

Konzepte des Gewässerschutzes*

Concepts de la protection des eaux

La planification actuelle des stations d'épuration en Suisse est orientée vers la protection du milieu récepteur. Ces mesures doivent être planifiées de façon semblable pour les déversements en temps de pluie (déversoirs d'orage et eaux de ruissellement). Par conséquent, la stratégie de type «émission» appliquée jusqu'à maintenant doit être remplacée par une stratégie de type «immission». Pour la mise en place de ce nouveau concept, de nouvelles connaissances et expériences scientifiques en Suisse et à l'étranger doivent être transférées dans la pratique. La transition entre la précédente et la future stratégie doit être accompagnée par des mesures administratives.

Protection of Receiving Waters – Concepts

Present planning of wastewater treatment plants in Switzerland is focussed on the protection of receiving waters. Wet-weather water protection measures have to be planned similarly. Therefore, the current emission based wet-weather pollution control strategy has to be replaced by an immission based one. In order to realise this concept, updated scientific knowledge and experiences from Switzerland and from abroad have to be transferred into practice. The transition from the past to the future strategy has to be introduced by administrative measures.

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

Vladimir Krejci



Die gegenwärtige Planung von Kläranlagen in der Schweiz wird konsequent auf identifizierte Gewässerschutzprobleme ausgerichtet. Ähnlich sollen auch die Massnahmen im Zusammenhang mit Abwassereinleitungen aus Kanalisationen bei Regenwetter geplant werden. Deswegen soll die bisher mehrheitlich angewandte Emissionsstrategie zunehmend durch die Immissionsstrategie ersetzt werden. Bei der Realisierung dieser Konzeption sollen neue wissenschaftliche Erkenntnisse und Erfahrungen aus dem In- und Ausland laufend in die Praxis übertragen werden. Der Übergang von der bisherigen zu der künftigen Strategie muss durch administrative Massnahmen eingeleitet werden.

1. Einleitung

Die konzeptuelle Lösung der Regenwasserbehandlung in der Schweiz wird durch die Generelle Entwässerungsplanung bestimmt. Gemäss der GEP-Richtlinie [1] ist die Planung der Siedlungsentwässerung *integral* («von der Siedlung bis ins Gewässer und Grundwasser»), *lokalspezifisch* (individuell für jede Siedlungslokalität und sein/-e Vorfluter) und *problemorientiert* (Lösungen durch gezielte Massnahmen) zu bearbeiten. Dies bedeutet, dass der Planer die bestehenden Probleme identifizieren und deren Ursachen erkennen und verstehen muss, bevor er konkrete Lösungen vorschlägt. Da neben den technischen

Projekt «STORM»: Abwassereinleitungen aus Kanalisationen bei Regenwetter

Problemen auch ökologische Probleme auftreten, die z.T. über das Fachgebiet des Ingenieurs hinausgehen, muss der Planer mit Fachleuten aus anderen Bereichen (mit Gewässerbiologen, Chemikern etc.) zusammenarbeiten.

2. Emissions- und Immissionsstrategie

Gemäss Definition entspricht der Begriff «*Emission*» der Abgabe von schädigenden Stoffen, Strahlen, Schall und Erschütterungen an die Umwelt. Das Emissionsprinzip stellt eine sogenannte «End of Pipe»-Strategie dar. Im Zentrum der Betrachtung steht das, was aus dem Auslauf der Kanalisation («End of Pipe») austritt. Das Gewässer selbst wird hingegen nicht betrachtet. Wichtige Parameter der Emissionsstrategie sind also Konzentrationen und Mengen von aus der Kanalisation austretenden Schadstoffen, nicht jedoch deren Auswirkungen auf die Vorflut.

Unter «*Immission*» ist die *Einwirkung* von abgegebenen Stoffen, Strahlung, Schall und Erschütterungen auf Menschen, Tiere und Gegenstände zu verstehen. Das Immissionsprinzip folgt einer integrierten Betrachtungsweise unter Einbezug der Vorflut und deren spezifischen Anforderungen. Im Zentrum stehen bei diesem Ansatz die Auswirkungen der Siedlungsentwässerung auf das als Vorfluter dienende Gewässer. In der Immissionsstrategie sind die Parameter von zentraler Bedeutung, die die Beurteilung kritischer Situationen im Gewässer erlauben. Dies sind z.B.:

- die Art der Beeinträchtigung (z.B. stofflich-chemisch, hygienisch, mechanisch-hydraulisch, ästhetisch),
- die Intensität der Beeinträchtigung (z.B. Schadstoffkonzentra-

tionen, Grösse der Schleppspannung, Grösse der plötzlichen Temperaturveränderungen, Menge und Sichtbarkeit von Grobstoffen),

- die Dauer der Beeinträchtigung (Minuten, Stunden, Tage, Monate etc.),
- die Häufigkeit der Beeinträchtigung (jede Woche, mehrmals pro Jahr etc.),
- saisonal bedingte Einschränkungen (z.B. während der sensitiven Perioden für die Organismen, wie z.B. während der embryonalen Entwicklung von Fischen) sowie
- die Eigenheiten der Gewässer (z.B. Quellbach, kleines Fließgewässer, See), die Eigenschaften (Abfluss, Nährstoffgehalt, Artenvorkommen, Nutzung) und der Zustand (naturnah/verbaut, empfindlich/unempfindlich).

Emissionsorientierte Regelwerke arbeiten nur mit Parametern des urbanen Einzugsgebiets sowie mit statistischen Regenauswertungen oder historischen Regenreihen. Immissionsorientierte Bemessungsregeln beziehen im Unterschied dazu zusätzlich noch die Parameter der Vorfluter und eventuell die darin ablaufenden Prozesse in die Bemessung mit ein. Der Hauptunterschied zwischen beiden Betrachtungsweisen liegt also in der Lage der Systemgrenze des Systems «Siedlungsentwässerung».

In Zukunft soll versucht werden – so weit dies die Kenntnisse erlauben – den Emissionsansatz durch den *Immissionsansatz* zu ersetzen und diese Strategie bei der Massnahmenplanung durchzusetzen. Diese Umstellung wird aus verschiedenen objektiven und subjektiven Gründen nicht einfach sein. Zu den objektiven Gründen gehört die Komplexität und die beschränkten Kenntnisse dieser Problematik. Zu den subjektiven Gründen gehört

die Tatsache, dass heute die Ingenieure und Naturwissenschaftler nicht optimal auf immissionsorientierte Lösungen vorbereitet sind und v.a. Ingenieure eindeutig definierte Lösungen bevorzugen.

3. Emissions- und Immissionsansatz im letzten Jahrhundert

Die Problematik der Gewässerbelastung durch Abwassereinleitungen bei Regenwetter ist nicht neu. Insbesondere die Bedeutung von Mischwasserentlastungen und der «Regenwasserkläranlagen» für den Gewässerschutz führt seit der Einführung der Regenentlastungsanlagen zu heftigen Diskussionen. In den folgenden Abschnitten wird versucht, die wichtigsten Entwicklungsphasen auf diesem Gebiet zu charakterisieren. Diese Charakteristik stellt keinesfalls eine präzise Dokumentation der historischen Entwicklung dar, die Autoren versuchen vor allem die Rahmenbedingungen und deren Einfluss auf die Entwicklung dieses Fachbereiches zu beschreiben und diese Informationen als Basis für die Diskussion der künftigen Entwicklung zu verwenden. Die (subjektive) Einteilung in die drei Entwicklungsperioden soll helfen die beschriebene Entwicklung zu strukturieren.

3.1 Von der Einführung der Schwemmkanalisation bis zur Mitte des 20. Jahrhunderts

Die Periode wurde v.a. durch Erstinvestitionen in der *Siedlungsentwässerung* geprägt. Der Fachbereich wurde als Gesundheitsingenieurwesen bezeichnet und die Sicherstellung der Gesundheit, der Hygiene und auch der Gewässerschutz im Zusammenhang mit der Fischerei waren die wichtigsten Gründe für die abwassertechnischen Massnahmen. Die wichtigsten Abwasserparameter waren gelöste und kolloidale (BSB₅) sowie partikuläre (Schlamm) organische Stoffe, der wichtigste Gewässerparameter war der Sauerstoff. Im Zusammenhang mit der Regenwettersituation spielte die «Verdünnung» des Trockenwetteranfalls in der Kanalisation die zentrale Rolle (Emissionsansatz). Teilweise wurde jedoch auch die Verdünnung des Mischwassers in Fließgewässern im Hinblick auf die Sicherstellung der minimalen Sauerstoffkonzentration berücksichtigt (Immissionsansatz) (*Kasten 1*).

Forscht man nach Erfolgskontrollen ausgeführter Regenüberlaufbauwerke auf die Vorfluter, fällt auf, dass eine verminderte Wir-

Projekt «STORM»: Abwassereinleitungen aus Kanalisationen bei Regenwetter

In England bestand schon vor mehr als hundert Jahren die allgemeine Vorschrift, dass Regenüberlaufbauwerke erst in Tätigkeit treten dürfen, wenn die sechsfache Trockenwetterabflussmenge erreicht wird. In Deutschland galt lange als «vielfach unerschütterliches Dogma», dass die fünffache Verdünnung erreicht sein müsse, ehe eine Entlastung eintritt [2].

Kasten 1

kung auf Gewässerbeeinträchtigungen nicht immer bestätigt wurde. Aus der Diskussion und der Dokumentation dieser Problematik (z.B. Umfrage bei nahezu 60 deutschen Städten) geht hervor, dass «keine einheitlichen Vorstellungen darüber herrschen, wie die Wirkungsweise der Regenüberfallbauwerke zu beurteilen ist» [2].

Trotzdem hat man sich vor dem Zweiten Weltkrieg mindestens sporadisch bemüht, bei der Bemessung von Regenüberlaufbauwerken die lokalen Verhältnisse im Vorfluter zu berücksichtigen (Kasten 2).

Kurz vor dem Zweiten Weltkrieg wurde ein Vorschlag für die «Bestimmung der Verdünnungszahl n im Regenauslass auf Grund der zulässigen Verdünnungszahl m im Vorfluter veröffentlicht. Die Verdünnungszahl m wurde auf Grund der zulässigen minimalen Sauerstoffkonzentration in einem bestimmten Vorfluter berechnet. Im dokumentierten Beispiel wurde die zulässige minimale Sauerstoffkonzentration mit $3 \text{ mg O}_2/\ell$ bestimmt und für die Berechnung der Mischwasserverdünnung im Vorfluter wurde der langjährige Mindestdurchfluss im Vorfluter angenommen. Als massgebender Trockenwetteranfall in der Kanalisation galt der Wert Q_{18} , die organischen Stoffe wurden zu $\frac{2}{3}$ als Schwebstoffe, zu $\frac{1}{3}$ als gelöste Stoffe angenommen [3].

Kasten 2

Auch bei der Bearbeitung des ersten Generellen Kanalisationsprojektes in der Gemeinde Fehraltorf/ZH im Jahre 1943 wurden die sogenannten «Mischungszahlen» unter Berücksichtigung des Vorfluters (Kempt) bestimmt. Für die drei vorgeschlagenen Regenauslässe resultierten daraus drei verschiedene «Mischungszahlen», die auch für verschiedene

Überbauungsvarianten der Siedlungsfläche und der Kanalisation berechnet worden sind [4].

Diese Beispiele zeigen, dass es bereits vor mehr als 60 Jahren einige Fachleute gab, die entsprechend der damaligen Art der Gewässerbelastung plausible und immissionsorientierte Lösungen anbieten konnten.

3.2 Fünziger bis siebziger Jahre des 20. Jahrhunderts

Für die Entwicklung dieser Problematik nach dem Zweiten Weltkrieg hatte die systematische Untersuchung des *Mischwassers* in Northampton (England) eine grosse Bedeutung für die Schweiz. Zwischen Februar 1960 und Januar 1962 wurden im Mischwasser Konzentrationen von verschiedenen Inhaltsstoffen (TSS, KMnO_4 , BSB_5 , $\text{NH}_4\text{-N}$ und Chloride) gemessen und für verschiedene Verdünnungsverhältnisse des Trockenwetteranfalls die jährliche Fracht aus einem fiktiven Regenüberlauf berechnet [5]. Diese Untersuchung wurde unabhängig vom Vorfluter durchgeführt («*It is emphasized that no account is taken of the effects that the discharge of storm water would produce in the receiving stream, [...]*») und stellte in den folgenden Jahren eine wichtige Grundlage für den Emissionsansatz bei der Regenwasserbehandlung dar.

Die Untersuchungen in Northampton wurden als wichtige Grundlage für die Forschungsarbeiten an der EAWAG verwendet. Aus der Zusammenfassung der ausführlichen Publikation über die Wirkung von verschiedenen Massnahmen auf den Gewässerzustand bei Regenwetter kann eine der wichtigsten Aussagen zitiert werden, die über Jahrzehnte einen Einfluss auf Gewässerschutzstrategie in der Schweiz hatte: «*Die besten Resultate ergeben sich, wenn zwischen me-*

chanischer und biologischer Stufe keine Entlastung angeordnet ist (also z.B. 1+1 durch Kläranlage) und die Regenbecken möglichst gross gehalten werden» [6]. Die «Emission der Jahresfracht» ist zur wichtigsten Kenngrösse dieser Emissionsstrategie und zur Grundlage der Massnahmenplanung geworden.

In den sechziger und siebziger Jahren wurde die bisher dominante Rolle des traditionellen Gesundheitsingenieurs im Bereich der Abwassertechnik in Frage gestellt. Mit der Einführung der weitergehenden Abwasserreinigung gewannen die Verfahrens- und Chemieingenieure im Bereich der Abwasserreinigung zunehmend an Bedeutung. Mit der Einführung von hydrologischen und hydraulischen Simulationsmodellen in der Kanalisationstechnik ist auch das Interesse von Hydrologen und Hydraulikern für dieses Fachgebiet gestiegen. Diese Fachleute haben jedoch selten untereinander kommuniziert und dadurch kam es im Abwasserbereich zu einer unerwünschten Trennung zwischen den Teilbereichen Kanalisation und Abwasserreinigung.

In den sechziger und siebziger Jahren wurden in den USA zahlreiche Informationen über die Belastungssituationen in Kanalisationen bei Regenwetter gewonnen und über verschiedene Modelle in Simulationsprogrammen eingebaut [7, 8 und 9]. Diese Projekte wurden v.a. von Ingenieuren und Hydrologen bearbeitet. Nur selten haben auch Naturwissenschaftler mitgewirkt. Im Vordergrund der Untersuchungen stand eindeutig das «technische Entwässerungssystem» (Kanalisationen und deren Sonderbauwerke), was auch die einseitige Zusammenfassung der Themen zugunsten der technischen Bereiche an wissen-

Projekt «STORM»: Abwassereinleitungen aus Kanalisationen bei Regenwetter

schaftlichen Konferenzen und in Publikationen beweist (Kasten 3).

Die ungenügende Kommunikation zwischen den Ingenieuren (Hydrologen) und den Naturwissenschaftlern hat zur «Zementierung» der Emissionsstrategie auf diesem Gebiet beigetragen. Diese Tatsache hat auch ein Echo in den Richtlinien für die Planung und Bemessung von Anlagen zur Regenwasserbehandlung gefunden [12, 13].

3.3 Die letzten 20 Jahre

Die letzte Periode dieser Entwicklung kann durch den Trend zur «Integrierten Siedlungsentwässerung» charakterisiert werden. Die in den sechziger und siebziger Jahren entwickelten Kenntnisse von Spezialisten in einzelnen Fachnissen sollten durch interdisziplinäre Kommunikation und Zusammenarbeit v.a. zur Lösung von konzeptuellen Aufgaben beitragen.

Allen Beteiligten im Bereich der Siedlungsentwässerung war klar, dass der Einbezug der Kläranlagen und der Gewässer bei «integralen Lösungen» unumgänglich ist. Allerdings war diese Problematik nicht nur für die Ingenieure, sondern auch für viele Naturwissenschaftler neu und deswegen lief dieser Prozess wesentlich langsamer ab als z.B. die Entwicklung von hydrologischen und hydraulischen Simulationsmodellen in der vorangehenden Periode.

In den achtziger und neunziger Jahren sind jedoch die Biologen bei der Diskussion des Themas «Kanalisationseinleitungen bei Regenwetter» aktiver geworden [z.B. 14, 15, 16, 17, 18 u.v.a.] und an den siedlungshydrologischen Konferenzen wurde dieser Problematik wesentlich grössere Aufmerksamkeit als bisher gewidmet. Im Jahre 2001 wurde in den USA den Beziehungen zwischen

Porcella and Sorensen [10] haben 1200 wissenschaftliche Publikationen auf dem Gebiet der Siedlungshydrologie ausgewertet und dabei gefunden, dass nur 2% der Beiträge den ökologischen Aspekten der Gewässerbeeinträchtigung durch Siedlungsentwässerung gewidmet wurden. 40% der Beiträge haben sich mit der Modellierung der Regen-Abfluss-Prozesse befasst, 35% der Beiträge wurden den Regen-Abfluss-Messungen gewidmet und 23% haben über chemische Untersuchungen in Gewässern bei Regenwetter berichtet.

Acht Jahre später, an der IV. Int. Conference on Urban Storm Drainage im September 1987 in Lausanne, wurde nur ein Beitrag präsentiert, der sich direkt mit der ökologischen Beeinträchtigung der Gewässer durch die Siedlungsentwässerung befasste [11].

Kasten 3

der Siedlungsentwässerung und dem Gewässer eine spezielle Konferenz gewidmet [19]. Aus neuen Arbeiten konnten auch praktische Hinweise für die Planung von immissionsorientierten Massnahmen gewonnen werden. Dazu gehören z.B. die Angaben zur Beurteilung der kritischen O_2 -Konzentrationen [20], der akuten NH_3 -Toxizität [21] oder die Angaben zur tolerierbaren hydraulischen Belastung der Biozönose in kleinen Fliessgewässern [22]. Allerdings sind die neuen Erkenntnisse (abgesehen von einigen Ausnahmen) in der praktischen Siedlungsentwässerung noch zu wenig berücksichtigt worden.

Der Immissionsansatz wurde in den letzten 20 Jahren auch durch legislative und administrative Instrumente unterstützt. Insbesondere in der Schweizer Gewässerschutzverord-

nung, GSchV [23] sind zahlreiche Anforderungen formuliert, die durch Kanalisationseinleitungen bei Regenwetter verletzt werden können. Auch die VSA-Richtlinie über die Generelle Entwässerungsplanung [1] und die Empfehlung zur Bearbeitung von Regionalen Entwässerungsplänen [24] unterstützen eindeutig den Einsatz von problemorientierten, gewässerbezogenen Massnahmen. Im europäischen Massstab ist es die Wasserrahmenrichtlinie (momentan das wichtigste Instrument, das auf dem Gewässerschutzgebiete die nationalen legislativen Instrumente der Mitgliedstaaten prägt), die praktisch die gleiche Strategie wie die Schweizer Instrumente unterstützt. Alle oben erwähnten Instrumente mit ihren verbal formulierten Anforderungen sind wichtig, sie können jedoch für die praktische Ingenieurarbeit nur teilweise benutzt werden. Für die praktische Anwendung sind geeignete Indikatoren und deren numerisch formulierte Grössen unumgänglich.

4. Beispiele der Planungspraxis

Die folgenden Beispiele sollen die unterschiedlichen Konzepte in zwei gegenwärtig gültigen Richtlinien dokumentieren. Das Schweizer Beispiel der Mischwasserbehandlung nach [12] dokumentiert die mehrheitlich emissionsorientierte Strategie. Das englische Beispiel [25] dokumentiert die gegenwärtige Tendenz, die Immissionsüberlegungen in den technischen Richtlinien zu berücksichtigen. Das Beispiel aus den USA dokumentiert einen Versuch um eine umfassende, problemorientierte Lösung, allerdings ohne klare Unterstützung der Immissionsstrategie. Die gegenwärtige Strategie zur Lösung dieser Problematik basiert in den meisten europäischen Ländern vorwiegend auf dem Emissionsansatz.

4.1 Empfehlungen vom AfU, 1977 [12]

Anhand von bisherigen Erfahrungen und neuen Regen-Abfluss-Simulationen von W. Munz (EAWAG) konnten neue Vorschläge für die Bemessung von Entlastungsanlagen vorgelegt werden [26, 27]. Diese Vorschläge wurden in den «Empfehlungen für die Bemessung und Gestaltung von Hochwasserentlastungen und Regenüberlaufbecken [12] zusammengefasst. Die wichtigste konzeptuelle Neuerung in der erwähnten Empfehlung war die Einführung eines «Überlaufkennwerts» (weiter als «U-Wert» bezeichnet), mit dem die Gewässerempfindlichkeit, der Landschaftsschutz und

Projekt «STORM»: Abwassereinleitungen aus Kanalisationen bei Regenwetter

der Erholungswert der Umgebung infolge der Mischwassereinleitung («minimale», «durchschnittliche», «hohe» oder «extrem hohe» Ansprüche) berücksichtigt werden sollte (Tab. 1).

Anforderung der Vorflut	Überlaufkennwert
Minimal	20
Durchschnittlich	30
Hoch	40
Extrem hoch	50

Tab. 1 Die Anforderungen an den Vorfluterschutz und ihre entsprechenden U-Werte [28].

Die neu vorgeschlagene Berechnungsmethode erlaubte, differenziert auf die verschiedenen Funktionen der *Regenüberlaufbecken* wie Speichern, Klären und Fangen einzugehen [28]. Ferner berücksichtigte diese Empfehlung die Dimensionierung von hintereinander angeordneten Regenbecken sowie die Anwendung eines neuen Beckentyps, des Verbundbeckens. Bei der Dimensionierung wurde auch das passive Speichervolumen in der Kanalisation oberhalb der Entlastungsstelle berücksichtigt.

Die praktische Anwendung dieser Empfehlungen ist sehr einfach: Sie wurden von der Praxis positiv aufgenommen und wurden im Allgemeinen in der ganzen Schweiz angewendet.

Der U-Wert hatte einen entscheidenden Einfluss auf die Dimensionierung der Entlastungsanlagen, allerdings ohne genügende Berücksichtigung der Ursachen und der Wirkung von tatsächlichen Problemen in Gewässern. Es existiert keine Methodik, die aufgrund gewässerbiologischer Kenngrössen jeder Vorflut eindeutig einen passenden U-Wert zuzuweisen vermag. Der U-Wert ist ökologisch nicht abgesichert und somit bleibt die Abschätzung dieser Kenngrösse immer eine Frage persönlichen Ermessens. Hierin spiegelt sich die Tatsache wider, dass Ingenieure und Biologen die Gewässer aus einem grundsätzlich unterschiedlichen Blickwinkel betrachten: Der Ingenieur erwartet vom Biologen genaue Angaben darüber, bis zu welchem Ausmass Belastungen in der Vorflut tolerierbar sind, idealerweise in Form des U-Werts oder einer ähnlichen Kenngrösse, die direkt in einer seiner Bemessungsformeln Eingang findet. Die Komplexität der Gewässerökosysteme verunmöglicht es dem Biologen allerdings nahezu, zulässige Vorfluterbelastung durch Regenüberläufe quantitativ zu formulieren.

Die Funktionen Speichern, Klären und Fangen bei der Wahl und Dimensionierung von Becken wurden anhand von einfachen Parametern des Einzugsgebiets und der Kanalisation charakterisiert. Diese Parameter und deren Werte wurden anhand von Simulationsberechnungen in «mittleren Schweizer Verhältnissen» ermittelt und für die Empfehlungen verallgemeinert. Ähnlich wurden auch die Empfehlungen zur Dimensionierung von hintereinander angeordneten Anlagen ermittelt. Die gegenwärtigen Modelle und Simulationsprogramme erlauben jedoch eine wesentlich genauere Berücksichtigung von lokalen Verhältnissen und deswegen gelten diese Empfehlungen diesbezüglich als nicht mehr zeitgemäss.

In den Empfehlungen wurden erforderliche Leistungen (Zurückhaltung der Schmutzfrachten) der Anlagen nicht explizit formuliert, obwohl die Bemessung der Anlagen auf Leistungsüberlegungen basieren. Diese Leistungen sind in Bemessungsformeln «versteckt», weshalb es schwierig ist, die Leistungen der Anlagen im Sinne einer Erfolgskontrolle zu überprüfen. Die zulässigen in die Vorflut entlasteten Schmutzfrachten und Mischwassermengen bleiben unbekannt. Deshalb leitete A. Hörler ein Bemessungsverfahren her, welches den Einfluss der *Drosselung* (r_{ab}) und des spezifischen *Beckeninhalts* (i) auf die Überlaufmengen von Mischwasser und entlasteten Schmutzfrachten mathematisch beschreibt. Mit dieser Methode kann beispielsweise eine *Überlauffracht* gewählt (z.B. 20% der jährlichen Regenabflussfracht) und das dafür benötigte Rückhaltevolumen abgeschätzt werden. Die Einflüsse von Entlastungen auf die Lebensgemeinschaften in den Gewässern werden von Hörler jedoch nicht betrachtet. Das

heisst, er macht keine Aussagen über die Grösse der Frachtbelastung, die im entsprechenden Vorfluter tolerierbar ist. Nach welcher zulässigen Entlastungsfracht die Regenbecken sinnvollerweise dimensioniert werden sollen, bleibt in diesem Verfahren also offen [29, 30].

4.2 Konzept der Regenwasserbehandlung in Grossbritannien

In Grossbritannien wird mit dem «Urban Pollution Management Manual», kurz *UPM Manual* [25], die Strategie der «Integrierten Siedlungsentwässerung» verfolgt. Ein Grundprinzip des britischen Gewässerschutzes besteht darin, dass die Grenzwerte, welche die einzelnen Entlastungen einhalten müssen, so gewählt werden, dass die jeweilige Gewässernutzung durch den Schadstoffeintrag keine nachteiligen Folgen erleidet. Das bedeutet, dass für ein Gewässer je nach Art der Nutzung Qualitätsziele festgelegt werden – im Gegensatz zur Schweiz, wo alle Gewässer gleich behandelt werden müssen. Im Vordergrund stehen hier der Schutz der *aquatischen Ökosysteme*, der Schutz der *Badegewässer* und die Gewährleistung der *Erholungsnutzung*. Anschliessend werden Immissionsgrenzwerte in Form von Schadstoffkonzentrationen definiert, bei deren Einhaltung die gewünschte Nutzung gewährleistet ist.

In Grossbritannien kommen zwei verschiedene Arten von Grenzwerten zur Anwendung: (1) Emissionsgrenzwerte bezüglich Abfluss aus Überläufen können Überlaufhäufigkeiten, jährliche Entlastungsfrachten etc. betreffen und (2) Immissionsgrenzwerte, die sich auf das Vorflutgewässer beziehen und in diesem beispielsweise maximal oder minimal zulässige Konzentrationen definieren (z.B. für NH_3 oder für

Projekt «STORM»: Abwassereinleitungen aus Kanalisationen bei Regenwetter

O₂). Die meisten britischen Grenzwerte zum Schutz der Gewässer, stellen Immissionsgrenzwerte dar.

4.2.1 Schutz der aquatischen Ökosysteme

Um den Lebensraum «Gewässer» bei Regenwetter wirksam zu schützen, bestehen zwei verschiedene Ansätze:

- I. Grenzwerte für Stossbelastungen mit direktem Bezug auf Überlaufereignisse (Konzentration-Dauer-Grenzwerte in Funktion der Wiederkehrhäufigkeit) oder
- II. percentilbasierte Grenzwerte ausgedrückt in Konzentrationen als 90%-, 95%- oder 99%-Perzentile.

Der *erste Ansatz*, die Konzentration-Dauer-Grenzwerte, basiert auf Toxizitätstests mit Fischen. Diese Grenzwerte werden aus der NOEC («No Observed Effect Concentration») und der LC50 («Lethal Concentration») interpoliert. Die NOEC entspricht derjenigen Konzentration, die bei langfristiger Einwirkung keine nachweisbaren nachteiligen Effekte bei den untersuchten Organismen verursacht. Die LC50 entspricht derjenigen Konzentration, bei der während einer bestimmten Einwirkungsdauer 50% der Population abstirbt. Bei der Interpolation muss die Jährlichkeit der LC50 mindestens die Regenerationszeit der Fischpopulation aufweisen.

Der *zweite Ansatz* beruht auf percentilbasierten Grenzwerten. Eine 99%-Konzentration als Beispiel bedeutet, dass der vorgegebene Grenzwert nur während 1% der Zeit überschritten werden darf. In Grossbritannien werden alle Vorfluter je nach Nutzung in fünf Klassen von Fliessgewässer-Ökosystemen unterteilt, für die unterschiedliche Belastungen toleriert werden (Tab. 2).

4.2.2 Schutz der Badegewässer

Zum Schutz der Badegewässer gibt das UPM Manual zwei Ansätze an, um die Badequalität zu gewährleisten: Richtlinien für Überlaufhäufigkeiten und risikobasierte Grenzwerte für bakteriologische Verunreinigungen. Als einflussreicher Faktor für die Gefährdung der Badeplätze durch Entlastungen wird zudem der Abstand des Überlaufs vom Badesufer erwähnt. Die Richtlinien für Überlaufhäufigkeiten erlauben eine gewisse Anzahl von Entlastungen pro Badesaison (z.B. 3). Der risikobasierte Ansatz zielt auf die Begrenzung der koliformen Bakterien in den Gewässern ab (Tab. 3).

4.2.3 Gewährleistung der Erholungsnutzung

Entlastungen von Mischsystemen beeinträchtigen die Erholungsnutzung von Gewässern in erster Linie durch ästhetische Verunreinigungen, die eindeutig dem Abwasser zugeordnet werden können. Diese sind übler Geruch, Verfärbung und Feststoffe. Momentan sieht das UPM Manual einzig die Feststoffe als Kriterium zum Schutz der Erholungsnutzung von urbanen Gewässern vor. Im UPM Manual werden die Anforderungen an die Mischwassereinleitung an die Intensität der Nutzung angepasst (Tab. 4).

4.3 Mischwasserbehandlung in den USA

Die Grundlagen der amerikanischen Regeln für die Regenwasserbehandlung im Mischsystem sind in der «Guidance for Long-Term Control Plan» [31] beschrieben. Die Basis für die Bewilligung einer Mischwassereinleitung stellen die so genannten «Nine Minimum Controls» dar [31, 32]:

Gewässer- ökosystem- Klasse	CSB 99%-Perzentil [mgCSB/l]	NH ₃ /NH ₄ ⁺ -N 99%-Perzentil [mgN/l]	NH ₃ -N 99%-Perzentil [mgN/l]
Klasse 1	5,0	0,6	0,04
Klasse 2	9,0	1,5	0,04
Klasse 3	14,0	3,0	0,04
Klasse 4	19,0	6,0	keine Angabe
Klasse 5	30,0	25,0	keine Angabe

Tab. 2 Grenzwerte als Funktion der Güteklasse des Gewässers dargestellt.

Parameter	Schwellenwert [Anzahl/100 ml]	Überschreitungen [% pro Badesaison]
Fäkale koliforme Bakterien	2 000	1,8 %
Total koliforme Bakterien	10 000	1,8 %

Tab. 3 Risikobasierte Grenzwerte zur Gewährleistung der Badewasserqualität.

Anforderung an die Erholungsnutzung	Häufigkeiten der Entlastungen/Jahr	Anforderung an die Feststoffseparation
Hoch	> 1 ≤ 1	6 mm-Partikel abtrennen 10 mm-Partikel abtrennen
Mittel	> 30 ≤ 30	6 mm-Partikel abtrennen 10 mm-Partikel abtrennen
Gering oder keine	keine Angaben	Bemessung in Übereinstimmung mit den gängigen Empfehlungen

Tab. 4 Anforderungen an die Mischwasserentlastungen in Funktion der Nutzungsansprüche.

- I. Ordentlicher Betrieb und regelmässige Wartung des Kanalnetzes und der Regenüberläufe.
- II. Maximale Nutzung des Kanalnetzvolumens zur Abwasserspeicherung bei Regen.
- III. Untersuchung und Modifikationen von Vorbehandlungsanlagen, um sicherzustellen, dass die Gewässerbelastung minimiert wird.
- IV. Möglichst viel Regenwetterabfluss zur Kläranlage leiten.
- V. Überläufe der Mischkanalisation dürfen bei Trockenwetter nicht anspringen.
- VI. Rückhalt von absetzbaren und schwimmenden Stoffen an Regenüberläufen.
- VII. Vermeidung von Verschmutzungen im Entwässerungsgebiet.
- VIII. Öffentlichkeitsarbeit, hinreichende Informationen über das Auftreten und die Folgen von Überlaufereignissen.
- IX. Überwachung der Aktivität von Regenüberläufen mit Registriergeräten und Ermittlung des Wirkungsgrades der Regenwasserbehandlung.

Projekt «STORM»: Abwassereinleitungen aus Kanalisationen bei Regenwetter

Neben der kurzfristigen Erfüllung der oben genannten Punkte erwartet die EPA, dass die Gemeinden Langzeitpläne aufstellen, wie sie die Mischkanalisation weiterentwickeln wollen, um mit den legislativen Instrumenten im Einklang zu bleiben. Zu diesem Zweck werden zwei alternative Wege vorgeschlagen, ein Nachweisverfahren und die Erfüllung von Mindestanforderungen:

4.3.1 Nachweisverfahren (Demonstration Approach)

Der Antragsteller muss nachweisen, dass sein Regenwasserbehandlungskonzept den Vorgaben des *Clean Water Acts* [33] genügt. Auf die Erfüllung der Mindestanforderungen kann dann verzichtet werden. Der erforderliche Nachweis umfasst folgende Punkte:

- I. Die geplanten Massnahmen sind adäquat, die vorgegebenen Wassergüteziele zu erreichen, es sei denn, die Ziele lassen sich wegen anderer Vorbelastungen des Gewässers sowieso nicht erreichen.
- II. Die verbleibenden Entlastungen der Regenüberläufe beeinträchtigen die Gewässergüte nicht unzulässig.
- III. Die geplanten Massnahmen gewährleisten den bestmöglichen Schmutzfrachtrückhalt.
- IV. Die geplante Massnahme ist so angelegt, dass sie kostengünstig erweitert oder nachgerüstet werden kann, falls sich herausstellen sollte, dass die vorgegebene Gewässergüte nicht erreicht wurde.

4.3.2 Erfüllung von Mindestanforderungen (Presumption Approach)

Wenn die nachfolgend genannten Kriterien alle erfüllt werden, wird von der Aufsichtsbehörde bescheinigt, dass eine vernünftige und hinreichende Regenwasserbehandlung vorliegt. Auf weitergehende Nachweise mit Simulationsmodellen und Immissionsbetrachtungen wird dann verzichtet.

- I. Im Langzeitmittel darf kein Regenüberlauf öfters als 4-mal, mit Ausnahmegenehmigung 6-mal pro Jahr ansprechen. Als ein Überlaufereignis zählt ein zusammenhängendes Regenereignis, auch mit mehreren Entlastungen.
- II. Es müssen im Langzeitmittel bezogen auf das gesamte Kanalnetz mindestens 85%

des bei Regenwetter abfliessenden Abwassers auf der Kläranlage behandelt werden.

- III. Es muss durch Messungen, Simulationsrechnungen etc. nachgewiesen werden, dass die zurückgehaltene Schmutzfracht nicht kleiner ist, als wenn man nach dem 85%-Kriterium von Punkt II verfährt.

Das Verfahren zur Erfüllung von Mindestanforderungen wurde von den meisten Gemeinden gewählt. Es erscheint einfacher, übersichtlicher und schneller zum Erfolg zu führen [32].

5. Ausblick

Die Gewässerschutzlegislative in der Schweiz ist *immissionsorientiert*. Sowohl im Gewässerschutzgesetz, GSchG [34], als auch in der Gewässerschutzverordnung [23] werden Anforderungen formuliert, die durch die Kanalisationseinleitungen bei Regenwetter verletzt werden können. Allerdings sind in den bisherigen legislativen Instrumenten keine regenwetter-spezifischen, numerisch definierten Anforderungen aufgeführt, was im Hinblick auf die Unsicherheiten und auf die laufende Entwicklung richtig ist. Eine analoge verbale Formulierung der Gewässerschutzanforderungen gibt es auch in der Wasserrahmenrichtlinie der Europäischen Union [35]. Die Festlegung von geeigneten *Indikatoren* und deren *numerische Bewertung* gehört deswegen zu den dringenden Aufgaben nicht nur in der Schweiz, aber auch z.B. in den Ländern der Europäischen Union.

Die baldige Festlegung der numerisch definierten Anforderungen an die Abwassereinleitungen aus Kanalisationen bei Regenwetter ist für die Praxis unerlässlich. Im Hinblick

auf die existierenden Unsicherheiten ist es empfehlenswert diese Anforderungen nicht auf der legislativen Ebene, sondern auf einer tieferen, das heisst auf der *administrativen Ebene* (beispielsweise im Rahmen der kantonalen Vollzugshilfen oder der VSA-Richtlinien) einzuführen. Auf dieser Ebene können die neuen Erkenntnisse und eventuelle Anpassungen einfacher als auf der legislativen Ebene durchgeführt werden.

Die Übertragung von *ausländischen Erfahrungen* und *Erkenntnissen* auf Schweizer Verhältnisse ist nur teilweise möglich. Gegenwärtig bestehen mit einigen Ausnahmen in Europa (v.a. England und skandinavische Länder) keine direkt in der Schweiz verwendbaren immissionsorientierten Angaben zum Gewässerschutz bei Regenwetter. Allerdings können verschiedene *methodische Hinweise* z.B. aus Dänemark [20], England [25] und der «Demonstration Approach» aus den USA [31] bei der Festlegung der Gewässerschutzstrategie bei Regenwetter in der Schweiz berücksichtigt werden.

Die in den letzten Jahren gewonnenen *wissenschaftlichen Erkenntnisse* [z.B. 14, 15, 16, 17, 18 u.v.a.] haben in der bisherigen Praxis kaum ein Echo gefunden, da die bisherigen administrativen Regelungen emissionsorientiert sind. Deswegen muss die Einführung der immissionsorientierten Strategie bei der Regenwasserbehandlung durch eine administrative Regelung unterstützt werden. Weitere Fortschritte auf diesem Gebiet können nur durch systematische Anwendung der immissionsorientierten Strategie bei der Massnahmenplanung und durch die konsequente Erfolgskontrolle der realisierten Massnahmen erreicht werden.

Projekt «STORM»: Abwassereinleitungen aus Kanalisationen bei Regenwetter

Literaturverzeichnis

- [1] VSA (1989): Generelle Entwässerungsplanung (GEP). Richtlinie für die Bearbeitung und Honorierung, Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute, Zürich.
- [2] Kurz, H. (1923): Die Wirkung von Regenüberfallwerken städtischer Kanalisationen auf die Vorfluter. Gesundheits-Ingenieur, Heft 7, 46. Jahrg., 1923.
- [3] Bayerle, B. (1938): Die Verschmutzung der Wasserläufe durch die Regenauslässe der Entwässerungsnetze. Gesundheits-Ingenieur, Heft 30, 61. Jahrg. 1938, p. 413–417.
- [4] Frey, Th. und Hörler, A. (1943): Generelles Kanalisationsprojekt Gemeinde Fehraltorf. Technischer Bericht, Zürich, 15. Juli 1943.
- [5] Gameson, A.L.H. and Davidson, R.N. (1963): Storm-Water Investigations at Northampton. Journal and Proceedings of the Institute of Sewage Purification, Part 2, pp.105–130. London.
- [6] Munz, W. (1966): Die Wirkung verschiedener Gewässerschutzmassnahmen auf den Vorfluter, Schweizerische Zeitschrift für Hydrologie, Vol. 28, Fasc. 2, p. 184–237.
- [7] EPA (1971): Storm Water Management Model, Volume I bis IV, U.S. Environmental Protection Agency, Water Quality Office, Report No. 11024 DOC, Washington, DC 20460 USA.
- [8] EPA (1974): Urban Stormwater Management and Technology: An Assesment, EPA-670/2-74-040, U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, Cincinnati, Ohio, 45268.
- [9] EPA (1977): Application of Stormwater Management Models – 1976, EPA-600/2-77-065, U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, Cincinnati, Ohio, 45268.
- [10] Porcella, D.B. and Sorensen, D.L. (1979): Characteristics of nonpoint source urban runoff and its effects on stream ecosystems. Report to U.S. EPA, Corvallis, OR 97330.
- [11] Gujer, W. and Krejci, V. (1987): Urban storm drainage and receiving waters ecology, in: Urban storm water quality, planning and management, Proceedings of IV. Int. Conference in Urban storm drainage, Lausanne, 1987.
- [12] AfU (1977): Empfehlungen für die Bemessung und Gestaltung von Hochwasserentlastungen und Regenüberlaufbecken. Eidgenössisches Amt für Umweltschutz, Bern.
- [13] ATV (1992): ATV-A 128, Richtlinien für die Bemessung und Gestaltung von Regenentlastungsanlagen in Mischwasserkanälen. Abwassertechnische Vereinigung e.V., Hennef.
- [14] Wolf, P. und Borchardt, D. (1990): Ein Ansatz für die ökologische Bewertung der Gewässerbelastung aus Mischwassereinleitungen. Korrespondenz Abwasser 37: 1350–1355.
- [15] Borchardt, D. and Statzner, B. (1990): Ecological Impact of Urban Stormwater Runoff Studied in Experimental Flumes: Population Loss by Drift and Availability of Refugial Space. Aquatic Sciences, Vol. 52, No. 4, p. 299–314.
- [16] Gammeter, S. (1996): Einflüsse der Siedlungsentwässerung auf die Invertebraten-Zönose kleiner Fließgewässer. Dissertation, ETH Zürich.
- [17] Fischer, J. (1997): Einfluss von Mischwassereinleitungen auf den Stoffhaushalt und die Biozönose kleiner Fließgewässer im ländlichen Raum. Fachbereich Biologie, Johannes Gutenberg-Universität, Mainz.
- [18] Podraza, P. und Widera, J. (1998): Auswirkungen von Mischwassereinleitungen auf den Stoffhaushalt und die Biozönose von Fließgewässern; Fallbeispiel Schondelle (NRW) – ein kleines urbanes Fließgewässer im Bergland. gwf – Wasser/Abwasser, Vol. 139, No. 7, p. 402–407.
- [19] Urbonas, B. (2002): Linking Stormwater BMP Design and Performance to Receiving Water Impact Mitigation. Proceedings of an Engineering Foundation Conference, Snowmass Village, Colorado, ISBN 0-7844-0602-2, American Society of Civil Engineers, Reston, Virginia, USA.
- [20] Hvitved-Jacobsen, T. (1985). Forurening af vandløb fra overløbsbygværker. Dansk Ingeniørforening, Spildevandskomiteen, Aalborg. (Für eine englische Version siehe auch [36].)
- [21] Whitelaw, K. and de Solbé, J.F. (1989): River catchment management: an approach to the derivation of quality standard for farm pollution and storm sewage discharges. Wat.Sci.Tech. 21: 1065–1076.
- [22] Frutiger, A., Engler, U., Gammeter, S., Lüdi, R., Meier, W., Suter, K. und Walser, R. (2000): Zustandsbericht Gewässer – Teil Gewässerschutz, Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute Zürich.
- [23] GSchV (1998). Gewässerschutzverordnung (SR 814.201), Bern.
- [24] VSA (2000): Der regionale Entwässerungsplan (REP). Empfehlungen für die Bearbeitung des REP im Rahmen einer ganzheitlichen Gewässerplanung. Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute, Zürich.
- [25] FWR (1998). «Urban Pollution Management Manual (2nd ed.)» Foundation for Water Research, Marlow.
- [26] Munz, W. (1975): Regenüberläufe mit und ohne Regenbecken, Ein kurzgefasster Leitfaden über Konzeption und Bemessung. EAWAG, Dübendorf, Zürich.
- [27] Munz, W. (1977): Regenüberläufe mit und ohne Regenbecken, Eine Wegleitung zu Konzeption und Bemessung. EAWAG, Dübendorf, Zürich.
- [28] Munz, W. (1979): Fangen, Klären, Speichern bei der Bemessung von Regenbecken. Hochwasserentlastung oder Regenbecken? 2 Aufsätze zum Überlaufproblem. EAWAG, Dübendorf, Zürich.
- [29] Hörler, A. (1978): Beitrag zur Ermittlung des Inhaltes von Regenüberlaufbecken unter Berücksichtigung der Belastung des Vorfluters. Gas-Wasser-Abwasser, Vol. 58, No. 8, p. 415–421.
- [30] Hörler, A. (1987): Die Vorfluterbelastung durch Regenentlastungen von Kanalisationen unter Berücksichtigung von Jahresfrachten. Gas-Wasser-Abwasser, Vol. 67, No. 11, p. 712–725.
- [31] EPA (1995): Combined Sewer Overflows. Guidance for Nine Minimum Controls. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Wastewater Management, EPA 832-B-95-003, Washington, DC 20460 USA.
- [32] ATV-DVWK (2003): Hinweise zu Wirksamkeit und Kosten gewässerbezogener Massnahmen zur Regenwasserbehandlung in der Stadtentwässerung. Arbeitsbericht, ISBN 3-924063-84-2, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. Hennef.
- [33] WEF (1997): The Clean Water Act (CWA), updated for 1997. 25th Anniversary Edition, Water Environment Federation, Alexandria, VA, USA.
- [34] GSchG (1991): Bundesgesetz über den Schutz der Gewässer (Gewässerschutzgesetz), SR 814.20, Bern.
- [35] EU WRRL (2000): Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktoberr 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Massnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften, L 327 vom 22. Dezember 2000.
- [36] House, M.A., Ellis, J.B., Herricks, E.E., Hvitved-Jacobsen, T., Seager, J., Lijklema, L., Aalderink, H., and Clifford, T.I. (1993): Urban drainage – impacts on receiving water quality. Water Science and Technology 27:117–158.

Keywords

Integrierte Siedlungsentwässerung – Emission – Immission – Mischwasserbehandlung – Planungspraxis

Adresse der Autoren

Vladimir Krejci, Dr.sc.tech.
Lindenstrasse 90
CH-8738 Uetliburg
Tel. +41 (0)55 280 33 92
Fax + 41 (0)55 280 36 61
hydrokrejci@tiscalinet.ch

Simon Kreikenbaum, Dipl. Ing. ETH
EAWAG, CH-8600 Dübendorf
Tel. +41 (0)1 823 50 95
Fax +41 (0)1 823 53 89
simon.kreikenbaum@eawag.ch