

Massnahmen bei der Regenwasserentsorgung*

Solutions techniques pour l'assainissement pluvial

Les bases et une revue de littérature pour la planification et la mise en place de solutions techniques liées à l'assainissement par temps de pluie sont présentées dans cet article. Les solutions techniques au niveau des déversoirs d'orage sont particulièrement prises en compte. Les futures solutions techniques sont basées sur de nouvelles recommandations de protection de l'eau [1] qui peuvent être habituellement respectées, à un coût optimal, en combinant différentes solutions techniques. Un éventail de possibilités techniques, accompagnées de leurs coûts et d'une évaluation de leurs efficacités, est présenté dans cet article. Ce document constitue ainsi une aide pour le choix de solutions techniques à l'avenir.

Technical Solutions for Wet-Weather Discharges

The bases and literature review for conceptual planning and realization of technical solutions related with wet-weather discharges are presented in this paper. Special attention applies for combined sewer overflows. The future technical measures are based on redefined water protection requirements [1], which can be achieved, at optimal costs, usually only with a combination of different technical measures. A substantially large spectrum of technical possibilities, with costs and efficiency evaluation, are presented in this paper. This document contributes as a help for the choice of technical solutions in the future.

* Dieser Artikel ist der zehnte einer Serie des EAWAG- und BUWAL-Projektes «STORM».

Vladimir Krejci



Im folgenden Artikel werden Grundlagen und wichtige Literaturhinweise für die konzeptuelle Planung und Realisierung der Massnahmen im Zusammenhang mit Abwassereinleitungen aus Kanalisationen bei Regenwetter zusammengestellt. Hauptaugenmerk gilt den Regenwasserentlastungen aus Mischkanalisationen. Die künftigen Massnahmen basieren auf neu definierten Gewässerschutzanforderungen [1], die in der Regel nur mit einer Kombination von verschiedenen Massnahmen kostenoptimal erreicht werden können. Bei der Wahl der Massnahmen werden künftig ein wesentlich grösseres Spektrum der Möglichkeiten und die Kosten berücksichtigt.

1. Einleitung

Die Gewässerschutzverordnung [2] und die BUWAL-Wegleitung [3] stellen klare Prioritäten für Neu- und Umbauten, bei denen das Regenwasser 1.) direkt am Ort des Anfalls versickert, 2.) getrennt abgeleitet und in ein Gewässer eingeleitet und erst 3.) in die Mischwasserkanalisation eingeleitet werden soll. Heute und auch in näherer Zukunft wird jedoch in der Siedlungsentwässerung ein substanzieller Anteil der Regenabflüsse über Mischkanäle entsorgt werden. Die folgende Diskussion über Massnahmen im Bereich Regenwasserentsorgung konzentriert sich deshalb vorwiegend auf Regenwasserüberläufe aus der Mischkanalisation. Massnahmen im Bereich der Regenwasserversickerung sind bereits eingehend in der VSA-Richtlinie «Regenwasserentsorgung» [4] behandelt.

2. Bedarf von Massnahmen

Die Abklärung des Massnahmenbedarfs wird in der Regel im Rahmen der «Generellen Entwässerungsplanung» [5] geklärt. Häufig ist jedoch der GEP für lokalspezifische Massnahmen zu grobmaschig oder zu wenig auf die im Projekt STORM vorgeschlagenen «Anforderungen» [1] ausgerichtet. Deswegen müssen weitere Informationen gefunden werden, z. B. aus den Untersuchungen im Rahmen des Modul-Stufen-Konzepts [6] oder aus anderen, v. a. kantonalen Gewässerschutzangaben. Weitere Angaben können aus der Erfolgskontrolle bisheriger Massnahmen abgeleitet werden.

Ein Effekt der Abwassereinleitung gilt als identifiziert, wenn seine Manifestation und dessen Ursachen und Konsequenzen mittels Untersuchungen *dokumentiert* werden. Sind diese Effekte identifiziert, ist aufgrund der Differenzen zwischen den Anforderungen und den tatsächlichen hydraulischen, stofflichen und hygienischen Belastungen zu entscheiden, ob daraus ein Handlungsbedarf für Massnahmen abzuleiten ist. Als identifiziertes Problem kann auch ein Problem betrachtet werden, das sich physikalisch noch nicht manifestiert, dessen Prognose des Auftretens mittels Modellen und Simulation jedoch als zuverlässig gilt. Dazu gehören z. B. prognostizierte Probleme im Zusammenhang mit der Erschliessung von neuen Siedlungs- oder Industriegebieten sowie bedeutende Änderungen im bestehenden Einzugsgebiet. Nähere Informationen zur Abklärung des Massnahmenbedarfs sind z. B. in [7] zu finden.

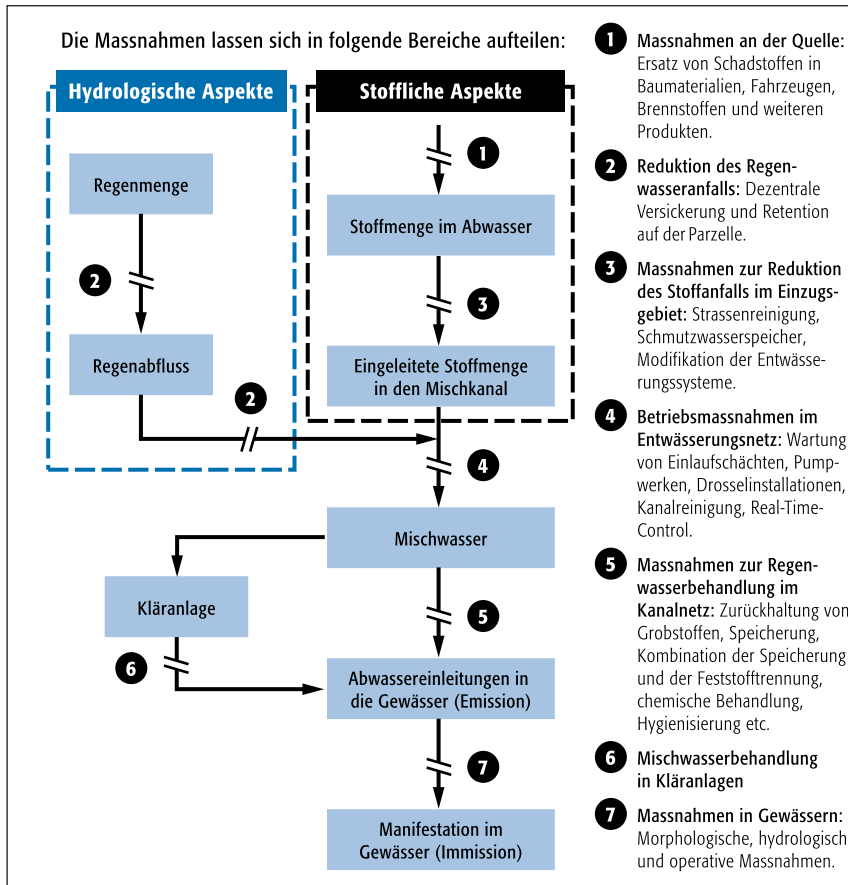


Abb. 1 Bereiche von verschiedenen Massnahmen im Zusammenhang mit Abwassereinleitungen aus der Mischkanalisation bei Regenwetter.

Momentan gibt es weltweit eine grosse Anzahl von verschiedenen Massnahmen mit unzähligen Modifikationen. In Tausenden von Literaturangaben werden die Funktionen und Leistungen dieser Massnahmen beschrieben. Deshalb ist es im Umfang dieser Publikation nur begrenzt möglich detaillierte Angaben über die verschiedenen Massnahmen und deren Leistung zusammenzustellen. Das Ziel dieser Publikation besteht darin, einen Überblick über die Breite des Massnahmenspektrums zu vermitteln und dabei auf Fachliteratur hinzuweisen, deren Lektüre einen Einstieg in die The-

matik sowie die Massnahmenplanung unterstützt. Den Schwerpunkt der Publikation bilden folgende Fragen:

- Wie kann der Bedarf für Massnahmen abgeklärt werden?
- Wie können aus dem breiten Massnahmenspektrum möglichst geeignete Massnahmen gewählt werden?
- Wie funktionieren die wichtigsten Massnahmen, was leisten sie und wo können nähere Informationen gefunden werden?
- Wie können die Kosten und die Leistung der Massnahmen untersucht und bewertet werden?

3. Wahl von Massnahmen

Die Wahl von Massnahmen erfolgt aufgrund der dokumentierten Problemidentifikation und dem ausgewiesenen Bedarf von Massnahmen. Dabei muss das ganze beeinflussbare Entwässerungssystem (inkl. Gewässer, Grundwasser und Boden) berücksichtigt werden. Die eigentliche Wahl kann in *zwei Schritten* erfolgen:

- In einem ersten Schritt werden aus dem Massnahmenspektrum geeignete Massnahmen zur näheren Prüfung gewählt. Hinweise dazu können der *Tabelle 1* entnommen werden. Zudem basiert die Wahl auf den Kenntnissen und Erfahrungen des Projektverfassers.

Projekt «STORM»: Abwassereinleitungen aus Kanalisationen bei Regenwetter

II. Im zweiten Schritt wird die Eignung der zuvor gewählten Massnahmen anhand von definierten Kriterien untersucht. Das wichtigste Kriterium ist die notwendige Leistung zur Sicherstellung der definierten Ziele, zu weiteren Kriterien gehören die Kosten, die Betriebszuverlässigkeit etc. In diesem Arbeitsschritt müssen fallweise zusätzliche Angaben, (aus der Literatur, aus einer Datenbank oder durch Anfrage bei Spezialisten) ermittelt werden.

Das Spektrum verfügbarer Massnahmen ist grösser als das bisher in der Schweiz üblicherweise angewendete und lässt sich nicht abschliessend zusammenstellen. Grundsätzlich kann man zwischen den *Massnahmen an der Quelle* («Source-Control») zur Verhinderung des Eintritts von Regenwasser und Schadstoffen ins Entwässerungssystem und *Massnahmen im Entwässerungssystem* («End of Pipe»), die die negativen Folgen von Abwassereinleitungen bei Regenwetter reduzieren können, unterscheiden (Abb. 1).

Die Prioritäten von geplanten Massnahmen müssen individuell festgelegt werden. Generell gilt, dass die Prioritäten stark mit der Leistung und den Kosten von Massnahmen («Kostenwirksamkeit») verbunden sind. Die folgende Rangliste zeigt ein Beispiel für die Prioritäten von Massnahmen in einem Ent-

wässerungssystem (Mischkanalisation im Einzugsgebiet eines kleineren Fließgewässers im Mittelland):

- I. Optimierung der Leistung eines Systems bestehender Anlagen (Anpassung der Drosselung in einzelnen Entlastungsanlagen)
- II. Massnahmen zur Reduktion des Regenwasseranfalls (Versickerung, Retention)
- III. Technische Massnahmen im Siedlungs- und Industriegebiet (regelmässige Strassenreinigung, Schmutzwasserspeicher von konzentrierten Abwässern, z. B. einer Textilfärberei)
- IV. Betriebliche Massnahmen im Entwässerungsnetz (regelmässige Wartung der Einlaufschächte, Einbau Kanalwehre zwecks automatischer Kanalspülung bei Trockenwetter)
- V. Regenwasserbehandlung (Intensivierung der Leistung des beste-

henden Klärbeckens durch den Einsatz von Lamellen)

- VI. Flankierende Massnahmen in Gewässern (Uferbeschattung)

Nähere Angaben zu dieser Problematik können v. a. in einem kürzlich veröffentlichten Handbuch über die «Grundlagen für die Auswahl von kosteneffizienten Massnahmenkombinationen» [8] oder im Handbuch der amerikanischen U.S. EPA (Environmental Protection Agency) über Mischwasserbehandlung [9] gefunden werden.

4. Kurzbeschreibung von ausgewählten Massnahmen

4.1 Ersatz von Schadstoffen in Produkten

Der Schlüssel zum Fortschritt im nachhaltigen Umgang mit Regenwasser liegt in der Vermeidung umweltschädlicher Emissionen an der Quelle. Dies kann durch gesetzliche

Ort der Manifestation	Problem und potentielle Auswirkungen	Mögliche Ursachen	Beispiele möglicher Massnahmen:		
			im Siedlungsgebiet	in der Siedlungsentwässerung	im nat. EZG, im Gewässer
Siedlungsgebiet, Kanalisation	Häufige und lange Mischwasserentlastungen	Fremdwasser und wenig verschmutztes Abwasser im Mischsystem, falsche Funktion des Regenüberlaufs	Separate Ableitung des Regenwassers, Versickerung	Vermeidung von Fremdwasser-einleitungen, Einstellung der Drosselung	
Gewässer	Ästhetische Beeinträchtigung: gestörtes Wohlbefinden des Menschen	Eintrag von Grobstoffen (Toilettenpapier etc.), Geruch, Farbstoffe	Schmutzwasserspeicher	Rechen oder Siebe	
	Kolmation der Sohle: Sauerstoffdefizit im Sohlenbereich und im hyporheischen Interstitial	Feststoffe im Abwasser, Eintrag von leicht abbaubaren partikulären Verunreinigungen	Verminderung von Ablagerungen in der Kanalisation	Vermeidung, Behandlung (z.B. Sedimentation, Wirbelabscheider), Betriebsoptimierung	
	Hygiene: Infektion von Menschen	Eintrag von Bakterien, Krankheitserregern		Verlegung der Einleitung, Behandlung	Warnung, befristetes Badeverbot
	Hydraulische Belastung: Verdriftung oder Absterben von Organismen	Geschiebetrieb und hohe Fließgeschwindigkeiten verursacht durch Kanalisationseinleitungen	Entsiegelung, RW-Nutzung, Retention, Versickerung	Verlegung der Einleitung, Speicherung, Abflusssteuerung	Profilanpassung, Substratverbesserung (Refugialräume)
	Akute Probleme (Toxizität, Ammoniak, Sauerstoff): Schädigung oder Absterben von Organismen	Eintrag von toxischen Stoffen, unnatürlich niedrige Wasserführung, hoher pH-Wert und Temperatur in Fließgewässern	Schmutzwasserspeicherung	Verlegung der Einleitung, Speicherung, Abflusssteuerung, Behandlung	Beschattung durch Bäume und andere Pflanzen, Verbesserung des hydrologischen Regimes
	Chronische Toxizität: Schädigung von Organismen	Eintrag von Schwermetallen, Pestiziden, hormonaktiven Substanzen etc.	Massnahmen an der Quelle	Behandlung (z.B. Bodenfilter, phys.-chem. Behandlung, Kläranlage)	
Eutrophierung in Gewässern: Schädigung von Organismen	Eintrag von Nährstoffen	Massnahmen an der Quelle	Speicherung, Abflusssteuerung	Beschattung durch Bäume und andere Pflanzen	

Tab. 1 Beispiele von problemorientierten Massnahmen im Mischsystem.

Vorschriften, durch marktwirtschaftliche Anreize, durch freiwilligen Verzicht usw. geschehen und führt in der Regel *langfristig* zu einer *wirksamen Lösung* durch das vollständige Verschwinden eines unerwünschten Stoffes im Regenwasserabfluss. Im Rahmen der praktischen Planung muss deswegen beurteilt werden, welche Möglichkeiten und Kompetenzen bei der Lösung einer konkreten Aufgabe zur Verfügung stehen (z. B. im Rahmen der Bauvorschriften einer Gemeinde).

4.2 Massnahmen zur Reduktion des Regenwasseranfalls

Die örtliche Entsorgung von Regenwasser ist eine sehr wirksame Massnahme, Mischkanäle hydraulisch und schmutzstoffmässig zu entlasten. Zweck und Anwendung der dezentralen Versickerung und der Retention sind der aktuellen Fachliteratur zu entnehmen [4]. Über die Nutzung von Regenwasser in Einzelgebäuden informiert eine Broschüre des BUWAL [10]. Die Regenwassernutzung bringt jedoch keine hydraulische Entlastung in Bezug auf die Bemessung von Kanälen und Entlastungsbauwerken. Hingegen kann der Einbezug der Regenwasserentsorgung nutzbar in die Umgebungsgestaltung von Gebäuden integriert werden. Beispiele dazu finden sich sowohl in der Schweiz, z. B. [11], als auch im Ausland, wie z. B. in Deutschland [12, 13] oder in Frankreich [14].

4.3 Technische Massnahmen zur Reduktion des Stoffanfalls im Einzugsgebiet

Modifizierte Misch- und Trennsysteme
Die durch die VSA-Richtlinie «Generelle Entwässerungsplanung» [5] und der SN 592000 «Liegenchaftsentwässerung» [15] eingeleitete Modifikation der klassischen Misch-

und Trennentwässerung wird nicht selten als die Umwandlung der bestehenden Mischsysteme in klassische Trennkanalisation verstanden. Diese Interpretation ist jedoch nicht richtig.

Die modifizierte Entwässerung ist aus ökologischer Sicht sinnvoll. Sie kann jedoch generell und kurzfristig nicht realisiert werden. Mit den oben erwähnten technischen Richtlinien sollte die sukzessive Entwässerungsmodifikation eingeleitet werden. Dies betrifft die Grundstückentwässerung, wo bei allen Neu- und Umbauten eine konsequente Trennung von Schmutz- und Regenwasser durchgeführt werden muss. Eine konsequente Umwandlung der klassischen Mischkanalisation in die klassische Trennkanalisation im Bereich der Ortsentwässerung ist jedoch durch die oben erwähnten Instrumente nicht beabsichtigt. Abgesehen von den wirtschaftlichen Folgen ist jede unkritische Präferenz des Trennsystems als Standardlösung auch aus ökologischer Sicht fragwürdig. Eine kritische Diskussion und Dokumentation dieser Problematik ist z. B. in [16] zu finden.

Strassenreinigung

Für die Strassenreinigung werden grundsätzlich zwei Verfahren verwendet: die Trocken- und die Nassreinigung. Die Wirkung beider Methoden hängt v. a. von der verwendeten Technik, von der Häufigkeit der Reinigung und von der Sorgfalt des Personals ab. Bei regelmässiger Reinigung innerorts kann dies zu einer bedeutenden Entlastung der Regenwasserabflüsse von Strassen in Bezug auf partikuläre Stoffe und daran gebundene Substanzen wie Schwermetalle und PAKs führen. Die Literaturangaben zur Zurückhaltung von Feststoffen bei Trocken- oder Nassreinigung sind sehr

unterschiedlich und betragen im Mittel 20 bis 50 % [17, 18, 19]. Bei der Kombination der Trocken- und Nassreinigung kann die Zurückhaltung von Feststoffen bis zu 80 % betragen [17].

Schmutzwasserspeicher

Das Konzept beruht auf der Zurückhaltung besonders verschmutzter Abwässer (z. B. Industrieabwässer) vor der Einleitung in die Mischkanalisation bei Regenwetter. Diese Abwässer werden in die Kanalisation erst dann eingeleitet, wenn sie vollständig zur Kläranlage transportiert werden können, d. h. wenn die Mischwasserüberläufe nicht mehr tätig sind. Die technischen Elemente der Schmutzwasserspeicherung (Mess- und Regelungsinstrumente) gehören heute zum Stand der Technik. Mögliche Probleme dieser Massnahme liegen in der Lösung von technischen und verfahrenstechnischen Fragen am Entstehungsort dieser Abwässer (z. B. bei der Industrie). Diese Fragen hängen eng mit dem Charakter des Fabrikationsprozesses und mit dem Abwassercharakter zusammen. Die bisherigen Erfahrungen zeigen, dass diese Lösung in der Regel wirtschaftlich vorteilhaft ist und dass die Wirkung bedeutend sein kann. Die Voraussetzung für diese Massnahme ist jedoch eine enge Zusammenarbeit und Koordination zwischen allen Beteiligten (Abwasserproduzent, Betreiber der Entwässerung und der planende Ingenieur). Nähere Angaben zum Schmutzwasserspeicher sind z. B. in [20 und 21] zu finden.

Zur Schmutzwasserspeicherung kann auch die Urinseparierung und -speicherung gezählt werden. Diese Massnahme ist momentan Gegenstand intensiver Forschung. In geeigneten Verhältnissen (z. B. Neubauten mit Urinseparierung im Bereich der Mischsysteme) stellt die Urinseparierung eine bedeutende Barriere für Ammoniumfrachten im Mischwasser [22] dar.

4.4 Massnahmen im Entwässerungsnetz

Einlaufschächte

Die typischen Einlaufschächte in der Schweiz haben ein Speichervolumen von ca. 0,3 m³. Die angeschlossene Strassenfläche auf einen Einlaufschacht beträgt ca. 200 m². Der Einsatz dieser Art der Einlaufschächte ist in der Praxis v. a. im Hinblick auf die Wartungskosten nicht unumstritten. Einlaufschächte dienen nebst Vermeidung von Geruchsausstritt aus der Mischkanalisation auch der Zurückhaltung von Schmutzstoffen, allerdings kann die Leistung je nach dem Regenabflusscharakter positiv (Zurückhaltung von absetzbaren Stoffen)

oder negativ (Ausspülung) sein. Gemäss den Untersuchungen in Zürich-Friedacker [23] beträgt die zurückgehaltene Fracht von 1 ha der Strassenfläche (ca. 50 Einlaufschächte) ca. 130 kg GUS/Jahr (v. a. grobe und schwere Partikel). Nach kürzeren Starkregen konnte ein bedeutender Zuwachs von Feststoffen beobachtet werden, nach längeren, weniger intensiven Regen wurde im Gegenteil eine Abnahme der Sedimente im Einlaufschacht beobachtet. Das Nutzvolumen dieser Einlaufschächte pro ha befestigte Fläche entspricht ungefähr dem Nutzinhalt eines kleineren Regenüberlaufbeckens (ca. 15 m³/ha Strassenfläche), die Zurückhaltung von absetzbaren Stoffen liegt gemäss den erwähnten Untersuchungen in Zürich ungefähr im Leistungsbereich eines Klärbeckens. Diese Leistung ist abhängig von der regelmässigen Räumung der Sedimente, die jedoch mit bedeutendem Zeit- und Kostenaufwand verbunden ist. Die Sedimente müssen als Sondermüll entsorgt werden. In der Literatur gibt es zahlreiche Hinweise auf die Funktion und Leistung von Einlaufschächten, allerdings werden die Einlaufschächte unterschiedlich gestaltet und dimensioniert, sodass eine unkritische Übertragung der Informationen zu falschen Schlüssen führen kann. Eine wirksame Ergänzung im Hinblick auf die Zurückhaltung von Feststoffen im Strassenabwasser bilden die Filtersäcke (Geotextil), die in Einlaufschächten installiert werden können. Die Leistung bezüglich der gesamten ungelösten Stoffe (GUS) ist hoch (> 80 % [24]). Allerdings ist auch diese Massnahme verbunden mit regelmässiger Wartung. Die zurückgehaltenen Feststoffe müssen ebenfalls als Sondermüll behandelt werden. Der Einsatz von Filtersäcken in der Schweiz wird momentan experimentell untersucht [24].

Kanalreinigung und Kanalspülung

Die Kanalreinigung ist eine Massnahme, die in der Praxis v. a. zur Sicherstellung der hydraulischen Kapazität von Hauptkanälen in der Regel in längeren Zeitabständen durchgeführt wird. Bei der Kanalspülung handelt es sich jedoch im Gegensatz zur Kanalreinigung um eine häufige und regelmässige Abspülung der Sedimente in der Kanalisation, die z. B. mit der Tagesschwankung der Schleppkraft zusammenhängt. Dadurch können sowohl hydraulische Probleme als auch der Anteil der Kanalsedimente im Mischwasser reduziert werden. Für die regelmässige Kanalspülung gibt es verschiedene technische Möglichkeiten. Je nach

lokalen Verhältnissen kann eine Reduktion der Kanalsedimente von 50 bis zu fast 100 % erreicht werden. Die aktuellen Informationen zu diesem Thema aus Deutschland und den USA sind in einem Bericht der U.S. EPA [25] zusammengestellt.

Real-Time-Control

Bei Real-Time-Control steht unter Schweizer Verhältnissen die Bewirtschaftung eines Verbunds von Speicheranlagen im Netz während Regenwetter und nach Ende des Regens im Vordergrund. Die Bedeutung liegt in der optimalen Nutzung der vorhandenen Speichervolumina und in der Koordination der Entleerung nach dem Regen. Die mögliche Leistung dieser Massnahme hängt von lokalen Verhältnissen ab und kann nur mit Hilfe von geeigneten Simulationsprogrammen geschätzt werden. Das Potential für eine «echte» Abflusssteuerung (zusätzlich Nutzung des Speichervolumens der Kanäle) ist in der Schweiz abgesehen von einigen Ausnahmen klein aufgrund des meist relativ grossen Gefälles und des daraus resultierenden geringen Speichervolumens in der Kanalisation. Für nähere Angaben zu diesem Thema siehe z. B. [26, 27].

4.5 Mischwasserbehandlung

Trotz der vermehrten Anstrengungen zur «Source-Control» und zur Umstellung der Regenwasserentsorgung auf Versickerung, Retention und auf modifizierte Mischsysteme werden in der Schweiz auch in den nächsten Jahrzehnten Mischwasserüberläufe nicht vermieden werden können. Um diesem Umstand entgegenzuwirken, werden auch in Zukunft Anlagen zur Mischwasserbehandlung gebaut und betrieben. Diese Anlagen sind im Allgemeinen in ihrer Leistung be-

schränkt und erreichen nie einen 100%igen Stoffrückhalt. Mit zunehmender Kombination von Massnahmen an der Quelle und weiteren Barrieren wird jedoch auch die relative Leistung der Mischwasserbehandlung steigen (z. B. falls der Regenabfluss reduziert und/oder die Abflusspeaks geglättet werden und somit die Überlaufmenge reduziert wird).

Massnahmen zur Zurückhaltung von Grobstoffen

Grobstoffe aus Mischwasserentlastungen führen bekanntlich zu dem am häufigsten identifizierten und beanstandeten Gewässerschutzproblem bei Regenwetter in der Schweiz. Aufgrund langjähriger Erfahrungen im In- und Ausland gibt es heute verschiedene Anlagen (Rechen, Siebe, Bürsten etc.), die mit Erfolg zur Zurückhaltung von Grobstoffen aus Regenüberläufen eingesetzt werden können. Die Wirkungen der gegenwärtig angewandten Anlagen sind in der Regel befriedigend. Allerdings ist es zwecklos die Menge der zurückgehaltenen Grobstoffe mengenmässig zu beziffern. Für die Beurteilung der Wirkung ist die Verhinderung der sichtbaren Verunreinigung und die Häufigkeit des Notüberlaufs massgebend. Grundsätzliche Informationen zu diesem Thema können z. B. in [28] gefunden werden, für die Wahl einzelner technischer Massnahmen gibt es zahlreiche Informationen der Gerätehersteller sowohl im In- als auch im Ausland.

Regenüberlaufbecken

In Regenüberlaufbecken wird das Mischwasser vorübergehend nur gespeichert (in Fangbecken oder in Fangkanälen) oder gespeichert und teilweise geklärt (in Klärbecken oder in Verbundbecken). Die Regenüberlaufbecken gehören seit

Jahrzehnten zu den am meisten realisierten Massnahmen zur Mischwasserbehandlung in der Schweiz. Eine nähere Beschreibung ist deswegen nicht nötig. Die Leistung eines Regenüberlaufbeckens kann nur durch Mischwasser- und Stoffbilanzierung (Zulauf zum Entlastungsbauwerk, Ablauf zur ARA, Überlauf in den Vorfluter) anhand einer lokalspezifisch durchgeführten (Langzeit-)Simulation und/oder Messungen geschätzt werden. Die Sedimentationsleistung eines Klärbeckens hängt v. a. von der Absetzgeschwindigkeit der Feststoffe und von den hydraulischen Verhältnissen im Becken ab. Eine Methode zur Schätzung dieser Sedimentationsleistung bezüglich GUS wurde in [29] veröffentlicht.

Die anhand einer Langzeitsimulation ermittelte Leistung eines Regenüberlaufbeckens bezüglich GUS kann als Basis der Frachtschätzung für andere Schadstoffe verwendet werden. Zu dieser Schätzung können statistisch ausgewertete Angaben aus experimentellen Untersuchungen verwendet werden, wie z. B. die Angaben in der *Tabelle 2*.

Regenüberlaufbecken (v. a. Klärbecken) können auch in der Trennkanalesation eingesetzt werden. Prinzipiell gelten für die Planung und Dimensionierung im Trennsystem die gleichen Grundsätze wie im Mischsystem. Im Vergleich zum Mischsystem (wo nach dem Regen der Schlamm direkt in die Kläranlage transportiert wird) muss bei Trennsystem die regelmässige Räumung und fachgerechte Entsorgung der Sedimente sichergestellt werden.

Hydrodynamische Abscheider

Die hydrodynamischen Abscheider bewirken die Teilung des Mischwasserstroms in einen mengenmässig begrenzten, mit GUS stärker verschmutzten Strom, der zur Kläran-

lage weitergeleitet wird, und einen Überlauf mit kleineren Partikelkonzentrationen. Die Abscheider werden tangential beschickt und radial entleert und weisen im Vergleich zu Regenüberlaufbecken ein relativ kleines Volumen und eine «hohe Dynamik» auf. Die hydrodynamischen Abscheider sind in der bisherigen Praxis ausschliesslich für die Mischwasserbehandlung und im Hauptschluss eingesetzt worden. Der mögliche Einsatzbereich liegt v. a. in kleineren Einzugsgebieten [31]. Die Leistung der Anlagen ist nicht leicht prognostizierbar, weil sie von vielen variablen Parametern abhängig ist. Zu den wichtigsten gehören die Partikeleigenschaften (Dichte, Grösse und Form) und eine ganze Reihe von hydraulischen Kenngrössen in der Anlage, die die Abwasser- und Feststoffabtrennung bei unterschiedlichen Betriebsverhältnissen beeinflussen (tangentiale Beschickung, Oberflächenbelastung, Drosselverhältnis, Volumen und andere). Bei kleineren Regen kann das Mischwasser in der Anlage vollständig gespeichert werden. Bei mittleren Regen wird der mit Feststoffen angereicherte Mischwasserstrom weiter zur Kläranlage geleitet und der mit Feststoffen weniger belastete Mischwasserstrom wird in den Vorfluter eingeleitet. Bei mittleren Regen ist die Anlage hydraulisch verhältnismässig schwach belastet und die Leistung bezüglich Feststoffabtrennung befriedigend. Bei Starkregen ist die Anlage jedoch hydraulisch so stark belastet, dass die Wirkung der Partikelabtrennung gering ist.

Die Leistung eines geplanten hydrodynamischen Abscheiders bezüglich der GUS-Abtrennung lässt sich für verschiedene Konstruktions- und Betriebsverhältnisse anhand eines hydrodynamischen Simulationsprogramms (wie z. B. FLUENT) schät-

zen [32]. Das Resultat dieser Untersuchung entspricht der «reinen» Abscheidewirkung (gleich wie die Sedimentationswirkung eines Klärbeckens ohne Berücksichtigung der Speicherung). Die Abscheidewirkung variiert je nach betrieblicher Situation zwischen 15 bis über 90 % [33, 34, 35]. Für den Einstieg in diese Problematik kann die Anleitung zur Planung und Dimensionierung von Wirbelabscheideranlagen empfohlen werden [36].

«Weitergehende Regenwasserbehandlung»

Im Zusammenhang mit höheren Anforderungen an die Zurückhaltung von verschiedenen Schadstoffen, die v. a. an Feststoffe gebunden sind (Schwermetalle etc.) wurden in den letzten Jahren verschiedene Massnahmen eingeführt, die entweder zur Intensivierung der bestehenden Anlagen führen, sie ergänzen oder sie ersetzen. Sie werden an dieser Stelle als Anlagen zur «weitergehenden Regenwasserbehandlung» genannt. Aus dem grossen Spektrum dieser Anlagen werden hier Lamellenabscheider, Bodenfilter, Teichanlagen und die «Systemanlagen für die Regenwasserbehandlung» kurz diskutiert.

Die Leistung eines Klärbeckens kann z. B. mit Hilfe eines Lamellenseparators und ggf. mittels Einsatz von Chemikalien erhöht werden. Dadurch kann eine Abscheideleistung bezüglich GUS bis zu 60 % erreicht werden [37]. Bei der Zugabe von Chemikalien (Dosierung von Polymeren von 4 mg/l) konnte in Toronto (Trennsystem, während 51 Regenereignissen und bei einer Oberflächenbelastung von 15 m/h) eine Abscheidewirkung bis 80–85 % erreicht werden [38]). Der zurückgehaltene Schlamm war in diesem Fall stark mit Schwermetallen belastet und musste als «Sondermüll» entsorgt werden. Ähnliche Er-

	Häufigkeit des Auftretens	Schadstoffanteil in 1 kg GUS *)					
		TOC [g]	P-tot [g]	Cd [mg]	Pb [mg]	Cu [mg]	Zn [mg]
Mischsystem	25%	150	4	5,7	183	422	1192
	Median	170	7	8,0	402	559	1605
	75%	320	17	28,7	632	774	2516
Trennsystem	25%	120	1,7	8,2	326	198	908
	Median	140	2,9	16,3	836	340	1950
	75%	200	4,9	35,4	1690	780	3560

Tab. 2 Anteil ausgewählter Schadstoffe an Gesamten ungelösten Stoffen (GUS) im Mischwasser und im Regenabfluss der Trennkanalesation (berechnet nach [30]).

*) Verhältnis zwischen Median GUS und 25 % Perzentile, Median und 75 % Perzentile von bewerteten Stoffen. Der Median aus 178 Untersuchungen von GUS im Mischsystem beträgt: 174,5 mg GUS/l, im Trennsystem: 141 mg GUS/l aus 56 Untersuchungen.

Projekt «STORM»: Abwassereinleitungen aus Kanalisationen bei Regenwetter

fahrungen konnten auch in Genf gewonnen werden. Nähere Angaben zur Leistung und zum Betrieb des Lamellenseparators in Genf sind in [39] zu finden.

Nach Erfahrungen aus den USA und Kanada sind in den letzten Jahren auch in Europa (v. a. in Deutschland) verschiedene Teich- und Retentionsanlagen, kombiniert mit Bodenfiltern zur Regenwasserbehandlung eingesetzt worden [40, 41, 42, 43, 44]. Diese Anlagen (im Mischsystem als Ergänzungen zu bestehenden Regenüberlaufbecken) werden als «weitergehende Massnahmen» zum Schutz von besonders sensiblen Gewässern eingesetzt. Der Einsatz und die mögliche Wirkung der Teichanlagen und der Bodenfilter für Strassenabwasser wird auch im Abschnitt 9 der VSA-Richtlinie «Regenwasserentsorgung» [4] diskutiert. Die Dimensionierung und insbesondere der Betrieb dieser Anlagen ist noch immer Gegenstand der Forschung. In Deutschland wurden in den letzten Jahren Hinweise für die Planung, Bau und Betrieb von Retentionsfiltern im Misch- und im Trennsystem veröffentlicht [44, 45].

Eine weitergehende Regenwasserbehandlung bieten auch verschiedene «Systemanlagen» (wie z. B. die «Actiflo»- und «ECOSTAR»-Methode) an [46, 47]. Bei diesen Verfahren handelt es sich um verschiedene physikalisch-chemische Verfahren, die auch durch Desinfektion (UV) ergänzt werden können. Die Leistung dieser Reinigung ist hoch (85–95 % GUS), im Falle der UV-Desinfektion wird der Ablauf die bakteriologischen Anforderungen für die Einleitung in Badegewässer erfüllen [47].

4.6 Regenwasserbehandlung in Kläranlagen

In den letzten Jahrzehnten wurden die Entlastungen zwischen dem mechanischen und biologischen Teil der Kläranlagen aufgehoben und die neuen Anlagen in der Regel auf den doppelten Trockenwetteranfall dimensioniert. Dies war die Empfehlung von Studien in den Sechzigerjahren, z. B. [48]). Im Rahmen der EAWAG-Glattstudie [49] wurde eine Schätzung der Frachtminimierung in einem System Kanalisation–Kläranlage durchgeführt. Dabei wurde festgestellt, dass die generelle Empfehlung: Regenbecken in der Mischkanalisation und die Mischwasserbehandlung in der Kläranlage bis zum doppelten Trockenwetteranfall nicht überall die optimale Entwässerungskonzeption darstellt. Allerdings die Systemoptimierung: Einzugsgebiet–Kanalisation–Kläranlage–Gewässer bei Regenwetter wird bei der Bemessung von Kläranlagen in der Regel nicht durchgeführt.

Anlage/Verfahren	Investitionskosten in Euro/m ² der abflusswirksamen Fläche			
	Mittelwert	Median	Niedrigster Wert	Höchster Wert
Muldenversickerung	5,62	5,11	1,28	15,34
Rohr- oder Rigolenversickerung	11,76	7,67	3,58	24,54
Schachtversickerung	13,29	12,27	3,83	25,56
Mulden-Rigolenversickerung	25,77	24,03	6,14	42,95
Sonstige Muldenkombinationen	16,05	14,32	8,44	31,70
Retention und gedrosselte Ableitung	15,49	11,91	9,20	33,23

Tab. 3 Beispiel von spezifischen Investitionskosten der dezentralen Versickerung und Retention aus Deutschland [50].

4.7 Massnahmen in Gewässern

Im Vordergrund der Massnahmen in Gewässern stehen ökomorphologische Massnahmen. Mit Hilfe dieser Massnahmen können eventuell gewisse Gewässerschutzprobleme, verursacht durch Abwassereinleitungen aus Kanalisationen bei Regenwetter entschärft werden. In erster Linie handelt es sich um eine mögliche Entschärfung von mechanisch-hydraulischen Beeinträchtigungen der Lebewesen in kleinen urbanen Fliessgewässern, weiter kann es sich auch um begleitende Massnahmen (wie z. B. Beschattung der Wasserfläche durch Uferbepflanzung) handeln.

Ökomorphologische Massnahmen zur Entschärfung der mechanisch-hydraulischen Beeinträchtigungen bedeuten Eingriffe in das Gerinne im Sinne der Reduktion der Sohl Schubspannung (z. B. Reduktion des Gefälles) und im Sinne der Bildung von geeigneten Schutzräumen (z. B. Erhöhung der Breiten- und Tiefenvariabilität). Umgekehrt kann es in Fliessstrecken, wo Ablagerungen von Sedimenten auftreten, um mögliche Eingriffe im Sinne der Erhöhung der Sohl Schubspannung gehen (z. B. Aufhebung von Stauanlagen).

Ökomorphologische Massnahmen haben in der Regel auch eine positive Auswirkung auf die stoffliche Beschaffenheit eines Gewässers und

können zum Landschaftsbild und zum Erholungswert des Gewässers beitragen. Allerdings sind bedeutende Randbedingungen, wie z. B. der Hochwasserschutz, der Landbedarf und die Kosten zu berücksichtigen. Abgesehen davon fehlen noch immer Erfahrungen auf diesem Gebiet und die Planung einer solchen Massnahme setzt profunde ingenieur-biologische Kenntnisse voraus. Zur näheren Information über die Leistung und Kosten dieser Massnahmen wird die bereits erwähnte Studie des Umweltbundesamtes in Berlin [8] empfohlen.

5. Kosten und «Kostenwirksamkeit» der Massnahmen

Es ist bekannt, dass die Beziehung zwischen den Kosten und Leistungen von Massnahmen («Kostenwirksamkeit») in der ersten Planungsphase am stärksten beeinflusst werden kann. Allerdings zeigt die Praxis, dass bisher die «Kostenwirksamkeit» in der Planung kaum untersucht wurde. Die Begründung liegt v. a. im bisherigen, mehr oder weniger generellen Einsatz von Regenüberlaufbecken und im bisherigen Planungs- und Bemessungsprozess. Bei der Berücksichtigung eines breiteren Massnahmenspektrums gehören jedoch Angaben über Kosten und Leistungen von untersuchten Massnahmen zu den wichtigsten Entscheidungsunterlagen.

Projekt «STORM»: Abwassereinleitungen aus Kanalisationen bei Regenwetter

Die Überlegungen zu den Leistungen und Kosten sollen bereits im ersten Schritt der Massnahmenplanung (siehe *Abschn. 3*) gemacht werden. Die geschätzte «Kostenwirksamkeit» kann zu einer ersten Massnahmenselktion beitragen. In dieser Phase können auch lokalunspecifische Angaben verwendet werden, wie z. B. verschiedene Kostenfunktionen oder andere Angaben, die meist auf Kosten von realisierten Anlagen basieren (*Tab. 3*). Zu diesem Zweck wurden z. B. in Bayern [51]

und Hessen [52] administrative Instrumente veröffentlicht, die Kostenfunktionen und Kostenrichtwerte für verschiedene Anlagen im diskutierten Massnahmenbereich definieren. Bei der Verwendung von Kostenfunktionen ist jedoch Vorsicht geboten. Angaben über den Wiederbeschaffungswert von Regenüberlaufbecken aus mehreren Schweizer Kantonen zeigen grosse Abweichungen zwischen tatsächlichen und mittels Kostenfunktion berechneten Kosten (*Abb. 2*).

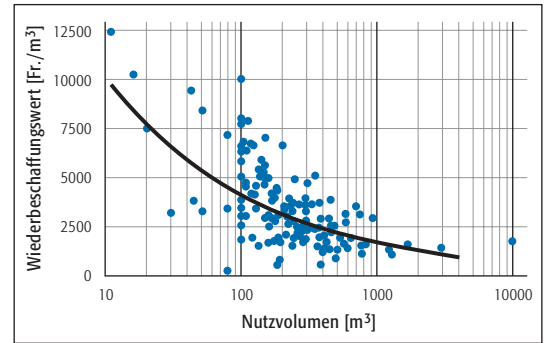


Abb. 2 Wiederbeschaffungswert von ausgewählten Regenüberlaufbecken in der Schweiz [53].

Im zweiten Schritt der vorgeschlagenen Planung (siehe *Abschn. 3*) sollen die Kostenschätzungen auf einer Vordimensionierung (oder ähnlichen Voruntersuchung) basieren. Dabei wird die lokal spezifische Situation berücksichtigt (Stadt/Land, Umbau/Neubau, Erdarbeiten/Wasserhaltung, offene/geschlossene Bauweise, maschinelle Ausrüstung nach Offerten etc.). Ein Beispiel für diese Art der Kostenermittlung wurde in einem EAWAG-Kurs vorgestellt [54].

Die «Kostenwirksamkeit» kann am Beispiel des RÜB Werdinsel in Zürich diskutiert werden. Die wichtigsten Kennzahlen dieses Beckens sind in den *Tabellen 4 und 5* zusammengestellt [55, 56]

Die technischen Angaben in der *Tabelle 4* und die Baukosten stammen aus der Veröffentlichung über das Regenbecken Werdinsel [55], die Kosten für den Betrieb und Unterhalt konnten von «Entsorgung und Recycling Zürich» [56] erhalten werden, die übrigen Kostenangaben wurden berechnet.

Die Angaben über die geplanten Leistungen des Regenbeckens Werdinsel stammen aus der oben erwähnten Veröffentlichung [55], die Angaben über die wirklichen Leistungen stammen teilweise aus Messungen von ERZ [56], die fehlenden Angaben wurden anhand einer Langzeit-Simulation geschätzt. Für die Beurteilung von Leistungen sind in diesem Falle (= Staustrecke der Limmat) nicht primär die Häufigkeiten, sondern die Abwasser- und GUS-Frachten massgebend.

Die spezifischen Kosten wurden aus Jahreskosten und Jahresleistungen geschätzt. Die Kosten für die nachträgliche GUS-Behandlung in der ARA Werdhölzli basieren auf Schätzungen der Kosten für den jährlichen Rückhalt von GUS in der ARA Werdhölzli (ca. 3 Fr./kg GUS inkl. damalige Schlammbe-

Regenbecken Werdinsel, Zürich		
Volumen des Beckens	[m ³]	20 000
Volumen des Zulaufkanals	[m ³]	20 000
Direktes Einzugsgebiet	[ha _{red}]	300
Über Hochwasserentlastungen vorentlastet	[ha _{red}]	230
Über Regenbecken vorentlastet	[ha _{red}]	870
Total	[ha _{red}]	1 400
Spezifischer Inhalt (nur Becken)	[m ³ /ha _{red}]	14,3
Spezifischer Inhalt (total)	[m ³ /ha _{red}]	28,6
Baukosten (Becken und Zulaufkanal 1988)	[Mio Fr.]	52
Wiederbeschaffungswert (Schätzung 2004)	[Mio Fr.]	65
Jahreskosten: Annuität 3,6 % (Annahmen: Realzins 2%, Lebensdauer 40 Jahre)	[Mio Fr./a]	2,35
Betrieb, Unterhalt	[Mio Fr./a]	0,21
Total	[Mio Fr./a]	2,56
Spezifische Jahreskosten (bei 40 000 m ³ Nutzvolumen)	[Fr./m ³ /a]	64

Tab. 4 Ausgewählte Kennzahlen des Regenbeckens Werdinsel in Zürich [55, 56].

Leistungen und Kosten: Regenbecken Werdinsel, Zürich	Gemäss Projekt	Wirkliche Leistungen
Beschickungsereignisse [a ⁻¹]	85	70–75 ¹⁾
Überlaufereignisse [a ⁻¹]	23	10–15 ¹⁾
Zufluss zum Becken [Mio m ³ /a]	4,0	2,09 ²⁾
Rückhalt im Becken [Mio m ³ /a]	2,7	1,6 ²⁾
Überlauf [Mio m ³ /a]	1,3	0,49 ²⁾
Rückhalt GUS im Becken:		
• ohne Abwasserreinigung [t GUS/a]	550	80–120 ¹⁾
• mit Abwasserreinigung [t GUS/a]	530 ³⁾	75–115 ³⁾
Überlauf in die Limmat [a ⁻¹]	220 t GUS	12 t AFS ⁴⁾
Geschätzte Kosten für GUS Rückhalt im RÜB:		
• ohne Abwasserreinigung [Fr./kg GUS]	4,65	21–32
• mit Abwasserreinigung [Fr./kg GUS]	> 10	> 25

Tab. 5 Leistungen und Kosten der Mischwasserbehandlung im Regenbecken Werdinsel Zürich [55, 56].

¹⁾ Schätzungen aufgrund von Simulationsberechnung (2004).

²⁾ Mittelwerte aus gemessenen Angaben in den Jahren 1991–1995 [56]. In diesen Jahren wurde das Regenbecken gemäss den Projektannahmen betrieben (d. h. vor der Änderung des Q_{ab} von 9 m³/s auf ca. 6 m³/s).

³⁾ Schätzungen.

⁴⁾ Mittelwert aus gemessenen Angaben [56]. AFS = abfiltrierbare Stoffe, Filter 8 mm, 1992 (11,3 t AFS/Jahr) und 1994 (13 t AFS/Jahr).

handlung bei Behandlung von 15 000 t GUS/Jahr) und auf den Kosten für den jährlichen Rückhalt von GUS in der Filtration der ARA Werdhölzli (ca. 5 Fr./kg GUS bei Behandlung von 900 t GUS/Jahr).

Das Beispiel zeigt, dass

- der Unterschied zwischen der geplanten und tatsächlichen Funktion des Regenbeckens Werdinsel in Zürich bedeutend ist. Dadurch wird die mögliche Grössenordnung der Unsicherheiten bei der Planung dokumentiert.
- falls Jahresfrachten die massgebende Beurteilungsgrösse sind, sind selbst kostenintensive Massnahmen auf der Kläranlage kostenwirksamer als die Mischwasserbehandlung in Regenüberlaufbecken.

6. Schlussfolgerungen

Die neuen Erkenntnisse im Zusammenhang mit Abwassereinleitungen aus Kanalisationen bei Regenwetter, insbesondere im Bereich der Mikroverunreinigungen, verlangen eine Anpassung der bisherigen Strategie, die vor allem auf die Zurückhaltung von Grobstoffen und Schlamm in Regenüberlaufbecken ausgerichtet wurde. Deswegen werden neben den bisherigen auch neue Anforderungen an diese Einleitungen gestellt.

Um diese Anforderungen zu erfüllen, müssen neben den bisherigen auch neue Massnahmen berücksichtigt werden. Dies betrifft sowohl Massnahmen an der Quelle, als auch verschiedene «Barrieren» und nicht zuletzt Massnahmen in den Gewässern selbst.

Die bisher relativ einfache und wenig problemspezifische Massnahmenplanung wird zukünftig wesentlich anspruchsvoller. Um die Effizienz und Transparenz der Planung von Massnahmen in Zukunft zu gewährleisten, soll das Vorgehen bei der Planung an die neuen Anforderungen angepasst werden. Dies betrifft v. a. die systematische und kritische Wahl der Massnahmen, die Beurteilung derer Leistungen und Kosten, die Untersuchung, Bewertung und Zusammenstellung von problemorientierten Massnahmenkombinationen und die Erfolgskontrolle. Die Kombination von verschiedenen Massnahmen soll sukzessive aufgrund der festgelegten Prioritäten von einzelnen Massnahmen realisiert werden. Jede realisierte Massnahme soll bezüglich der vorgesehenen und tatsächlichen Leistung geprüft werden. Dadurch werden einerseits wertvolle

Erfahrungen gesammelt, gleichzeitig stellt diese Erfolgskontrolle eine Basis für eventuell nötige Intensivierungen der Massnahmen dar. So kann analog zur Abwasserreinigung in Kläranlagen eine «rollende Planung» auch im Bereich der Siedlungsentwässerung sichergestellt werden.

Die Informationen über die Entwicklung auf diesem Gebiet können v. a. aus Fachpublikationen gewonnen werden. In diesem Zusammenhang ist auch die vermehrte Teilnahme der Fachleute an nationalen und internationalen Konferenzen wichtig.

Literaturverzeichnis

- [1] Rossi, L., Krejci, V., Kreikenbaum, S. (2004): Anforderungen an die Abwassereinleitungen, Projekt «STORM» Abwassereinleitungen aus Kanalisationen bei Regenwetter, gwa Nr. 6, p. 431–438.
- [2] *Gewässerschutzverordnung* (1998): Verordnung vom 28. Oktober 1998, 814.201.
- [3] BUWAL (2002): Wegleitung: Gewässerschutz bei Entwässerung von Verkehrswegen.
- [4] *Regenwasserentsorgung* (2002): Richtlinie zur Versickerung, Retention und Ableitung von Niederschlagswasser in Siedlungsgebieten – Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute, Zürich.
- [5] *Generelle Entwässerungsplanung* (1989): Richtlinie für die Bearbeitung und Honorierung – Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute, Zürich.
- [6] BUWAL (1998): Modul-Stufen-Konzept – Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fließgewässer, Mitteilungen zum Gewässerschutz, Nr. 26., Bern.
- [7] Krejci, V., Frutiger, A., Kreikenbaum, S., Rossi, L. (2004): Gewässerbeeinträchtigungen bei Regenwetter, EAWAG und BUWAL-Projekt STORM, (in Vorbereitung).
- [8] Interwies, E., Kraemer, R.A., Kranz, N., Görlich, B., Dworak, T., Borchardt, D., Richter, S., Willecke, J. (2004): Grundlagen für die Auswahl der kosteneffizientesten Massnahmenkombination zur Aufnahme in das Massnahmenprogramm nach Artikel 11 der Wasserrahmenrichtlinie – Handbuch, Umweltbundesamt Berlin, UBA-FB 000563/kurz (www.umweltbundesamt.de).
- [9] U.S. EPA. (1993): Combined Sewer Overflow Control Manual. United States Environmental Protection Agency, EPA/625/R-93/007, Washington DC 20460, USA.
- [10] BUWAL (2002): Ökobilanz von Trinkwasserversorgung und Regenwassernutzung, Umwelt-Materialien Nr. 147, Bern.

- [11] BUWAL (2000): Wohin mit dem Regenwasser? Beispiele aus der Praxis, Bern.
- [12] Geiger, W., Dreiseitl, H. (1995): Neue Wege für das Regenwasser, Handbuch zum Rückhalt und zur Versickerung von Regenwasser in Baugebieten, R. Oldenbourg Verlage, München, ISBN 3-486-26259-9.
- [13] Dreiseitl, H., Grau, D., Ludwig, K.H.C. (2001): Planen, Bauen und Gestalten mit Wasser, Birkhäuser-Verlag für Architekten Basel, ISBN 3-7643-6508-0.
- [14] *Communauté Urbaine de Bordeaux* (1996): Les solutions compensatoires d'assainissement pluvial sur la communauté urbaine de Bordeaux – Guide de réalisation, 14 juin 1996.
- [15] SN 592000 (2002): Liegenschaftsentwässerung, VSA und SSV.
- [16] Brombach, H., Weiss, G., Fuchs, S. (2004): Combined or separate sewer systems? A critical comparison using a new database on urban runoff pollution, Conf. Proceedings Novatech, Vol. 1, p. 599–606, Lyon, France.
- [17] Novotny, V., Chester, G. (1981): Handbook of Non-Point Pollution, Sources and Management, van Nostrand Reinhold Environmental Engineering Series, New York.
- [18] Balades, J.D., Petitcolas, F. (2001): Les stratégies de réduction des flux polluants par temps de pluie à la source: approche technico-économique. Conf. Proceedings Novatech, Vol. 1, p. 367–373, Lyon, France.
- [19] German, J., Svensson, G. (2001): Street sweeping as a pollutant control measure. Conference. Proceedings Novatech, Vol. 1, p. 383–390, Lyon, France.
- [20] Grottker, M. (1995): Schmutzwasserspeicher, Gas-Wasser-Abwasser, Nr. 5, p. 394–401.
- [21] Kollatsch, D.-Th., Schilling, W. (1990): Control Strategies of Sanitary Sewage Detention Tanks to Reduce Combined Sewer Overflow Pollution Loads, Proceedings 5th ICUSD, Osaka, Japan.
- [22] Rossi, L., Lienert, J., Rauch, W. (2004): At-source control of urine to prevent acute wet-weather impacts of ammonia. Proceedings of the 5th Int. Conference NOVATECH, Vol. 2, p. 919–926, Lyon, France.
- [23] Dauber, L., Novak, B. (1982): Quellen und Mengen der Schmutzstoffe im Regenabfluss einer städtischen Mischkanalisation, EAWAG Dübendorf.
- [24] Boller, M., Kaufmann, P., Ochsenbeim, U., Steiner, M., Langbein, S. (2003): Schadstoffe im Strassenabwasser einer stark befahrenen Strasse und deren Retention mit neuartigen Filterpaketen aus Geotextil und Adsorbermaterial. Versickerung von Strassenabwasser über das Bankett. 1. Zwischenbericht der Forschungsprojekte, p. 32, EAWAG, Dübendorf.
- [25] U.S. EPA. (1998): Sewer and Tank Sediment Flushing: Case Studies, EPA/600/R-98/157, Washington DC 20460, USA.
- [26] Schilling, W. (1995): Abflusssteuerung in einem kleinen Kanalnetz, Gas-Wasser-Abwasser, 4/1995, S. 321–328.
- [27] Schilling, W. (1991): Leitfaden Abflusssteuerung – Planung, Entwurf und Betrieb, ATV

Projekt «STORM»: Abwassereinleitungen aus Kanalisationen bei Regenwetter

- Dokumentation und Schriftenreihe aus Wissenschaft und Praxis, Nr. 28, GFA, St. Augustin, ISBN 3-927729-14-0.
- [28] *Krejci, V.* (1991): Sieb- und Rechenanlagen für Behandlung von Regenüberläufen aus Mischkanalisation in der Schweiz, in: Anforderungen an die Regenwasserbehandlung bei Mischkanalisation, Universität Kassel, p. 201–214.
- [29] *Rossi, L.* (2004): Modélisation des matières en suspension (MES) dans les rejets urbains en temps de pluie, Gas-Wasser-Abwasser, Nr. 10, p. 753–761.
- [30] *Fuchs, S., Brombach, H., Weiss, G.* (2004): New database on urban runoff pollution; Conf. Proceedings Novatech, Vol. 1, p. 145–152, Lyon, France.
- [31] *Weiss, G.J., Brombach, H., Bauer, T.* (1998): Vortex separator for stormwater treatment: applications, dimensioning, performance. Conf. Proceedings Novatech, Vol. 1, p. 491–498, Lyon, France.
- [32] *Egarr, D.A., Faram, M.G., O'Doherty, T., Syred, N.* (2004): An investigation into the factors that determine the efficiency of a hydrodynamic vortex separator. Conf. Proceedings Novatech, Vol. 1, p. 61–68, Lyon, France.
- [33] *Luyckx, G., Vaes, G., Berlamont, J.* (1998): Experimental investigation on the efficiency of a hydrodynamic separator. Conf. Proceedings Novatech, Vol. 1, p. 443–450, Lyon, France.
- [34] *Weiss, G., Brombach, H.* (2000): Regenwasserbehandlung mit Wirbelabscheidern, KA – Wasserwirtschaft, Abwasser, Abfall, Nr. 12, p. 1793–1800.
- [35] *Okamoto, Y., Kunugi, M., Tsuchiya, H.* (2002): Numerical Simulation of the Performance of a Hydrodynamic Separator, In: Global Solution for Urban Drainage, edited by E.W. Strecker and W. C. Huber, Proceedings of the 9th Int. Conference On Urban Drainage, Portland, OR 97204, USA
- [36] *LfU Baden-Württemberg* (1997): Wirbelabscheideranlagen – Les installations de séparation par effet vortex: Hinweise zu Entwurf und Bemessung, Handbuch Wasser 4, Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, ISSN 0940-0272.
- [37] *Daligault, A., Meaudre, D., Arnault, D., Duc, V., Bardin, N., Aires, N., Biau, D., Schmid, J., Clement, P., Viau, J.-Y.* (1998): Eaux pluviales et dépollueurs: efficacité et réalité. Conf. Proceedings Novatech, Vol. 1, p. 471–479, Lyon, France.
- [38] *Wood, J., Yang, M., Rochefort, Q., Chessie, P., Marsalek, J., Seto, P., Kok, S.* (2004): Feasibility of stormwater treatment by conventional and lamellar settling with and without polymeric flocculant addition, Conf. Proceedings Novatech, Vol. 1, p. 227–234, Lyon, France.
- [39] *Baumgartner, J.* (2001): Assainissement du Plateau de Frontenex: Etude du rendement du décanteur particulaire. Lausanne, EPFL: 56 pp + annexes.
- [40] *Born, W.* (2002): Weitergehende Mischwasserbehandlung in Bodenfilterbecken, in: Schriftenreihe der Fachgebiete Siedlungswasserwirtschaft und Abfallwirtschaft, Universität – Gesamthochschule Kassel.
- [41] *Dittmer, U., Welker, A., Schnitt, T.G.* (2004): Optimizing the Operation of Constructed Wetlands for the Treatment of Combined Sewer Overflows, Conf. Proceedings Novatech, Vol. 1, p. 211–218, Lyon, France.
- [42] *Kutzner, R., Mietzel, T., Mang, J., Geiger, W.F.* (2004): Efficiency of a treatment train consisting of an inline retention sewer and a wetland. Conf. Proceedings Novatech, Vol. 1, p. 219–226, Lyon, France.
- [43] *Pettersson, T.J.R., Svensson, G.* (1998): Particle removal in detention ponds modelled for a year of successive rain events. Conf. Proceedings Novatech, Vol. 1, p. 567–574, Lyon, France.
- [44] *Brunner, P.G.* (2002): Bodenfilter zur Regenwasserbehandlung im Misch- und Trennsystem, LfU Baden-Württemberg, Karlsruhe.
- [45] *Uhl, M.* (2003): Retentionsbodenfilter – Handbuch für Planung, Bau und Betrieb, MUNLV Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf.
- [46] *Plum, V., Dahl, C.P., Bentsen, L., Petersen, C.R., Napstjert, L., Thomsen, N.B.* (1998): The Actiflo method, Water Science and Technology, Vol. 37, No. 1, p. 269–275, IWA Publishing.
- [47] *Lainé, S., Poujol, T., Baron, J., Robert, P., Tabuchi, J.-P.* (1998): Dépollution physico-chimique et bactériologique des effluents urbains de temps de pluie par aéroflottation-filtration-désinfection UV. Conf. Proceedings Novatech, Vol. 1, p. 371–378, Lyon, France.
- [48] *Munz, W.* (1966): Die Wirkung verschiedener Gewässerschutzmassnahmen auf den Vorfluter, Schweizerische Zeitschrift für Hydrologie, Vol. 28, Fasc. 2, p. 184–237.
- [49] *EAWAG* (1979): Regionale abwassertechnische Studie Glattal, Teil III: Gewässerzustand bei Regenwetter, Dübendorf/ZH.
- [50] *Londong, D., Nothnagel, A.* (1999): Bauen mit Regenwasser, Oldenbourg Industrieverlag, München.
- [51] *Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen* (2002): Richtlinien für Zuwendungen zu wasserwirtschaftlichen Vorhaben Bayern (RZWass2000), München.
- [52] *Hessisches Ministerium für Umwelt Landwirtschaft und Forsten* (2002): Verordnung über pauschale Investitionszuweisungen zum Bau von Abwasseranlagen vom 26.04.2002.
- [53] *BUWAL* (2003): Kosten der Abwasserentsorgung – Coûts de l'assainissement, Mitteilungen zum Gewässerschutz Nr. 42.
- [54] *Krejci, V., Burkhalter, H.* (2000): Kosten-Nutzen-Überlegungen im Zusammenhang mit Gewässerschutzmassnahmen bei Regenwetter, EAWAG-PEAK Kurs Der GEP-Zustandsbericht Gewässer, Kursteil 2, 27.–29. Juni 2000.
- [55] *Conradin, F., Steiner, H.R.* (1988): Das Projekt, in: Regenbecken Werdinsel Zürich 1983–1988, Tiefbauamt der Stadt Zürich.
- [56] *Entsorgung + Recycling Zürich* (2004): Unveröffentlichte Betriebsangaben.

Keywords

Massnahmen – Auswahl – Beurteilung – Entscheidung – Kostenwirksamkeit

Adresse der Autoren

Vladimir Krejci, Dr.sc.tech.
Lindenstrasse 90
CH-8738 Uetliburg
Tel. +41-55-280 33 92
Fax +41-55-280 36 61
hydrokrejci@tiscalinet.ch

Prof. Dr. Markus Boller
EAWAG
CH-8600 Dübendorf/ZH
Tel. +41-55-823 50 47
markus.boller@eawag.ch

Luca Rossi, Dr.sc.tech.
EAWAG
CH-8600 Dübendorf/ZH
Tel. +41-55-823 53 78
luca.rossi@eawag.ch