

Manfred Schütze

Integrale Abflusssteuerung in Mischsystemen

Abschätzung des Steuerungspotenzials

Juli 2017

SAMUWA Publikation

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

NaWaM
Nachhaltiges Wassermanagement



INIS

Integrale Abflusssteuerung in Mischsystemen

Abschätzung des Steuerungspotenzials

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: 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:



Inhaltsverzeichnis

1	Motivation dieses Leitfadens.....	4
2	Übersicht: Abschätzung des Steuerungspotenzials nach DWA-M180	4
3	Vorstudie	5
3.1	Simulation des Ist-Zustandes des Systems	6
3.2	Reicht eine statische Drosseloptimierung aus?	6
3.3	Welche Elemente sollen gesteuert werden?.....	7
3.4	Entwicklung eines Steuerungskonzeptes	7
4	Fazit.....	8
5	Nachbemerkung	8
6	Verwendete und empfohlene Literatur	9
7	Anhang	10

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1	Beispiel einer Analyse der Auslastung von Speicherbauwerken im Ist-Zustand.....	6
Abb. 2	Zusammenfassung der gebräuchlichen Steuerungskonzepte (adaptiert nach DWA, 2005 und Schütze <i>et al.</i> , 2001)	8

1 Motivation dieses Leitfadens

Die Abflusssteuerung in Kanalnetzen (oft auch als „Kanalnetzsteuerung“ oder im Englischen als „Real time control (RTC)“ bezeichnet) kann in vielen Kanalnetzen dazu beitragen, das vorhandene System besser zu nutzen und beispielsweise die Überläufe von Mischwasser zu verringern (vgl. z. B. Schütze *et al.*, 2004, Beeneken *et al.*, 2013 u.v.a.m.). Ob und in welchem Maße dies möglich ist, ist jedoch sehr netzspezifisch. Obwohl bereits einige Leitfäden zur Kanalnetzsteuerung im In- und Ausland erarbeitet worden sind (vgl. z. B. DWA, 2005; Campisano and Sanfilippo, 2011; Kellagher and Osborne, 2013), fehlt eine Anleitung, wie denn nun eigentlich das Potenzial für eine Steuerung ermittelt wird. Diese Lücke möchte dieser Leitfaden schließen, wobei - dort, wo möglich - auf vorhandene bzw. in Entstehung befindliche Übersichten verwiesen wird.

Beispielsweise erstellt die DWA-Arbeitsgruppe ES 2.4 („Integrale Abflusssteuerung“) einen Themenband, um die im Merkblatt DWA-M180 erläuterten Planungsvorgänge für eine Abflusssteuerung anhand eines (hypothetischen) Beispiels zu illustrieren. Die Veröffentlichung des Themenbandes der DWA-Arbeitsgruppe ist für Ende 2017 vorgesehen. Ein Leitfaden zur Einführung einer Abflusssteuerung ist als SAMUWA-Leitfaden (Haas *et al.*, 2017) erschienen. Da in den beiden genannten Leitfäden jedoch auf die Ermittlung des Steuerungspotenzials nur knapp eingegangen wird, soll der hier vorliegende Leitfaden hierzu ergänzende Informationen liefern.

2 Übersicht: Abschätzung des Steuerungspotenzials nach DWA-M180

Es liegt auf der Hand, dass zur Abschätzung des Steuerungspotenzials die örtlichen Gegebenheiten (Systemstruktur, Charakteristika der Vorflutgewässer, Zielkriterien, Genehmigungsrahmen) zu beachten sind. Insgesamt hat sich ein mehrstufiges Vorgehen bewährt, welches im Merkblatt M180 beschrieben ist und hier nachfolgend kurz zusammengefasst wird.

I. Abschätzung der grundsätzlichen Steuerungswürdigkeit

Hierzu gehört das Zusammentragen von Betriebserfahrungen (viele wichtige Erkenntnisse zum Kanalsystem und seinen Schwachstellen ergeben sich aus Gesprächen mit den Mitarbeitern, die im Kanalbetrieb Tag für Tag das System beobachten). Zur weiteren Orientierung über das Steuerungspotenzial ist im M180 eine Bewertungstabelle enthalten (vgl. Tabelle 1 im Anhang; in interaktiver Form ist diese Tabelle auch auf Webseite der DWA zu finden: (http://de.dwa.de/Planungshilfe_Abfluss-Steuerung.html). Diese Tabelle erlaubt es, anhand eines Fragenkataloges in wenigen Schritten zu einer ersten, wenn auch recht groben, Abschätzung zu gelangen, ob für das betrachtete Kanalsystem eine Steuerung Potenzial besitzt.

II. Grundlagenerhebung und Vorstudie

Resultiert Schritt I in der Feststellung, dass das System vermutlich steuerungswürdig oder für eine Steuerung prädestiniert ist, so werden im zweiten Schritt die für die weiteren Untersuchungen benötigten Grundlagendaten zusammengestellt (verfügbare Messdaten, Simulationsmodelle usw.). In einer sogenannten Vorstudie wird ein (ggf. vereinfachtes) Simulationsmodell erstellt, das es zum einen auf sehr einfache Weise erlaubt, anhand des Zentralbeckenansatzes (vgl. Einfalt und Stölting, 2002) eine obere Abschätzung (theoretisches Minimum der Überlaufmenge) für das Steuerungspotenzial zu gewinnen. Des Weiteren kann dieses Vorstudienmodell dazu dienen, verschiedene potenzielle Steuerungstypen (lokale Steuerung, Verbundsteuerung, Einbeziehung von Niederschlags- und von Abflussprädiktionen usw.) in übersichtlicher Weise zu simulieren. In diesem Schritt kann auch abgeschätzt werden, wie viele (und welche) Elemente in die Steuerung des Kanalnetzes einbezogen werden sollen. Ebenso gilt es in diesem Schritt, alternative Varianten (Leistungssteigerungen des Entwässerungssystems ohne Umsetzung einer Steuerung, beispielsweise durch Abkopplungsmaßnahmen) zu betrachten und in den Variantenvergleich einzubeziehen.

III. Detailstudie

Nur dann, wenn Schritt II erkennen lässt, dass für das vorgegebene Kanalsystem eine Steuerung umgesetzt werden sollte, wird in Schritt III eine Detailstudie durchgeführt. Hierzu gehört unter anderem auch die detaillierte Entwicklung eines Steuerungsalgorithmus anhand eines detaillierten Simulationsmodells. Auch die Betrachtung von Störungen und Ausfallszenarien sowie eine Risikoanalyse gehören zu diesem Schritt.

3 Vorstudie

Hat also der erste Schritt („I. Abschätzung der grundsätzlichen Steuerungswürdigkeit“) zu der Schlussfolgerung geführt, dass möglicherweise Steuerungspotenzial vorliegt, so ist dieses nun im zweiten Schritt („Vorstudie“) näher zu untersuchen und zu quantifizieren. In diesem Schritt ist es hilfreich, ein (ggf. vereinfachtes) Kanalnetzmodell des zu untersuchenden Kanalnetzes vorliegen zu haben. Oft liegt dieses (z. B. aus einer vorangegangenen Schmutzfrachtberechnung) bereits vor oder kann – näherungsweise – mit vertretbarem Aufwand erstellt werden. Für diesen Schritt ist ein vereinfachtes Kanalnetzmodell (beispielsweise unter Verwendung hydrologischer Ansätze, vgl. die Programme KOSIM, SMUSI, MOMENT) ausreichend. Es ist darauf zu achten, dass der aktuelle Netzzustand dargestellt ist (sind auch in letzter Zeit neu entstandene Siedlungsgebiete bereits im Modell enthalten?).

Dieses vereinfachte Modell kann nun für eine Vielzahl von einfach durchzuführenden Untersuchungen verwendet werden.

3.1 Simulation des Ist-Zustandes des Systems

Zu allererst sollte eine Simulation des Ist-Zustandes des Systems – möglichst anhand von Langzeitregenreihen (ggf. mit ungleichmäßiger Überregnung) – durchgeführt werden. Die Ergebnisse dieses Simulationslaufes dienen dann auch als Referenzfall für die nachstehend beschriebenen Untersuchungen. Die Simulation des Ist-Zustandes erlaubt auch, Aussagen über den Auslastungsgrad der verschiedenen Netzelemente zu treffen. Eine Grafik, die prozentuale Volumen- und Flächenverteilung als Anteile der Gesamtwerte zeigt und diese dem Anteil an Überlaufmengen und -frachten gegenüberstellt, kann sich hierbei als nützlich erweisen (vgl. Abbildung 1).

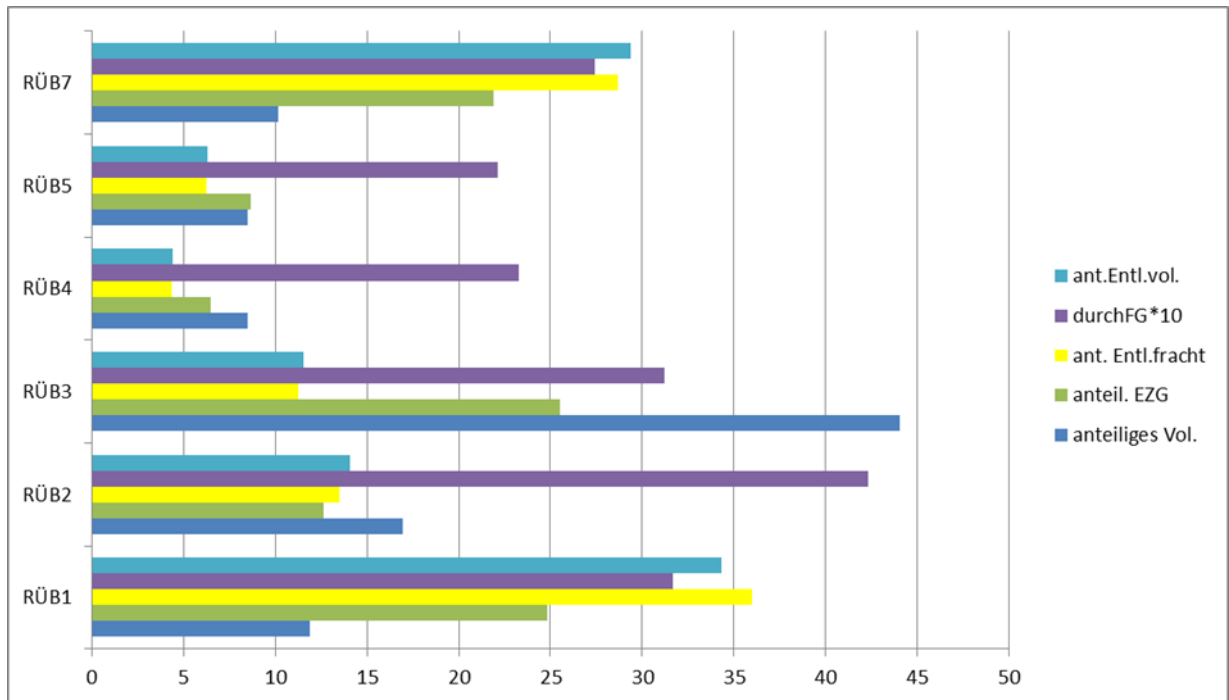


Abb. 1 Beispiel einer Analyse der Auslastung von Speicherbauwerken im Ist-Zustand

N.B.: „FG“: Füllgrad; „EZG“: Einzugsgebietsfläche

Ebenso vermag ein Vergleich der durchschnittlichen Füllgrade der Speicherbecken im System Anhaltspunkte darüber zu geben, ob die Becken gleichmäßig ausgelastet werden.

3.2 Reicht eine statische Drosseloptimierung aus?

In einem zweiten Schritt sollte ggf. untersucht werden, ob sich das System durch eine andere Einstellung der konstanten Drosselabflüsse verbessern lässt. Hierzu ist ggf. auszuwerten, welche DrosselEinstellungen besonders starken Einfluss haben auf das Überlaufvolumen des Systems. Ggf. können hierzu Verfahren der Systemanalyse (Simulationsläufe gefolgt von anschließenden Sensitivitätsanalysen; ggf. Anwendung mathematischer Optimierungsverfahren zur Ermittlung optimierter statischer DrosselEinstellungen) Anwendung finden. Näheres hierzu findet sich bei Schütze *et al.* (2016). Bei der „Validierung“ der gefundenen statischen DrosselEinstellungen (Testlauf mit den gefundenen DrosselEinstellungen) sollte darauf geachtet werden, dass hierfür eine andere Regenzeitreihe verwendet wird, wie sie zur Ermittlung der DrosselEinstellungen verwendet wurde (analog dem Vorgehen bei Kalibrierung und Validierung von Modellen).

**Bei der Diskussion der Option „Optimierung statischer Drosseleinstellungen“ ist jedoch zu

bedenken, dass sich ein System mit statisch optimierten, aber statischen Drosseleinstellungen nicht flexibel auf sich ändernde Randbedingungen oder Niederschlagsereignisse einstellen kann. Insofern bietet ein dynamisch gesteuertes Kanalnetz eine erhöhte Flexibilität gegenüber jeder statischen Lösung.

3.3 Welche Elemente sollen gesteuert werden?

Für eine eingehendere Untersuchung des Steuerungspotenzials (sowie ggf. für die Erstellung einer Steuerung) ist auch zu ermitteln, welche Elemente des Kanalnetzes gesteuert werden sollen. In vielen Fällen kann mit der Steuerung bereits weniger – aber sorgfältig ausgewählter – Elemente eine erhebliche Verbesserung der Leistungsfähigkeit des Kanalnetzes erreicht werden.

In einigen Fällen ergibt sich bereits aus der Anlage der Becken (z. B. bereits mit Mess- und Regelungstechnik ausgestattet? Zugänglichkeit des Beckens für ggf. erforderliche Einbauten, ...), welche für eine Steuerung in Frage kommen. In manchen Fällen mag es jedoch in der Tat zudem hilfreich sein, bei der Analyse der Steuerung verschiedene Szenarien zu betrachten (z. B. mit wenigen oder mit vielen zu steuernden Elementen; mit/ohne Niederschlags- bzw. Abflussvorhersage; usw.).

Auch für diesen Schritt kann der Zentralbeckenansatz, der von Einfalt und Stölting (2001) für die Grobabschätzung des Steuerungspotenzials (bzgl. Reduktion des Gesamtüberlaufvolumens) adaptiert worden ist, sehr hilfreich sein. Der Zentralbeckenansatz ermittelt das theoretische Optimum (unter vereinfachenden Annahmen) der Gesamtüberlaufmenge. Er basiert auf vereinfachenden Annahmen (keine Berücksichtigung von Fließzeiten oder hydraulischen Beschränkungen in den betrachteten Systemteilen); aber der Ansatz lässt sich sehr aufwandsarm anwenden. Die Vorgehensweise besteht darin, dass

- alle als steuerbar angenommenen Drosseln als unbegrenzt angenommen werden (sämtliches Wasser kann weitefließen)
- die Volumina der zugehörigen Becken im „Zentralbecken“ unten aggregiert werden.

Wie Einfalt und Stölting gezeigt haben, kann -unter den getroffenen Annahmen - keine Steuerung eine geringere Gesamtüberlaufmenge erreichen als sich bei Simulation dieses Zentralbeckenmodells ergibt.

Durch wiederholte Anwendung des Zentralbeckenansatzes für verschiedene Auswahlen potenziell zu steuernder Elemente kann leicht ermittelt werden, für welche Auswahlen weitergehende Analysen vielversprechend sind. Ein Beispiel hierzu wird im Themenband der DWA ausgeführt.

3.4 Entwicklung eines Steuerungskonzeptes

Ist nun festgelegt, welche Steuerungselemente in die Steuerung mit einbezogen werden sollen (bzw. sind hierfür verschiedene Optionen ausgewählt worden, welche nun nachfolgend eingehender untersucht werden sollen), sind Steuerungskonzepte zu erarbeiten und im Simulationsmodell umzusetzen. Hierfür ist es notwendig, dass das verwendete Simulationsprogramm die Definition und die Simulation von Steuerungsalgorithmen erlaubt.

Verschiedene Ansätze:

■ Expliziter Entwurf von Regeln

- Wenn-Dann-Regeln
- Fuzzy-Regeln
- Trial-and-Error, Erfahrungen*
- Nachvollziehbar? / Komplex?*

■ On-line Optimierung

- Integration von Modell und Optimierungsalgorithmus
- Systemvereinfachung? / Rechenzeit?*
- Zielfunktion?*

■ Konzept verallgemeinerter Regler

- Dezentrale, kommunizierende Regler
- Leicht konfigurierbar*

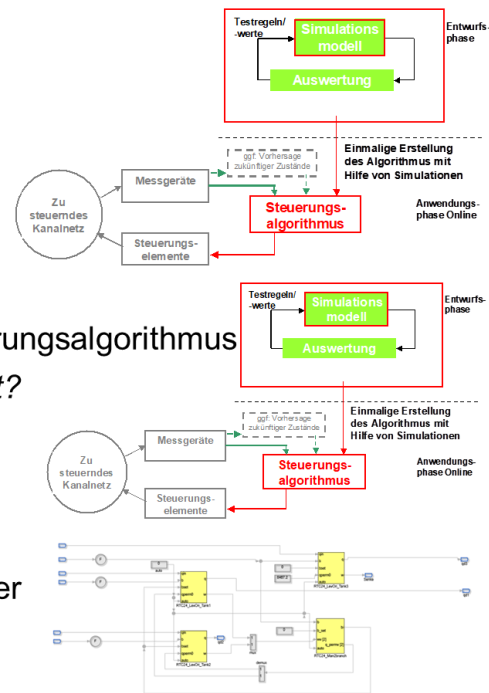


Abb. 2 Zusammenfassung der gebräuchlichen Steuerungskonzepte (adaptiert nach DWA, 2005 und Schütze *et al.*, 2001)

Für jedes dieser drei Konzepte finden sich Umsetzungen in der Praxis; die On-line Optimierung wird auch als „Model-based (Predictive) Control“ bezeichnet; das Konzept verallgemeinerter Regler ist zudem in der Literatur umfassend beschrieben (vgl. Alex *et al.*, 2008, Pabst *et al.*, 2010).

Ein Beispiel der simulativen Analyse verschiedener Komplexität einer Steuerung (Verwendung von drei Becken oder von acht Becken?) findet sich bei Pabst *et al.* (2010).

4 Fazit

Mit den in diesem Dokument gegebenen Hinweisen sollte der Schritt der Abschätzung des Steuerungspotenzials unterstützt und systematisiert werden. Eine sorgfältige Abschätzung des Potenzials erlaubt es, Steuerung dort gezielt um- und einzusetzen, wo sie einen großen Nutzen verspricht, um die vorhandenen (meist knappen) finanziellen Ressourcen bestmöglich einzusetzen.

5 Nachbemerkung

Den Nutzern des hydrologischen und hydrodynamischen Simulationssystems Simba# (vgl. Schütze *et al.*, 2017) stehen auf Anfrage Routinen zur Verfügung, die einige der o. g. Schritte unterstützen.

6 Verwendete und empfohlene Literatur

- Alex, J., Schütze, M., Ogurek, M., Jumar, U. (2008): Systematic Design of Distributed Controllers for Sewer Networks; IFAC World Congress, Seoul 2008
- Beeneken T., Erbe V., Messmer A., Reder C., Rohlfing R., Scheer M., Schütze M., Schumacher B., Weilandt M., Weyand M. (2013). Real time control (RTC) of urban drainage systems - A discussion of the additional efforts compared to conventionally operated systems. *Urban Water Journal*. 5, 10, 2013, 293-299.
- Campisano A., Sanfilippo U. (2011). *Controllo in tempo reale dei sistemi di fognatura*. Centro Studi Idraulica Urbana. Milano.
- DWA (2005): Handlungsrahmen zur Planung von Abflusssteuerung in Kanalnetzen, Merkblatt DWA-M180
- DWA (2016): Technische Maßnahmen zur Behandlung von erhöhten Mischwasserabflüssen in der Kläranlage. Themenband T3/2016, DWA, August 2016.
- Einfalt T., Stölting B. (2002). Real-Time Control for two communities - technical and administrative aspects. 9th Int. Conference on Urban Drainage; Portland; September 2002.
- Erbe, V., Beeneken, T., Gatke, D., Meßmer, A., Scheer, M., Schütze, M., Schumacher, B., Weyand, M. (2009): Abflusssteuerung – Diskussion des Mehraufwandes gegenüber ungesteuerten Systemen; *Korrespondenz Abwasser*, 56, 2, 2009, 131 – 138
- Haas, U., Schütze, M. (2015): Konzepte der integralen Abflusssteuerung in Reutlingen und deren programmtechnische Umsetzung; DWA-GMA Gemeinschaftstagung „Mess- und Regelungstechnik in abwassertechnischen Anlagen“, Kassel, 09./10.06.2015
- Haas, U., Ruf, O., Dittmer, U., Schütze, M. (2017): Integrale Abflusssteuerung in Mischsystemen – Aspekte zu deren Einführung. SAMUWA Publikation, <http://www.samuwa.de/publikationen/>
- Kellagher R., Osborne M. (2013). Factors limiting the use of active system control (ASC) on sewerage systems in the UK. Project Report. UK Water Industry Research, London.
- Pabst, M., Beier, M., Rosenwinkel, K.-H., Schütze, M., Alex, J., Peikert, D., Niclas, C. (2010): Adaption und Entwicklung einer vorkonfektionierten Steuerungsbox zur Abflusssteuerung von Kanalnetzen; *Korrespondenz Abwasser*, 57, 6, 551-557
- Schütze M., Campisano A., Colas H., Schilling W., Vanrolleghem P. (2004). Real time control of urban wastewater systems - where do we stand today? *Journal of Hydrology*, 299, 335-348.
- Schütze, M., Györfi, J., Pabst, M., Haas, U. (2015): The Astlingen drainage system – A Benchmark for real time control; 10th International Urban Drainage Modelling Conference (UDM2015); 20. -23.09.2015
- Schütze, M., Pabst, M., Haas, U. (2016): Urban Drainage Systems – Static throttle flows or real time control? A systematic approach to answer this, Novatech2016, 9th International Conference on Planning and Technologies for Sustainable Urban Water Management, Lyon, 27.06.-01.07.2016
- Schütze, M., Lange, M., Pabst, M., Haas, U. (2017a): Real-time control of Astlingen – considering sewer system and WWTP, 14th Int. Conf. on Urban Drainage, Prague, 10. – 15.09.2017
- Schütze, M., Lange, M., Pabst, M., Haas, U. (2017b): Astlingen – ein Benchmark-Beispiel zur Kanalnetzsteuerung. DWA-GMA Gemeinschaftstagung „Mess- und Regelungstechnik in abwassertechnischen Anlagen“, Niedernhausen/Ts., 30./31.05.2017
- Schütze, M., Ogurek, M., Alex, J. (2017c): Integrated modelling using a modern simulation framework; 14th Int. Conf. on Urban Drainage, Prague, 10. – 15.09.2017

7 Anhang

Tabelle 1: Bewertungstabelle nach DWA-M180 (DWA, 2005)

Kenndaten bzw. Kriterium		Bewertungspunkte		
A.	Entwässerungsgebiet			
A.1	Gebietsausdehnung (Fließweg im Hauptsammler)	lang > 5 km (2)	mittel (1)	kurz < 1 km (0)
A.2	Unterschiede zwischen aktueller und geplanter Gebietsentwicklung	groß (2)	klein (1)	keine (0)
B.	Abwasseranfall			
B.1	Gebiete mit spezieller Verschmutzung des Oberflächenabflusses	mehrere (2)	1-2 (1)	keine (0)
B.2	Örtlich und zeitlich differenzierter Schmutzwasseranfall (Starkverschmutzer, Übergabe aus Trennsystemen)	hoch (2)	mittel (1)	keiner (0)
C.	Kanalnetz			
C.1	Anzahl vorhandener Steuerungseinrichtungen (z. B. Pumpen, Schieber, Wehre)	mehrere (4)	1-2 (2)	keine (0)
C.2	Sammlergefälle	flach < 0,2 % (4)	mittel (2)	steil > 0,5 % (0)
C.3	Leistungsfähige Maschen im Sammlernetz	mehrere (4)	1-2 (2)	keine (0)
C.4	Anzahl vorhandener Rückhalteanlagen (Becken und Stauraumkanäle (≥ 50 m³))	> 4 (4)	1-4 (2)	0 (0)
C.5	Anzahl vorhandener Entlastungsanlagen	> 6 (4)	2-6 (2)	< 2 (0)
C.6	Absolutes Speichervolumen (Becken und/oder Kanalstauräume)	> 5000 m³ (4)	2000 – 5000 m³ (2)	< 2000 m³ (0)
C.7	Spezifisches Speichervolumen (= absolutes Speichervolumen bezogen auf undurchlässige Fläche gemäß ATV-A 128)	> 40 m³/ha (4)	20 – 40 m³/ha (2)	< 20 m³/ha (0)
C.8	Anzahl Zulaufsammler zur Kläranlage	> 2 (3)	2 (1)	1 (0)
D.	Betriebliches Netzverhalten			
D.1	Lokal begrenzte Überschwemmungsbereiche	mehrere (2)	1-2 (1)	keine (0)
D.2	Anzahl von Becken mit ungleichmäßiger Ausnutzung	> 1 (4)	1 (2)	keines (0)
D.3	Ungleichmäßiges Entlastungsverhalten	stark (4)	mittel (2)	gering (0)
E.	Gewässer			
E.1	Örtliche Unterschiede in der hydraulischen Leistungsfähigkeit	stark (4)	mittel (2)	keine (0)
E.2	Örtliche Unterschiede in der stofflichen Belastbarkeit (z. B. Baden, Fischzucht, Schutzgebiete)	stark (4)	mittel (2)	keine (0)
E.3	Empfindlichkeit des Gewässers	sehr empfindlich (2)		wenig empfindlich (0)
F.	Kläranlage			
F.1	Möglicher Mischwasserzufluss (*)	$> 1,0 f_{s,QM} \cdot Q_{s,aM} + Q_{FaM}$ (3)	$= f_{s,QM} \cdot Q_{s,aM} + Q_{FaM}$ (1)	$< f_{s,QM} \cdot Q_{s,aM} + Q_{FaM}$ (0)
F.2	Kläranlage reagiert empfindlich auf hydraulische und/oder Schmutzfracht-Stöße	sehr empfindlich (2)		wenig empfindlich (0)
(*) Die Ermittlung des möglichen Mischwasserabflusses und der dazugehörige Faktor $f_{s,QM}$ beziehen sich auf das Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 198. Bewertungspunkte: 0 - 24 vermutlich nicht steuerungswürdig 25 - 35 vermutlich steuerungswürdig > 35 für Steuerung prädestiniert				