

Anforderungen an die Abwassereinleitungen*

Exigences en matière de déversements d'eaux usées

Les exigences en matière de déversements d'eaux usées par temps de pluie représentent une base importante pour la planification de mesures de protection des eaux. En comparaison avec la situation par temps sec, la définition de ces «exigences de temps de pluie», en tenant compte de la dynamique pluviale, doit faire face à des incertitudes plus grandes. Néanmoins, différentes exigences sont proposées dans cette publication. Elles sont fondées sur les connaissances actuelles dans le domaine et serviront de base pour de futures directives suisses.

Requirements for Urban Wet-Weather Discharges

Legal requirements for urban wet-weather discharges represent an important basis for the planning of measures for protecting receiving waters. In comparison to the dry-weather situation, the definition of these «wet-weather requirements», taking into account the dynamic of rain events, has to handle with substantially larger uncertainties. Nevertheless, different requirements are suggested in this publication. They are based on present knowledge, and will contribute to the definition of future Swiss guidelines.

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

Luca Rossi



Anforderungen an die Abwassereinleitungen aus Kanalisationen bei Regenwetter stellen eine wichtige Grundlage für die Planung von Massnahmen dar. Im Vergleich zur Situation bei Trockenwetter ist die Festlegung dieser «Regenwetteranforderungen» aufgrund der hohen Dynamik mit wesentlich grösseren Unsicherheiten verbunden. Dennoch werden in dieser Publikation verschiedene Anforderungen vorgeschlagen. Sie basieren auf gegenwärtigen in- und ausländischen Kenntnissen, die in künftigen schweizerischen Richtlinien verwendet werden sollen.

1. Die Regenwettersituation in der schweizerischen Gewässerschutzgesetzgebung

Das Schweizer Gewässerschutzgesetz (GSchG) [1] und die Gewässerschutzverordnung (GSchV) [2] sind in erster Linie auf die Trockenwettersituation ausgerichtet und tragen der Dynamik der Belastungen bei Regenwetter nur sehr rudimentär Rechnung. So wird z.B. im Anhang 2 der GSchV die Einhaltung der Wasserqualitätsziele explizit für jede Wasserführung gefordert, seltene Hochwasserspitzen und Niederwasserereignisse ausgenommen. In der GSchV sind folglich mehrere Anforderungen formuliert, die insbesondere durch Abwassereinleitungen aus der Kanalisation bei Regenwetter leicht verletzt werden

Projekt «STORM»: Abwassereinleitungen aus Kanalisationen bei Regenwetter

können. Aus der Sicht der problemorientierten Massnahmenplanung zum Schutze der Gewässer bei Regenwetter ist es deswegen zweckmässig, numerische Regenwetteranforderungen zu definieren, die im Einklang mit den Prinzipien des GSchG und der GSchV stehen und diese hinsichtlich der Regenwetter-situation ergänzen.

Die Anforderungen, die hier vorgeschlagen werden, beziehen sich auf punktuelle Einleitungen aus entwässerten Siedlungs- und Verkehrsflächen bei Regenwetter. Es wird unterschieden zwischen Anforderungen an die Emissionen, d.h. Frachten und Konzentrationen im Ablauf technischer Anlagen («End of Pipe»), und Immissionen, d.h. gewässerspezifischen Kenngrössen zur Beurteilung der Beeinträchtigung (z.B. Konzentrationen und Expositionsdauern von Schadstoffen, kritische Durchflüsse etc.). Detailliertere Ausführungen zu Emissionen und Immissionen sowie Angaben zu weiterführender Literatur sind im zweiten Artikel dieser Serie: «Konzepte des Gewässerschutzes» [3] zu finden. Da die schweizerische Gewässerschutzgesetzgebung immissionsorientiert ist, soll zukünftig dort, wo dies sinnvoll und möglich ist, mit Immissionen gearbeitet und aus diesen zulässige lokalspezifische Emissionen hergeleitet werden.

2. Interpretation der verbalen Anforderungen

Die allgemeinen Gewässerschutz-ziele sind in den heutigen legislativen Instrumenten der Schweiz verbal formuliert. Die praktische Umsetzung dieser Ziele erfordert jedoch eine *Interpretation*, die so weit wie möglich zu messbaren, numerisch formulierten Anforderungen führt. Diese numerischen Anforderungen bestehen bereits, z.B.

für die Wasserqualität in Form von maximal zulässigen Konzentrationen. Die Anwendung von *Konzentrationsgrenzwerten* ist allerdings nur bei langfristigen Belastungen wie bei Trockenwetter sinnvoll. Für kurzfristige dynamische Stossbelastungen wie bei Regenwetter ist diese Art der Anforderungen nicht optimal. Deshalb müssen das GSchG und die GSchV hinsichtlich kurzfristiger dynamischer Belastungen bei Regenwetter interpretiert werden. Die folgende Interpretation ausgewählter Artikel aus dem GSchG und aus der GSchV ist bis zu einem gewissen Grade subjektiv und dient ausschliesslich der Festlegung der Anforderungen an die Abwassereinleitungen aus Kanalisationen bei Regenwetter. Die Auswahl der Artikel geschah anhand der Relevanz der jeweiligen Problematik in der Schweiz, wie sie vom Projektteam und der Expertenkommission des Projekts STORM [4] beurteilt wurde. Zudem floss Expertenwissen von Fachleuten aus der Verwaltung, Praxis und der Wissenschaft in diese Beurteilung ein.

Mischwasser ist verschmutztes Abwasser und muss bei den meisten Regenfällen behandelt werden (GSchG, Art 7¹). Bei starken und seltenen Regenereignissen kann Mischwasser ohne Behandlung in die Gewässer eingeleitet werden, sofern durch diese Einleitung keine unzulässige Gewässerbeeinträchtigung identifiziert wird. Als starker und seltener Regen wird in diesem Zusammenhang ein Regen betrachtet, der zum Mischwasserüberlauf in einer Hochwasserentlastung im Sinne der bisherigen Bemessungspraxis nach AfU aus dem Jahre 1977 [5] führt.

Regenwasser aus der Trennkanalisation (GSchG, 1991 Art. 7¹ und Art. 7²) wird im Hinblick auf die notwendige Behandlung zur Zurückhaltung

von Schadstoffen nach der VSA-Richtlinie «Regenwasserentsorgung» [6] beurteilt. Diese VSA-Richtlinie berücksichtigt jedoch Dynamik und Variabilität der Prozesse bei Regenwetter nicht. Die Berücksichtigung der Dynamik und der Variabilität muss fallweise beurteilt werden.

Die numerischen Anforderungen an die chemischen Parameter, die in der GSchV, Anhang 2, Art. 5 explizit genannt werden, sollen bei jeder Wasserführung nach weitgehender Durchmischung des eingeleiteten Abwassers im Gewässer eingehalten werden. Seltene Hochwasserspitzen oder seltene Niederwasserereignisse bleiben vorbehalten. Diese für langfristige Belastungen definierten Anforderungen können jedoch durch Regenüberläufe bei mittleren und kleineren Regenereignissen v.a. in kleineren Fliessgewässern, d.h. wenn relativ stark konzentriertes Mischwasser auf den Basisdurchfluss im Gewässer trifft, ohne besondere Massnahmen kaum eingehalten werden. Deshalb werden sie, sofern die nötigen Kenntnisse vorhanden sind, bei der Festlegung der Anforderungen in dieser Arbeit durch die treffendere Beziehung zwischen Konzentration, Expositionsdauer und Frequenz des Auftretens ersetzt.

Die Formulierung im GSchV, Anhang 3 über die Einleitung von kommunalem Abwasser kann als eine Forderung zur Festlegung von lokal- und gewässerspezifischen Bedingungen für Mischwassereinleitungen betrachtet werden. Diese Aufforderung bot u.a. den Anlass zur Bearbeitung dieses Projektes.

Die Angaben im Anhang 4 der GSchV (Planerischer Schutz der Gewässer im Zusammenhang mit besonderer Nutzung) können im Hinblick auf die hier diskutierte Problematik im Rahmen dieses Projektes nicht betrachtet werden. Die Abwassereinleitungen bei Regenwetter in den Schutzzonen, in Gewässerschutzbereichen A₀ und Zustrombereichen Z₀ können jedoch eine bedeutende Belastungsquelle darstellen. Allerdings muss die Lösung dieser Problematik individuell sichergestellt werden.

Im Gegensatz zu vielen anderen Staaten gelten für alle Schweizer Gewässer, unter Berücksichtigung der Gewässerart, die gleichen ökologischen Anforderungen. Die Einhaltung der gleichen Anforderungen, insbesondere bei Regenwetter, ist jedoch kaum überall möglich. Ein Teil der Gewässer im urbanen Bereich, die hauptsächlich der Entwässerung von befestigten Flächen und dem Hochwasserschutz die-

Projekt «STORM»: Abwassereinleitungen aus Kanalisationen bei Regenwetter

nen, können z.B. den ökologischen Gewässeranforderungen bezüglich der mechanisch-hydraulischen Belastung kaum entsprechen. Die analoge Situation tritt z.B. auch bei den *Meliorationskanälen* in der Landwirtschaft auf. Die ökologischen Anforderungen an diese Gewässer können in vielen Fällen mit vertretbarem Aufwand nicht eingehalten werden. In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage nach der Verbindlichkeit der hier definierten Anforderungen für solche Gewässerarten. In ausgewiesenen Fällen scheint es sinnvoll zu sein, dass in betreffenden Gewässern ihr Nutzungszweck höher als ihre ökologische Bedeutung eingestuft wird und die Anforderungen an die Kanalisationseinleitungen in diese Gewässer eher aus regionalen Überlegungen (d.h. hinsichtlich möglicher Beeinträchtigungen der Gewässer unterhalb dieser Einleitung) bewertet werden.

3. Berücksichtigung von verschiedenen Gewässerarten

Theoretisch lassen sich für alle Oberflächengewässer allgemeingültige Zielvorstellungen definieren. Im Hinblick auf die Planung von Massnahmen ist jedoch eine gewisse *Gewässertypisierung* (Gewässertyp, Nutzung, etc.) sinnvoll. Die Beeinträchtigung der Gewässer durch die Abwassereinleitungen aus Kanalisationen bei Regenwetter ist nicht für alle Gewässer gleich bedeutend. Eine mögliche Einteilung, die im Zusammenhang mit der diskutierten Problematik verwendet werden kann, ist in *Tabelle 1* aufgelistet. Diese Typisierung fördert die Orientierung in der Problematik und eine Fokussierung auf die aus heutiger Sicht relevanten Probleme (*Tab. 2*).

Die Relevanz der Gewässerschutzprobleme, wie sie in der *Tabelle 2* aufgeführt werden, bezieht sich auf Schweizer Verhältnisse, d.h. auf Beobachtungen und Dokumentation dieser Probleme in den letzten 20 bis 30 Jahren. Diese Angaben dienen als Basis für die Festlegung der nachfolgend formulierten Anforderungen. Bei neuen Erkenntnissen sollen die Anforderungen an die aktuelle Situation angepasst werden.

4. Anforderungen an die Regenwetter-situation

Die diskutierten Anforderungen werden mit den nachfolgend definierten *Grenzwerten* für stoffliche, physikalische, hygieni-

Gewässertyp	Q ₃₄₇ [m ³ /s]	Mittlere Wasserspiegelbreite [m]	Mittlere Fließgeschwindigkeit [m/s]
kleiner Mittellandbach	< 0,1	< 1	< 0,5
grosser Mittellandbach	0,1 – 1,0	1 – 5	< 0,5
kleiner Voralpenbach	< 0,1	< 1	> 0,5
grosser Voralpenbach	0,1 – 1,0	1 – 5	> 0,5
grössere Fliessgewässer	> 1,0	> 5	> 0,5
kleiner See (Weiher)	-	-	<< 0,5
grosser See	-	-	<< 0,5

Tab. 1 Einteilung der Gewässer, angelehnt an Wegleitung: Gewässerschutz bei der Entwässerung von Verkehrswegen, BUWAL 2002 [7].

Gewässertyp	Ausgewählte Gewässerschutzprobleme, ihre Relevanz und vorgeschlagene Anforderungen im Projekt STORM							
	Ästhetik	Hygiene (Mikroorgan.)	Temperatur	Mech.-hydraul. Stress	Chemische Parameter			
					NH ₃ /NH ₄ ⁺ -N	TSS Sedim.	TSS Trübung	Nährstoffe
Quellregion	+ / E	o / l	o / l	+ / l	+ / l	+ / l	+ / l	x
kleiner Mittellandbach	+ / E	o / l	o / l	+ / l	+ / l	+ / l	+ / l	x
kleiner Voralpenbach	+ / E	o / l	x / l	+ / l	+ / l	o / l	+ / l	x
grosser Mittellandbach	+ / E	+ / l	x	o / l	o / l	+ / l	+ / l	x
grosser Voralpenbach	+ / E	+ / l	x	o / l	o / l	x	+ / l	x
grössere Fliessgewässer	+ / E	+ / l	x	x	x / l	x	x	o / l
kleiner See (Weiher)	+ / E	+ / l	x	x	x	+ / l	x	+ / l
grosser See	+ / E	+ / l	x	x	x	+ / l	x	+ / l

Tab. 2 Übersicht ausgewählter Gewässerschutzprobleme im Zusammenhang mit Kanalisationseinleitungen bei Regenwetter, ihre Bedeutung in der Schweiz und vorgeschlagene Emissions- und Immissionsanforderungen im Rahmen des Projektes STORM.

Häufigkeit des Auftretens: häufig (+), gelegentlich (o), bisher nicht festgestellt (x)

Relevanz der Probleme: bedeutend (dunkelblau), evtl. bedeutend (hellblau), unbedeutend (weiss)

Art der Anforderungen: Emission (E), Immission (I)

sche und ästhetische Beeinträchtigungen vorgeschlagen. Die hier vorgeschlagenen Grenzwerte entsprechen dem momentanen Stand der Kenntnisse. Die Herleitung der Grenzwerte und die praktische Anwendung dieser Angaben bei der Massnahmenplanung wird in separaten Artikeln dieser Artikelreihe aufgezeigt [4].

4.1 Grenzwerte der stofflichen Belastung

Wie bereits erwähnt, ist die Festlegung von maximal zulässigen Grenzwerten für kurzfristige, dynamische Stossbelastungen, wie sie bei Regenwetter auftreten, nicht

sinnvoll. In der *Ökotoxikologie* gilt allgemein, dass Organismen bei kurzen Expositionsdauern grössere Belastungen ertragen können als bei lang andauernden. Grenzwerte, wie jene in der GSchV, die für die langfristige Situation entwickelt wurden, können für kurzzeitige Belastungen zu niedrig sein. Das führt dazu, dass zu deren Einhaltung eventuell unverhältnismässige Massnahmen geplant werden müssten. Um dem Abhilfe zu schaffen, werden hier Zielfunktionen (im Sinne von Grenzwertfunktionen) als eine Beziehung zwischen *Konzentration*, *Dauer* der Exposition und *Frequenz* des Auftretens einer Belastung defi-

Projekt «STORM»: Abwassereinleitungen aus Kanalisationen bei Regenwetter

niert. Diese sogenannte *KDF-Beziehung* ist analog zu der in der Hydrologie allgemein bekannten Beziehung zwischen Intensität, Dauer und Frequenz von Regenereignissen, der *IDF-Beziehung*. Diese Festlegung von Zielfunktionen ist übrigens mit den verbalen Anforderungen der schweizerischen Gewässerschutzgesetzgebung konform. Die aus diesen verbalen Anforderungen abgeleiteten Qualitätsziele der GSchV können nämlich in der KDF-Beziehung als Belastungen mit grosser Einwirkzeit betrachtet werden.

Im Folgenden sind Grenzwertfunktionen stofflicher Belastungen definiert für *Ammoniak*, *partikuläre Verunreinigungen* (Trübung und Akkumulation von Sedimenten) und *gelöster Sauerstoff*. Andere chemische Stoffe, wie z.B. Schwermetalle, POPs («Persistent Organic Pollutants»), wie z.B. PAKs (polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe) etc., werden im Zusammenhang mit den partikulären Stoffen betrachtet. Grenzwerte für Nährstoffe (v.a. Phosphor) sollen als Jahresfrachten unter Berücksichtigung aller Belastungsquellen im Einzugsgebiet definiert werden.

4.1.1 Ammoniak

Als Parameter der akuten stofflichen Beeinträchtigungen von kleineren Fliessgewässern, insbesondere im Hinblick auf den Schutz der Laichgewässer für Fische, steht Ammoniak (NH₃) im Vordergrund (z.B. GSchV, Anhang 2, Artikel 11 und 12). Nach Frutiger et al. [8] wird als Anforderung an die Einleitung von Ammoniak eine kritische Schwelle in der KDF-Beziehung festgelegt, die auf den Untersuchungen von Whitelaw & de Solbé [9] basiert (Abb. 1). Überschreitet die anhand einer Simulation zu vermutende NH₃-Belastung diese

Schwelle, ist mit negativen Auswirkungen auf die Fischpopulation im Gewässer zu rechnen. Diese kritische Schwelle wurde für NH₃ so definiert, dass bei 100-prozentiger Sauerstoffsättigung im Falle einer Überschreitung durchschnittlich 10% einer Bachforellenpopulation sterben. Bei gleicher Exposition und 40-prozentiger Sauerstoffsättigung beträgt die Sterblichkeit von Bachforellen durchschnittlich 20%. Die Überschreitung dieser Schwelle wird einmal in fünf Jahren toleriert. Die Berechnung der kritischen Schwelle in der KDF-Beziehung für Ammoniak erfolgt aufgrund der unten stehenden Gleichung:

$$C = B + A / t$$

- C: Konzentration [g/m³]
- A: Konstante = 1,5 [g · min/m³]
- B: Konstante = 0,025 [g/m³]
- t: Zeit [min]

4.1.2 Partikuläre Verunreinigung

Partikuläre Verunreinigungen spielen bei Gewässerbeeinträchtigungen bei Regenwetter eine wesentliche Rolle. Die Partikel im Abwasser erhöhen die Wassertrübung und können zur Kolmation der Sohle führen. Viele Schadstoffe wie z.B. *Schwermetalle* (Kupfer, Zink, Blei, Cadmium etc.) oder *PAK* kommen grösstenteils in an Partikel gebundener Form vor. Die biologisch abbaubaren (organischen) Partikel können zur Sauerstoffzehrung im Sohlenbereich beitragen. Somit ermöglicht eine Betrachtung der partikulären Verunreinigung, oft als *GUS* (gesamte ungelöste Stoffe) bezeichnet, verschiedene Prozesse und eine relativ breite Gewässerbeeinträchtigung.

Die vorgeschlagenen Grenzwerte für die partikuläre Verunreinigung beziehen sich auf zwei Bereiche der Beeinträchtigung: *Schwebstoffe* im

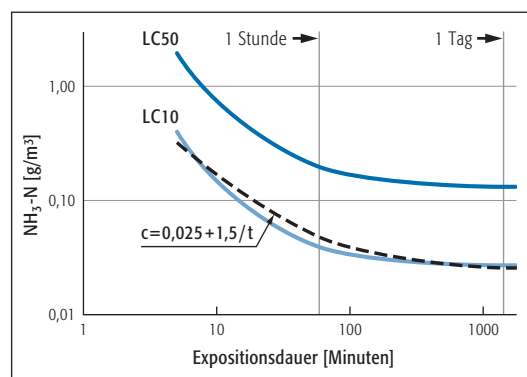


Abb. 1 Kritische Intensität und Dauer der Einwirkung von Ammoniak für Bachforellen nach Whitelaw & de Solbé [9]. Die vorgeschlagenen Grenzwerte sind mit der gestrichelten Linie dargestellt. Diese Werte sollen nicht häufiger als einmal in fünf Jahren überschritten werden.

Wasser (Trübung und Wasserqualität) und *Sedimente* (Akkumulation der Partikel an der Gewässersohle und im hyporheischen Interstitial).

Trübung in Gewässern

Die Trübung in Gewässern infolge Abwassereinleitungen (GSchV, Anhang 2, Art. 11^{2b}) ist auch während kleinerer Regenereignisse kaum vermeidbar. Die Anforderung in der GSchV («Durch Abwassereinleitungen darf sich im Gewässer nach weitgehender Durchmischung keine Trübung ergeben») ist deshalb nicht realistisch. Bei der Massnahmenplanung soll jedoch berücksichtigt werden, inwieweit die Wassertrübung, die durch Abwassereinleitungen bei Regenwetter verursacht wird, den Lebensraum in Fliessgewässern beeinträchtigen kann. Entsprechende Hinweise für die nachfolgenden Grenzwerte konnten aufgrund von Angaben über die Beeinträchtigung von Fischen [10], [11] gefunden werden (Abb. 2). Für eine gewisse Konzentration und Expositionsdauer ergeben sich verschiedene Effekte. In diesen Funktionen wird ein «Sicherheitsfaktor» von zehn implementiert, um auch mögliche Effekte von adsorbierten Stoffen zu berücksichtigen [12]. Zum Beispiel werden Konzentration von 50 mg/l während 60 Minuten oder Konzentration von 300 mg/l während 10 Minuten leichten bis mittleren physiologischen Stress verursachen. Bei längeren Expositionsdauern (bis 24 Stunden) ist ein Grenzwert von maximal 25 mg/l anzuwenden [13]. Alle Ereignisse, bei denen die Belastung, berechnet als Konzentration mal Einwirkdauer, unterhalb des Schwellwerts für Verhaltensänderungen liegt, sind tolerierbar. Problematisch sind Ereignisse, bei denen die Belastung die

Projekt «STORM»: Abwassereinleitungen aus Kanalisationen bei Regenwetter

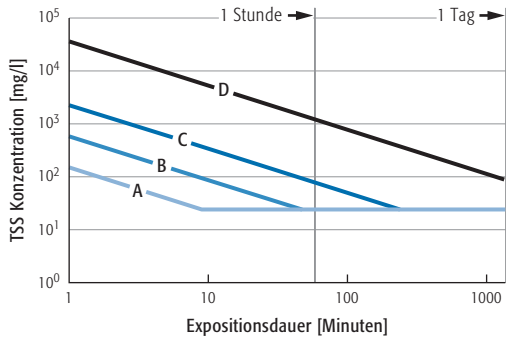


Abb. 2 Beeinträchtigung von Fischen abhängig von Konzentration und Dauer der Exposition [11]. Ermittelt für Salmonidae mit einem «Sicherheitsfaktor» von zehn, um die Effekte adsorbierter Stoffe zu berücksichtigen [12]. Der physiologische Stress ist bei A nicht vorhanden (Grenzwert für Verhaltensänderungen), B leicht, C mittel, D gross (Schwellenwert für Letalität).

Schwelle für Letalität übersteigt. Dies entspricht Funktion D in *Abbildung 2*. Mangels Informationen über den Einfluss von wiederkehrenden Ereignissen auf Fische, schlagen wir vor, Gewässerschutzziele von Fall zu Fall zusammen mit den Behörden zu definieren.

Akkumulation von Sedimenten

Die GUS, die an der Gewässersohle akkumulieren, können verschiedene negative Effekte hervorrufen. Aufgrund einer Interpretation der verbalen Anforderungen in der GSchV (Anhang 1 und 2) wurden *drei Kriterien* definiert, die sich auf drei verschiedene Probleme beziehen:

- I. Kolmation der Gewässersohle (GSchV, Anhang 2, 12^{2b})
- II. Akkumulation von nicht- oder schwer abbaubaren partikulären Substanzen (Schwermetalle, PAK etc.) (GSchV, Anhang 1, 1^{3b,c})
- III. Sauerstoffzehrung im Bereich der Sohle und im hyporheischen Interstitial (Porenräume in der Gewässersohle) infolge des Abbaus von leicht abbaubaren partikulären organischen Substanzen (GSchV, Anhang 2, 12^{2a})

Die im Folgenden vorgeschlagenen Anforderungen bezüglich Kolmation der Gewässersohle basieren auf Empfehlungen der europäischen und kanadischen Wasserqualitätsrichtlinien zum Schutze der Gewässer [13], [14]. Nach diesen Empfehlungen beträgt der maximal tolerierbare Anteil von Feinpartikeln (Durchmesser < 2 mm) bei Laichplätzen in der

Gewässersohle höchstens 10%. Über 95% der Partikel aus Kanalisationseinleitungen bei Regenwetter haben einen Durchmesser von weniger als zwei mm. Das bedeutet, dass die Akkumulation von Partikeln aus solchen Einleitungen nicht grösser als die Porosität der ersten fünf cm der Gewässersohle sein sollte. Diese Höhe von fünf cm wurde in Zusammenarbeit mit Biologen definiert. Der Grenzwert für Kolmation (650 Gramm GUS pro Quadratmeter und Jahr, siehe *Tab. 3*) sollte nicht häufiger als während 20% der Zeit überschritten werden, um langfristig eine Verminderung des Gasaustauschs zwischen fließendem Wasser und Gewässersohle zu vermeiden. Während der Laichperiode (in der Schweiz von September bis März) soll Kolmation überhaupt nicht toleriert werden.

Die Grenzwerte für die Akkumulation von schwer abbaubaren Substanzen basieren auf experimentell ermittelten ökotoxikologischen Effekten mit Sedimenten, die durch Kanalisationseinleitungen bei Regenwetter kontaminiert wurden [15], [16]. Die Effekte einzelner Substanzen wie Schwermetalle oder PAK wurden dabei nicht isoliert, sondern gesamthaft betrachtet. Bei der Akkumulation von Sedimenten von 1 – 2 cm/Jahr konnten nachteilige Effekte nachgewiesen werden. Um solche negativen Effekte zu

verhindern, kann ein Sicherheitsfaktor von 100 bis 1000 eingeführt werden [17]. Das bedeutet zum Beispiel ein Wert von 25 Gramm GUS pro Quadratmeter und Jahr für eine Kiesgewässersohle bei einem Sicherheitsfaktor von 1000 (*Tabelle 3*). Wenn GUS aus Regenüberläufen während mehr als 95% der Zeit im Kontakt mit der Gewässersohle sind, muss eine detaillierte Studie oder Sedimentanalyse im Sinne eines «Screenings» durchgeführt werden.

Die Grenzwerte für die Sauerstoffzehrung basieren auf einer Beziehung zwischen GUS-Akkumulation/-Abbau und Sauerstoffzehrung (g_{O_2}/g_{GUS}) [18]. Die Grenzwerte für GUS-Akkumulation basieren auf der maximal tolerierbaren Rate, mit der Sauerstoff in der Gewässersohle zwecks Abbau der GUS gezehrt werden darf. Dabei betrachtet man die Sohle als einen aktiven Biofilm [19], [20]. Die Grenzwerte sind für organische Stoffe aus Mischwasser und aus dem Regenabfluss der Trennkanalisation unterschiedlich. Die festgelegten Grenzwerte (in $g_{GUS} m^{-2} d^{-1}$) beziehen sich auf einen maximal tolerierbaren Teil der Zeit, während dem sie überschritten werden dürfen (*Tab. 3*).

Die Akkumulation von Sedimenten in Fliessgewässern ist ein sehr komplexer Vorgang. Im Vergleich zum Transport von GUS im Wasser kön-

Kriterium	Grenzwert für GUS-Akkumulation	Maximaler Zeitanteil der Grenzwertüberschreitung [% pro Jahr]
Kolmation der Gewässersohle (physikalisch)	625 $g_{GUS} m^{-2} a^{-1}$	20%
Akkumulation von schwerabbaubaren Substanzen (Schwermetalle, PAK)	25 $g_{GUS} m^{-2} a^{-1}$	5%
Sauerstoffzehrung:		
• Mischsystem (Regenüberläufe)	5 $g_{GUS} m^{-2} d^{-1}$	10% (0% von September bis März)
• Trennsystem	16 $g_{GUS} m^{-2} d^{-1}$	10% (0% von September bis März)

Tab. 3 Vorschläge der Grenzwerte für die maximal tolerierbare Akkumulationsraten von GUS in Sedimenten für eine Kiesgewässersohle. Die Werte sind in der Einheit Gramm GUS pro Quadratmeter und Jahr ($g_{GUS} m^{-2} a^{-1}$) oder Gramm GUS pro Quadratmeter und Tag ($g_{GUS} m^{-2} d^{-1}$).

Projekt «STORM»: Abwassereinleitungen aus Kanalisationen bei Regenwetter

nen die Sedimente in den Poren des hyporheischen Interstitials festgehalten werden und die Gewässer-sole verfestigen. Um das Verhalten der Partikel zu beschreiben, benötigt man Modelle, mit denen verschiedene Vorgänge quantifiziert werden können:

- Akkumulation der Sedimente
- Erosion (Resuspension) der Sedimente während Regenabfluss
- Abbau der Sedimente

Die Beschreibung eines solchen Modells wird in einer späteren GWA-Publikation dieser Artikelse-rie präsentiert. Im Allgemeinen werden diese Prozesse von mehreren Faktoren beeinflusst, insbesondere von den hydraulischen Verhältnissen in Fließgewässern (wie z.B. vom Gefälle, von der Rauheit des Flussbettes und von der Fließgeschwindigkeit) und von den Eigenschaften der Sedimente (Partikelgrösse, Sinkgeschwindigkeit). Weitere Prozesse, wie z.B. Konsolidierung, chemische Reaktionen, biologische Effekte etc. sind zwar in der Literatur beschrieben, sie werden jedoch in der Regel bei der Modellierung vernachlässigt.

4.1.3 Gelöster Sauerstoff

In den Schweizer Fließgewässern führen Abwassereinleitungen aus Kanalisationen bei Regenwetter im Allgemeinen selten zu ungenügenden Sauerstoffkonzentrationen (GSchV, Anhang 2, Art. 11^{2d}). Dennoch werden hier Grenzwerte für gelösten Sauerstoff vorgeschlagen, da Sauerstoffmangel in stauregulierten Fließgewässerabschnitten und als Folge der Erosion von anaeroben Sedimenten auch in der Schweiz nicht ausgeschlossen werden kann. Im Hinblick auf diese Problematik werden wissenschaftlich fundierte Grenzwerte aus dem Ausland, wie aus Dänemark [21] oder aus Eng-

land [22, 23] verwendet (Abb. 3 und Tab. 4). Bei Mischwassereinleitungen können zudem eventuell sauerstoffarme Zustände über strengere Grenzwerte für Ammoniak berücksichtigt werden [9].

4.1.4 Nährstoffe

Bei der Festlegung der Anforderungen an die Abwassereinleitungen aus Kanalisationen bei Regenwetter handelt es sich im Allgemeinen um zulässige Phosphor- oder Stickstoffemissionen als Jahresfrachten aufgrund der lokal zulässigen Immissionen in die Gewässer (siehe GSchV, Anhang 3, Kapitel 3). Zur Festlegung dieser Emissionen müssen alle Phosphor- oder Stickstoffquellen im Einzugsgebiet, inklusive Landwirtschaft, Kläranlagenabläufe etc., berücksichtigt werden. Dabei ist zu bemerken, dass die Anforderungen an Abflusskonzentration und Reinigungseffekt bezüglich Phosphor im oben erwähnten Abschnitt der GSchV sich nicht an die Abwassereinleitungen aus Kanalisationen bei Regenwetter und an die Anlagen zur Regenwasserbehandlung beziehen.

4.2 Grenzwerte der physikalischen Belastung

Hier werden Grenzwerte für physikalische Belastungen festgelegt. Dies sind hydraulisch-mechanische Beeinträchtigung und nachteilige Veränderungen des Temperaturregimes.

4.2.1 Hydraulisch-mechanische Beeinträchtigungen

Als Parameter der hydraulisch-mechanischen Beeinträchtigung der Fließgewässer werden *Durchflusswerte* bestimmt, die zur Erosion des Flussbettes führen können. Der Grenzbefluss für Geschiebetrieb wird anhand der Flussbettcharakteristik bestimmt [24], die tolerierbaren Häufigkeiten von Geschiebe-

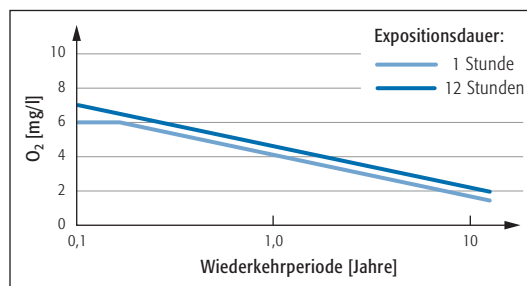


Abb. 3 Anforderungen an die minimalen Sauerstoffkonzentrationen in Dänemark für Forellengewässer [21].

Wiederkehrintervall	Minimale Konzentration des gelösten Sauerstoffs [mg/l] während der Dauer von:		
	1 Stunde	6 Stunden	24 Stunden
1 Monat	5,0	5,5	6,0
3 Monate	4,5	5,0	5,5
1 Jahr	4,0	4,5	5,0

Tab. 4 Grenzwerte der Sauerstoffkonzentrationen (nach [22]). Die tabellierten Werte basieren auf ökotoxikologischen Tests mit Forellen und gelten bei Ammoniakkonzentrationen < 0.02 mg NH₃-N/l. Bei grösseren Konzentrationen gelten folgende Korrekturwerte: Konzentration NH₃-N Korrekturwerte für O₂
0.02 – 0.15 mg/l + 1 mg/l
> 0.15 mg/l + 2 mg/l

triebereignissen aufgrund des ökomorphologischen Zustandes in der Umgebung der Kanalisationseinleitung [8]. Die Anzahl der tolerierbaren kritischen Ereignisse pro Jahr hängt vom ökomorphologischen Zustand (Klasse I–IV) eines Fließgewässers ab und schwankt zwischen 0.5 und 10 (Tab. 5).

Der ökomorphologische Zustand wird definiert durch die Breitenvariabilität des Wasserspiegels, die Verbauung der Sohle, die Verbauung des Böschungsfusses und die Beschaffenheit des Uferbereichs. Dieser Zustand charakterisiert das *Wiederbesiedlungspotential* (abhängig vom ökomorphologischen Zustand oberhalb der Einleitung) und die Verfügbarkeit von *Refugialräumen* (abhängig von der Breitenvariabilität des Wasserspiegels unter-

Ökomorphologische Qualität	Max. Anzahl kritischer Ereignisse pro Jahr		
	Breitenvariabilität:		
	ausgeprägt	eingeschränkt	keine
Klasse I	10	5	3
Klasse II	5	3	1
Klasse III & IV	3	1	<1

Tab. 5 Grenzwerte der hydraulisch-mechanischen Belastung [8]: Klasse I bedeutet «natürlich/naturnah», Klasse II «wenig beeinträchtigt», Klasse III «stark beeinträchtigt» und Klasse IV «naturfremd/künstlich» [25].

Projekt «STORM»: Abwassereinleitungen aus Kanalisationen bei Regenwetter

halb der Einleitung). Diese Angaben werden im Rahmen des Modul-Stufen-Konzepts bei der systematischen ökomorphologischen Beurteilung der Fliessgewässer ermittelt [25].

4.2.2 Temperatur

Die Angaben zu Änderungen im Temperaturregime in der GSchV, Anhang 2, Art. 4 sind in dieser Form nur für dauerhafte Einleitungen sinnvoll. Für die Beurteilung von eventuellen kurzfristigen Beeinträchtigungen bei Regenwetter sind sie nicht geeignet.

Die Beurteilung einer möglichen kurzfristigen Beeinträchtigung der Temperatur in einem kleineren Fliessgewässer beruht auf einem Screeningverfahren und einer eventuell folgenden detaillierten Analyse. Dieses *Screeningverfahren* wird in einer späteren GWA-Publikation dieser Artikelserie ausführlich beschrieben. Eine detaillierte Analyse wird durchgeführt, wenn eine oder mehrere der tabellierten Einleitbedingungen respektive Grenzwerte für Einleitungen aus Kanalisationen bei Regenwetter nicht eingehalten werden (Tab. 6).

Die Angaben in *Tabelle 6* beziehen sich auf eine Erwärmung des Wassers. Im Winterhalbjahr kann jedoch auch eine Abkühlung im Vorfluter auftreten, wenn Schnee von Siedlungs- und Verkehrsflächen in den Gewässern entsorgt wird. Es handelt sich dabei allerdings nicht um eine Abwassereinleitung aus Kanalisationen im eigentlichen Sinn. Für diese Situation können keine minimalen Werte der Wassertemperatur angegeben werden. Da diese Periode jedoch kritisch für die embryonale Entwicklung von Fischen ist, soll die Entsor-

gung von Schnee in kleinen und grossen Bächen (Tab. 1) unterlassen werden. So können auch Gewässerverunreinigung durch eventuell im Schnee enthaltene Schadstoffe verhindert werden.

4.3 Grenzwerte der hygienischen Belastung

Die hygienischen Voraussetzungen für das Baden in der Schweiz (GSchV, Anhang 2, Artikel 11^{1e}) basieren auf den «Empfehlungen für die hygienische Beurteilung von See- und Flussbädern» [26]. Obwohl *Mischwassereinleitungen* bekanntlich eine bedeutende Gefährdung der Badehygiene darstellen, wird die Situation bei und unmittelbar nach einem Regen nur sporadisch gezielt und systematisch untersucht. Dies haben Nachfragen in mehreren Schweizer Kantonen ergeben. Deshalb werden im Rahmen dieses Projektes Hinweise für eine gezielte Untersuchung in entsprechenden Lokalisationen ausgearbeitet und in dieser Artikelserie veröffentlicht.

Jede Mischwassereinleitung im Zustrombereich eines Badeplatzes gefährdet auch bei grossen Mischwasser verdünnungen die Hygiene des Badens. Der Zustrombereich kann nicht exakt bestimmt werden, allerdings kann es sich bei Fliessgewässern um Distanzen von mehr als zehn Kilometern handeln, da die Überlebensdauer von pathogenen Keimen in Gewässern ohne weiteres mehrere Tage betragen kann. Bei Seen sind die lokalen Strömungsverhältnisse massgebend. Beim Verdacht einer möglichen Beeinträchtigung ist eine gezielte und systematische Untersuchung der *Badewasserqualität* unmittelbar nach Regenereignissen erforderlich.

Die Anforderungen an die Badewasserqualität in *Tabelle 7* stammen aus den «Empfehlungen für

die hygienische Beurteilung von See- und Flussbädern» [26].

Falls in Stichproben die Klassen C oder D festgestellt werden, müssen die Ursachen der hygienischen Beeinträchtigung durch nähere Untersuchungen identifiziert werden. Diese stellen dann die Grundlage für die Festlegung der tolerierbaren Emissionen oder für operative Massnahmen (z.B. Information der Bevölkerung oder temporäre Badeverbote) dar.

4.4 Ästhetische Belastung

Für die Einleitung von *Grobstoffen* aus Regenüberläufen der Mischkanalisation gibt es keine Grenzwerte. Allerdings kann aus Beobachtungen hergeleitet werden, dass Mischwasserüberläufe, die als Hochwasserentlastungen nach AfU 1977 [5] konzipiert sind, in der Regel nur geringe ästhetische Probleme in Gewässern verursachen. Daraus folgt, dass alle Regenüberläufe der Mischkanalisation, die nicht als Hochwasserentlastungen konzipiert sind, durch Massnahmen zur Zurückhaltung von Grobstoffen (z.B. Rechen etc.) ausgerüstet werden sollen. In identifizierten Problemfällen sollen entsprechende Massnahmen auch bei Hochwasserentlastungen eingesetzt werden. Für die Dimensionierung der Hochwasserentlastungen sind nach wie vor die Empfehlungen vom AfU 1977 [5] massgebend.

Die Trübung, Verfärbung und Schaumbildung infolge Abwassereinleitungen aus Regenüberläufen der Mischkanalisation kann bei Gewässern mit hohen Ansprüchen an die Ästhetik ebenfalls zu Problemen führen. Die Anzahl der identifizierten oder jährlich tolerierbaren Beeinträchtigungen soll mindestens auf die Anzahl der Entlastungen aus einer Hochwasserentlastung reduziert werden.

Temperaturparameter	Grenzwert
Maximale Temperatur nach der Einleitung aus der Kanalisation (Sommerhalbjahr)	< 25°C
Maximale Temperatur nach der Einleitung aus der Kanalisation (Winterhalbjahr)	< 12°C
Maximal tolerierbare Änderung der Temperatur durch Einleitung aus der Kanalisation	< 7°C

Tab. 6 Grenzwerte für die Wassertemperatur im Vorfluter.

Qualitätsklasse	E. coli pro 100 ml	Salmonellen pro 1000 ml
Klasse A	< 100	nicht nachweisbar
Klasse B	100 bis 1000	nicht nachweisbar
Klasse C	< 1000 > 1000	nachweisbar nicht nachweisbar
Klasse D	> 1000	nachweisbar

Tab. 7 Anforderungen an die Badewasserqualität gemäss den «Empfehlungen für die hygienische Beurteilung von See- und Flussbädern» [26].

Projekt «STORM»: Abwassereinleitungen aus Kanalisationen bei Regenwetter

5. Folgerungen

Die Festlegung von Anforderungen und Grenzwerten an die Abwassereinleitung aus Kanalisationen bei Regenwetter in der Schweiz basiert auf der Interpretation der verbal formulierten Anforderungen im GSchG und in der GSchV. Prinzipiell überall, wo dies sinnvoll und möglich ist, sollen aus zulässigen Immissionen lokalspezifische Emissionen hergeleitet werden. Bei der Festlegung der Anforderungen werden verschiedene Gewässerarten berücksichtigt.

Im Gegensatz zu den heutigen Anforderungen wurden in diesem Artikel komplexere, aber realistischere Anforderungen präsentiert, in denen dynamische Prozesse und langfristige Effekte berücksichtigt werden. Diese Art von Anforderungen und Grenzwerten entspricht dem momentanen Stand des Wissens und den aktuellen, immissionsorientierten Entwicklungen im Bereich Gewässerschutz bei Regenwetter.

Die Berücksichtigung der Dynamik und langfristiger Effekte in den Anforderungen bedingt, dass Auswirkungen von Regenereignissen auf Gewässer systematisch untersucht werden müssen. Sporadische oder einmalige Untersuchungen im Gewässer sind hinsichtlich Regenwetter wenig aussagekräftig.

Die praktische Umsetzung der hier vorgeschlagenen Anforderungen setzt teilweise Modelle voraus, die komplexer sind als die bisher verwendeten (nähere Informationen werden in folgenden Artikeln dieser Reihe publiziert). Der Vorteil besteht jedoch darin, dass Massnahmen vermehrt immissionsorientiert und problemspezifisch geplant werden können. Die hier vorgeschlagenen Angaben sollen in künftigen Schweizer Richtlinien berücksichtigt werden.

Literaturverzeichnis

- [1] *GSchG* (1991): Bundesgesetz über den Schutz der Gewässer (Gewässerschutzgesetz) vom 24. Januar 1991, SR 814.20, Bern.
- [2] *GSchV* (1998): Gewässerschutzverordnung vom 28. Oktober 1998, SR 814.201, Bern.
- [3] *Krejci, V. und Kreikenbaum, S.* (2004): Konzepte des Gewässerschutzes, GWA Nr. 6/2004.
- [4] *Krejci, V.* (2004): Abwassereinleitungen aus Kanalisationen bei Regenwetter, Einführung in das Projekt STORM, GWA Nr. 6/2004.
- [5] *AfU* (1977): Empfehlungen für die Bemessung und Gestaltung von Hochwasserentlastungen und Regenüberlaufbecken. Eidgenössisches Amt für Umweltschutz, Bern.
- [6] *VSA* (2002): Regenwasserentsorgung – Richtlinie zur Versickerung, Retention und Ableitung von Niederschlagswasser in Siedlungsgebieten, Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute, Zürich, November 2002.
- [7] *BUWAL* (2002): Wegleitung – Gewässerschutz bei der Entwässerung von Verkehrswegen, Hrsg. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, BUWAL, Bern.
- [8] *Fritiger, 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.
- [9] *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.
- [10] *Fischnetz* (2004): Schlussbericht des Projekts «Netzwerk Fischrückgang Schweiz», Bezug: EAWAG, 8600 Dübendorf, www.fischnetz.ch.
- [11] *Newcombe C.P., Jensen J.O.T.* (1996): Channel suspended sediment and Fisheries: a synthesis for quantitative assessment of risk and impact. *North American Journal of Fisheries and Management* 16:693–727.
- [12] *MacDonald D.D., Ingersoll C.G., Berger T.A.* (2000): Development and evaluation of consensus-based sediment quality guidelines for freshwater ecosystems. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 39, 20–31.
- [13] *EIFAC: European Inland Fisheries Advisory Commission* (1964). Water quality criteria for European freshwater fish. Report on Finely Divided Solids and Inland Fisheries. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 21 pp.
- [14] *Canadian Council of Ministers of the Environment, CCME* (1995): Protocol for the derivation of sediment quality guidelines for the protection of aquatic life. Report CCME EPC-98E, 35 pp.
- [15] *Institut Forel* (1996): Assainissement de la baie de Vidy: Qualité des sédiments, impact de la station d'épuration. Université de Genève, 59 pp.
- [16] *Rocheftort, Q., Grapentine, L., Marsalek, J., Brownlee, B., Reynoldson, T., Thompson, S., Milani D., and Logan, C.* (2000): Using Benthic assessment techniques to determine com-

bined sewer overflow and stormwater impacts in the aquatic ecosystem. *Water Qual. Res. J. Canada*, vol. 35, n°3, pp 365–397.

- [17] *European Commission* (2003): Technical Guidance Document on Risk Assessment. European Chemicals Bureau, Institute for Health and Consumer Protection, Reference EUR 20418 EN/2. 337 pp. (<http://europa.eu.int>).
- [18] *Gromaire-Mertz, M.C.* (1998): La pollution des eaux pluviales urbaines en réseau d'assainissement unitaire. Caractéristiques et origine. Thèse de doctorat de l'École nationale des ponts et chaussées (ENPC), Paris, 503 pp + Annexes.
- [19] *Gujer, W.* (2002): Siedlungswasserwirtschaft. Springer, Berlin.
- [20] *Ibisch, R.B. and Borhardt, D.* (2001): Effects of periphyton biomass and suspended solids on river bed permeability and hyporheic oxygen balances. Proceeding of the 28th Congress SIL (Societas Internationalis Limnologiae), Melbourne.
- [21] *Hvitved-Jacobsen, T.* (1985). Forurening af vandløb fra overløbsbygværker. Dansk Ingeniørforening, Spildevandskomiteen, Aalborg. (Für eine englische Version siehe auch [27].)
- [22] *FWR* (1998): Urban Pollution Management Manual (2nd ed.). Foundation for Water Research, Marlow.
- [23] *Zabel, Th., Milne, I., and Mckay, G.* (2001): Approaches adopted by the European Union and selected Member States for the control of urban pollution, *Urban Water 3* (2001) 25–32.
- [24] *BUWAL* (1998): Modul-Stufen-Konzept. Mitteilungen zum Gewässerschutz Nr. 26, Bern.
- [25] *BUWAL* (1998): Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fließgewässer: Ökomorphologie Stufe F (flächendeckend). Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, BUWAL, Bern.
- [26] *Bundesamt für Gesundheitswesen, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Verband der Kantonschemiker und Verband der Kantonsärzte*: Empfehlungen für die hygienische Beurteilung von See- und Flussbädern, Januar 1991.
- [27] *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

Anforderungen – Grenzwerte – Kanalisations-einleitungen – Mischwasser – Regenwasser

Adressen der Autoren

Luca Rossi, Dr. sc. tech.
EAWAG, CH-8600 Dübendorf
Tel. +41 (0)1 823 53 78
Fax +41 (0)1 823 53 89
luca.rossi@eawag.ch

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