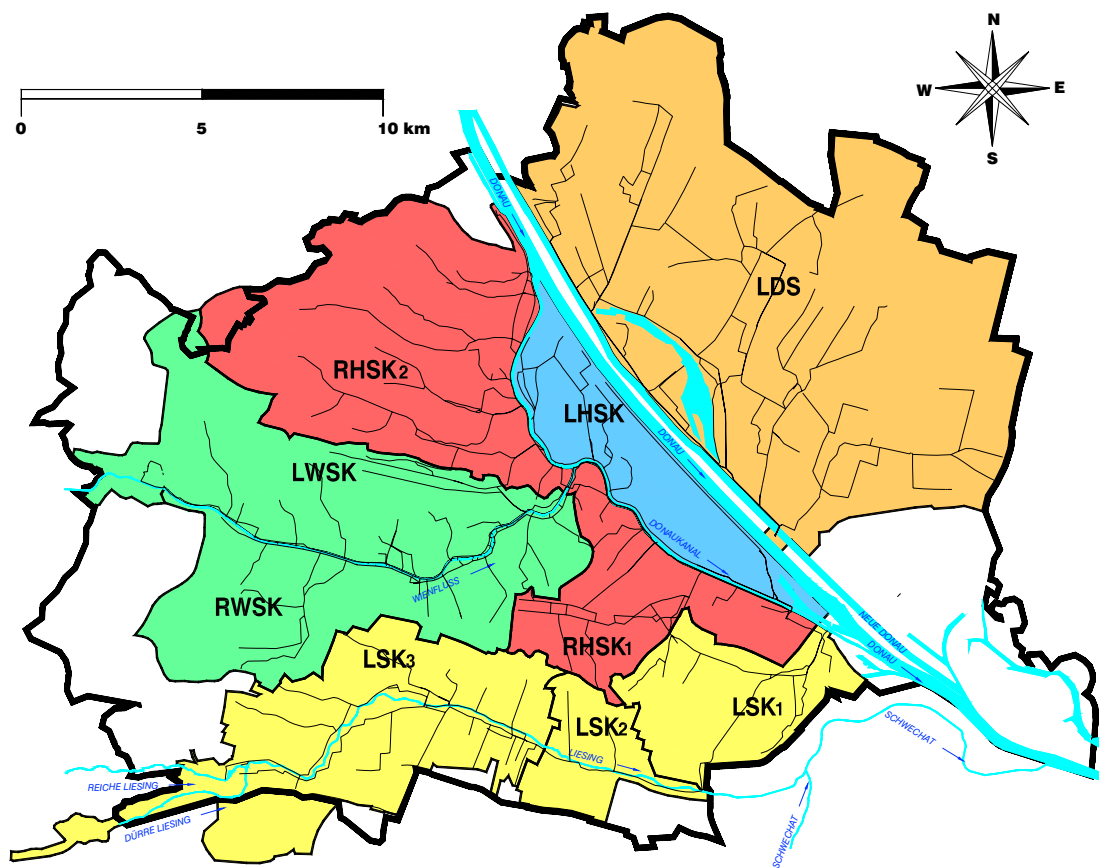
Das historisch gewachsene Kanalnetz der Stadt Wien wurde seit einigen Jahren erweitert, um die Anforderungen insbesondere hinsichtlich der Mischwasserentlastungen zu erfüllen. Dieser Ausbau ist noch nicht abgeschlossen, sondern wird noch mehrere Jahre in Anspruch nehmen. Dieses Konzept umfasst im Wesentlichen den Bau großer Stauraumkanäle entlang der Donau, dem Donaukanal, dem Wienfluss und der Liesing, um im Regenwetterfall die Entlastungen aus den Mischwasserüberläufen aufzunehmen. Der Betrieb der Stauraumkanäle erfordert eine zentrale Abflusssteuerung (Sewer Management System – SeMaSys) um die folgenden Hauptziele zu erreichen:

- *Minimierung* der Mischwasserüberläufe in die Donau, den Donaukanal, den Wienfluss und die Liesing.
- *Vergleichmäßigung* der Zulauffrachten zur Hauptkläranlage.
- *Verbesserungen* des Kanalnetzbetriebs durch Überwachung der Abflussvorgänge und Reduzierung der Ablagerungen durch automatische Spülung.

Das Kanalnetz der Stadt Wien hat eine gesamte Länge von ca. 2.200 km bei einer gesamten Fläche von ca. 260 km<sup>2</sup> und einem mittleren Versiegelungsgrad von knapp 50%. Die angeschlossene Einwohnerzahl liegt bei ca. 1,8 Mio. In der Abbildung 1 sind die 5 Haupteinzugsgebiete (LDS – Linker Donausammelkanal, LSK – Liesing Sammelkanal, LHSK – Linker Hauptsammelkanal, RHSK – Rechter Hauptsammelkanal und WSK - Wienfluss Sammelkanal) mit ihren Hauptsammlern dargestellt.



## Abflusssteuerung in der Stadtentwässerung



**Abbildung 1:** Haupteinzugsgebiete mit ihren Hauptsammlern

Das durch eine Abflusssteuerung maximal aktivierbare Speichervolumen in den verschiedenen Haupteinzugsgebieten ist in der Tabelle 1 zusammengestellt.

## 1. Aachener Softwaretag in der Wasserwirtschaft

### Abflusssteuerung in der Stadtentwässerung

Einzugs- gebiet	Speicher- volumen (m <sup>3</sup> )	Versiegelte Fläche (ha)	Spezifisches Speichervolumen (m <sup>3</sup> /ha)	Anzahl Steuerungspunkte		
				Phase 1	2	3
LDS	126,000	1,590	79.2	4	4	4
RHSK	300,000	2,820	106.4		3	7
LHSK	11,000	650	16.9		1	1
WSK	143,000	2,520	56.7			9
LSK	48,000	1,140	42.1		11	22
Total	628,000	8,720	72,0	4	19	43

**Tabelle 1:** Maximal aktivierbarer Speicherraum in den Haupteinzugsgebieten

Zur Aktivierung des Speichervolumens werden folgende Steuerelemente herangezogen:

- Schieber und verfahrbare Wehre
- Pumpen

unter Berücksichtigung von

- Wasserständen und/oder Abflüssen im Kanalnetz
- Entlastungsmengen und -scheitelabflüssen in die Gewässer
- Einstau- und Überstauverhältnissen im Kanalnetz

Das Abflusssteuerungssystem für das Kanalnetz der Stadt Wien besteht aus folgenden Hauptkomponenten:

# Abflusssteuerung in der Stadtentwässerung

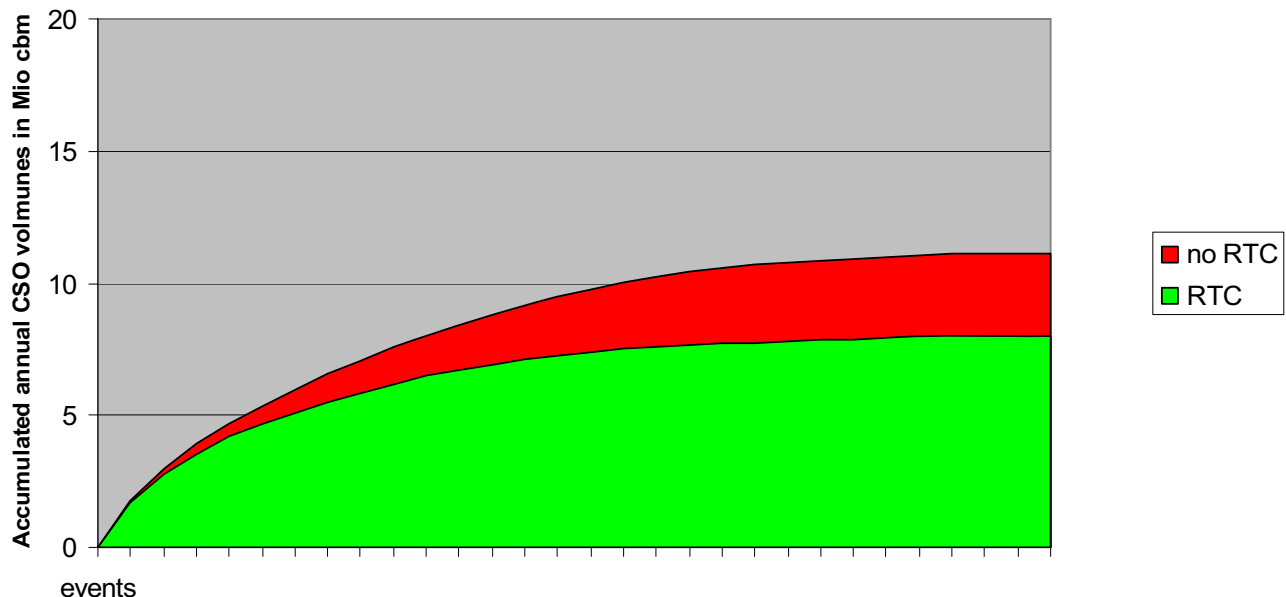
- Lokalen Steuerungseinrichtungen zur Einstellung der gewünschten Durchflüsse und/oder Wasserstände
- Messsystem zur Erfassung der Wasserstände, Durchflüsse und Punktniederschläge sowie Radarniederschlagsdaten die von Austro Control bezogen werden
- Leitsystem zur Sammlung und Speicherung der Messwerte, Übertragung der Sollwerte, Darstellung von Messwerten und Systemzuständen, etc.
- Zentrales Steuerungssystem zur Ermittlung der Sollwerte basierend gemessenen und prognostizierten Messwerten einschließlich online Niederschlags- und Abflussvorhersage

Das zentrale Steuerungssystem erhält als Eingangsdaten neben den aktuellen Ist-Werten der Steuerorgane die verschiedenen Punktniederschläge (25 Regenschreiber), Wasserstände (20 Messgeräte) und Abflüsse (40 Messgeräte). Damit wird das Simulationsmodell kalibriert. Basierend auf den Radar-Niederschlagsdaten erfolgt dann zuerst eine Vorhersage der zeitlichen und örtlichen Niederschlagsverteilung. Diese Niederschlagsverteilung wird dann als Eingangswert für das Simulationsmodell verwendet, das dann die zu erwartenden Abflüsse im Kanalnetz berechnet. Diese gemessenen und prognostizierten Abflüsse und Wasserstände dienen als Eingangsgröße für die Auswertung der Regelbasis, die dann die neuen Sollwerte für die Steuerorgane ermittelt. Diese Steuerentscheidungen werden alle 5 min. neu ermittelt.

# 1. Aachener Softwaretag in der Wasserwirtschaft

## Abflusssteuerung in der Stadtentwässerung

Die Implementierung der Abflusssteuerung im Wiener Kanalnetz vollzieht sich in 3 Phasen. Die erste Phase umfasst das Einzugsgebiet links der Donau und wurde 2005 in Betrieb genommen. Die dafür berechneten Ergebnisse für diesen Teil des Kanalnetzes sind in der Abb. 2 dargestellt.



**Abbildung 2:** Akkumuliertes Entlastungsvolumen

Für ein Jahr mit mittleren Niederschlagsverhältnissen beträgt demnach die Reduzierung des Entlastungsvolumens für ein mittleres Jahr für den Bereich LDS ca. 3 Mio. m<sup>3</sup> bzw. mehr als 30%.

## 6. Zusammenfassung

Die wesentlichen technischen Probleme der Kanalnetzbewirtschaftung sind gelöst. Der Markt bietet bewährte Messgeräte, Steuerungseinrichtungen, Datenübertragungs-, Regler- und Rechnersysteme, die sich für den Einsatz in der Stadtentwässerung eignen. Mit den heute existierenden Simulationsmodellen können die Auswirkungen von Bewirtschaftungssystemen abgeschätzt werden, bevor diese implementiert werden. Die für Bewirtschaftungssysteme notwendige Ausrüstung ist eine andere, als die traditionell in der Stadtentwässerung übliche. Sie erfordert in jedem Fall mehr und teureren Wartungsaufwand sowie anders ausgebildetes Personal. Bei einem Kostenvergleich mit konventionellen (d.h. ungesteuerten) Systemen muß die umfassende Information und Kontrolle des bewirtschafteten Systems berücksichtigt werden. 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.