

Hygienische Probleme bei Regenwetter*

Problèmes hygiéniques par temps pluie

Les rejets d'eaux pluviales et particulièrement les déversoirs d'orage ont une concentration élevée en polluants fécaux. Ces eaux contiennent entre autres des microbes pathogènes comme des bactéries, des protozoaires et des virus, qui peuvent générer des problèmes hygiéniques dans les milieux récepteurs et une utilisation restreinte de ces eaux pour les activités récréatives. Jusqu'ici, cet aspect n'a pas été pris en considération lors de la planification et l'évaluation de solutions techniques. Cet article est consacré à la prise en compte des problèmes hygiéniques, aux causes de cette pollution, aux valeurs limites pour la qualité de l'eau, à l'analyse des résultats de mesures, à la planification de mesure de protection et finalement au choix de celles-ci.

Hygienic Problems due to Wet Weather Pollutions

Waste water discharges from sewers during wet weather, especially combined sewer overflows, contain a high concentration of faecal pollutants. Possibly also pathogens like bacteria, protozoan, and viruses, which can lead to hygienic problems in the waterbodies and a constricted use for recreational purposes. So far, this aspect has not been taken into account in the planning and evaluating process of protective measures. Therefore, this paper is dedicated to the relevance of hygienic problems, the causes, the requirements for water quality, results of examinations, the planning procedure, and possible measures.

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

Simon Kreikenbaum



Abwassereinleitungen aus Kanalisationen bei Regenwetter, insbesondere Mischwassereinleitungen, enthalten eine hohe Konzentration von Verunreinigungen fäkalen Ursprungs. Darunter eventuell auch Krankheitserreger wie Bakterien, Protozoen und Viren, die zu hygienischen Problemen im Gewässer und einer eingeschränkten Erholungsnutzung führen können. Dieser Aspekt blieb bei der Planung und Beurteilung von Massnahmen bisher unberücksichtigt. Deshalb widmet sich die vorliegende Publikation der Relevanz der Hygieneproblematik, den Ursachen, den Anforderungen an die Gewässerqualität, Untersuchungsergebnissen, dem Planungsablauf sowie möglichen Massnahmen.

1. Einführung

Abwassereinleitungen aus Kanalisationen bei Regenwetter, d. h. Mischwasserüberläufe und Regenwassereinleitungen aus Trennsystemen, können hygienische Probleme in Gewässern verursachen. Dies wird ersichtlich an den Keimkonzentrationen, die z. B. im Mischwasser ohne Weiteres um einen Faktor 1000 grösser sein können als der in den Schweizer Gewässern tolerierte Wert. Als Folge davon kann die Bade- und Erholungsnutzung gefährdet werden [1, 2].

Als hygienische Gewässerbeeinträchtigung werden Belastungen durch pathogene Keime verstanden, d. h. vor allem Krankheitserreger aus dem menschlichen und tierischen Darm. Infizierte Personen scheiden fäkale pathogene

Projekt «STORM»: Abwassereinleitungen aus Kanalisationen bei Regenwetter

ne Darmbakterien und -viren aus, wodurch die Krankheitserreger bei Regenwetter via Regenüberläufe der Mischkanalisation oder via Einleitungen der Trennkanalisation in die Gewässer gelangen können [3].

Infektiöse Erreger in Oberflächengewässern werden vor allem oral, aber auch über die Schleimhäute, die Augen oder über offene Wunden aufgenommen. Ob es zu einer Erkrankung kommt, hängt von der Art des Erregers, der Belastung des Gewässers, der Verschlickungsmenge und der individuellen Konstitution des Betroffenen ab. Wird mehr als die so genannte minimale infektiöse Dosis eines Erregers aufgenommen, kann es zu einer Erkrankung kommen [3].

Hygienische Probleme in Gewässern und die damit verbundenen Folgen finden in der Öffentlichkeit und bei den Politikern in der Regel ein hohes Interesse. Die Badewasserqualität wird in der Öffentlichkeit nicht selten als Mass für den Gewässerzustand verstanden. Massnahmen zum Schutz der Bevölkerung vor hygienischen Beeinträchtigungen wie Hinweise, Warnung oder Badeverbote und die damit verbundenen Einschränkungen der Erholungsnutzung von Gewässern werden allgemein als bedeutsamer eingestuft als die ökologischen Gewässerprobleme.

Die Gewässerschutzpraxis in der Schweiz befasst sich jedoch – abgesehen von einigen identifizierten Ausnahmefällen – in der Regel nicht mit dem Problem der hygienischen Beeinträchtigung der Oberflächengewässer im Zusammenhang mit Abwassereinleitungen aus Kanalisationen bei Regenwetter. Folglich wurde diese Art der Beeinträchtigung bisher auch bei der Massnahmenplanung nicht berücksichtigt. Deshalb widmet sich die

vorliegende Publikation diesen hygienischen Gewässerbeeinträchtigungen, um das Verständnis für diese Art der Verschmutzung zu wecken und Werkzeuge zur Beurteilung bereitzustellen. Dieser Artikel beschränkt sich auf die Hygiene von Badegewässern.

2. Indikatoren der hygienischen Gewässerbeeinträchtigung

Die für hygienische Beeinträchtigungen verantwortlichen pathogenen Keime gehören einer Vielzahl unterschiedlicher Arten von Krankheitserregern an: z. B. Bakterien, Protozoen, Viren etc. Da eine direkte Untersuchung dieser pathogenen Keime mit verhältnismässigem Aufwand nicht durchgeführt werden kann, werden zur Identifikation von hygienischen Beeinträchtigungen in der Praxis Indikatororganismen verwendet. Indikatororganismen sind Organismen, die eine mögliche Anwesenheit von pathogenen Keimen biologisch ähnlicher Herkunft und damit eine potenzielle Gesundheitsgefährdung anzeigen. An Indikatororganismen für ein potenzielles Infektionsrisiko werden folgende Anforderungen gestellt [4, 5]:

- Indikatororganismen müssen die Anwesenheit spezifischer pathogener Organismen in natürlichen Gewässern zuverlässig anzeigen; dabei muss ihr Verhalten dem der pathogenen Organismen ähnlich sein.
- Sie müssen in einer viel grösseren Anzahl als die pathogenen Organismen vorkommen.
- Sie müssen mit relativ einfachen und schnellen Methoden nachweisbar sein.
- Sie müssen quantitativ nachweisbar sein.

2.1 In der Schweiz verwendete Indikatoren

In der Schweiz werden heute *Escherichia coli* (*E.coli*) und Salmonellen als Indikatoren für fäkale Verunreinigungen in Gewässern verwendet [3].

Escherichia coli oder *E.coli* ist ein relativ ungefährliches Bakterium, das in grossen Konzentrationen in Fäkalien vorkommt. Es ist ein Indiz für die mögliche Anwesenheit von pathogenen Darmbakterien und Darmviren. Abwesenheit oder geringe Konzentrationen von *E.coli* sind allerdings nicht gleichbedeutend mit der Abwesenheit von pathogenen Darmorganismen. *E.coli* ist also kein perfekter Indikator, gilt aber gegenwärtig als geeigneter Fäkalindikator [2, 3].

Salmonellen sind Erreger von z. T. schweren Durchfällen. Sie verursachen je nach Spezies typhöse oder enteritidische Erkrankungen (Entzündungen) im Darm. Die infektiöse Dosis ist vom Typ der Salmonellen und der Konstitution des Empfängers abhängig.

Salmonellen werden im Wasser häufig gefunden. Wie auch andere Infektionserreger werden Salmonellen durch herkömmliche Reinigungsverfahren nur teilweise aus dem Abwasser entfernt.

Der Nachweis von Salmonellen in Wasser ist einfach. Die in den «Empfehlungen» [3] vorgeschlagene halbquantitative Methode erfasst praktisch eine überlebende Salmonelle pro eingesetztes Probevolumen (1 Liter).

2.2 Weitere bakterielle Indikatoren

Gesamtcoliforme Bakterien sind eine methodologisch, nicht aber taxonomisch definierte Gruppe von ca. 50 Spezies. Da einige davon ausserhalb des menschlichen und tierischen Darms in der Natur verbreitet sind, ist diese Gruppe als Fäkalindikator und somit für die Beurteilung einer möglichen Gesundheitsgefährdung durch Badewasser nicht geeignet [3]. Fäkalcoliforme Bakterien sind eine methodologisch, nicht aber taxonomisch definierte Gruppe mit ca. fünf Arten aus mindestens drei Gattungen (*Escherichia*, *Klebsiella*, *Enterobacter*), die ihre optimalen Lebensbedingungen bei erhöhten Temperaturen (44 °C) vorfinden. Dennoch können sie im Gewässer eine gewisse Zeit überleben. Sie vermehren sich im Darmtrakt von Menschen und warmblütigen Tieren. In den Gewässern können sie eine gewisse Zeit überleben, ohne sich jedoch vermehren zu können. Wegen des hohen Anteils der miterfassten *E.coli* (ca. 60 %) ergibt die fä-

Projekt «STORM»: Abwassereinleitungen aus Kanalisationen bei Regenwetter

kalcoliforme Gruppe eine höhere fäkale Spezifität als die Gruppe der Gesamtcoliformen [3]. In vielen Ländern ausserhalb der Schweiz (so z. B. im EU-Raum) wird auch der Nachweis «fäkaler Streptokokken» (intestinale Entero kokken, IE) zur Überwachung der Badewasserqualität eingesetzt. Aufgrund grösserer Uneinheitlichkeit der in dieser Gruppe erfassten Bakterien und ihres z. T. ubiquitären Vorkommens erscheinen «fäkale Streptokokken» zumindest für die Indikation abwasserbürtiger fäkaler Verunreinigungen weniger geeignet als *E.coli*. Andererseits deutet ihr erhöhtes Vorkommen in durch tierische Fäkalien (Weidebetrieb, Gülle) beeinflussten Gebieten [2, 6] auf Indikationspotentiale, die von *E.coli* weniger gut abgedeckt werden können. Allerdings kann bis jetzt – im Gegensatz zu Siedlungsabwasser – noch nicht von einer einheitlichen Bewertung des Gesundheitsrisikos durch bakterielle Belastungen von diesen Quellen ausgegangen werden.

Qualitätsklasse	<i>E.coli</i> -Konzentration [<i>E.coli</i> /100 ml]	Salmonellenkonzentration [Salmonellen/1000 ml]
Klasse A	<100	nicht nachweisbar
Klasse B	100–1000	nicht nachweisbar
Klasse C	>1000 <1000	nicht nachweisbar nachweisbar
Klasse D	>1000	nachweisbar

Tab. 1 Qualitätsklassen hinsichtlich Hygiene [3].

2.3 Andere hygienische Indikatoren

Die bisher erwähnten Indikatoren beschränken sich auf Bakterien. Diese erlauben allerdings nur bedingt eine Aussage über das Umweltverhalten von Protozoen und Viren. Deshalb wird im Folgenden auch auf diese beiden Kategorien von Indikatoren eingegangen. Seit den 70er-Jahren wird diskutiert und untersucht, welche Gesundheitsrisiken von parasitischen Protozoen, v. a. der Gattungen *Cryptosporidium* und *Giardia*, im Wasser ausgehen. Ihre Aufnahme über verunreinigtes Wasser kann zu Erkrankungen des Magen-Darm-Traktes führen. Während zunächst die Infektiosität durch Cryptosporidien eher gering eingeschätzt wurde, geht man aufgrund neuerer epidemiologischer Studien mittlerweile davon aus, dass der Befall mit Cryptosporidien mit zu den häufigsten Ursachen von Magen-Darm-Infektionen zählt, die bei immungeschwächten Personen einen lebensbedrohlichen Verlauf nehmen können. Beide genannten Protozoengruppen sind zur Bildung sehr resistenter Dau-

erstadien befähigt, die z. B. durch Chlorung nicht vollständig abgetötet werden. Unter natürlichen Umweltbedingungen sterben die Dauerstadien von Cryptosporidien und Giardien mindestens zehnmal langsamer ab als *E.coli* [7]. Protozoen wachsen im Darm von Warmblütern. Deshalb muss grundsätzlich in allen Gewässern, die mit Ausscheidungen von Warmblütern belastet sind, auch mit dem Vorkommen parasitischer Protozoen gerechnet werden. Die bislang vorliegenden Befunde sprechen allerdings dafür, dass der Haupteintrag in die Gewässer nicht über Siedlungsabwasser, sondern über tierische Ausscheidungen (Gülle, Weidebetrieb) erfolgt [8].

In Oberflächengewässern können zahlreiche humanpathogene Viren vorkommen, die bis zu 500 Tage überleben können. Eine Vermehrung im Wasser ist jedoch ausgeschlossen. Das Reservoir für humanpathogene Viren ist der menschliche Darm. Erkrankte Menschen scheiden bis zu 10^{12} Partikel pro Gramm Stuhl aus. Die minimale infektiöse Dosis für den Menschen kann aber im ungünstigsten Fall durch einen Partikel erreicht werden. Die Bestimmung von humanpathogenen Viren im Badewasser wird heute nicht routinemässig durchgeführt, da die entsprechenden Untersuchungsmethoden noch nicht vorhanden sind. Für die Beurteilung der Gesundheitsgefährdung durch Badewasser wäre sie jedoch anzustreben [3].

3. Anforderungen an die Wasserqualität

Über die hygienische Qualität in Oberflächengewässern findet sich in Anhang 2, Abschnitt 1.11 der *Gewässerschutzverordnung* [9] folgende allgemeine Vorschrift:

¹ Die Wasserqualität muss so beschaffen sein, dass:
e. die hygienischen Voraussetzungen für das Baden dort gewährleistet sind, wo das Baden von der Behörde ausdrücklich gestattet ist oder wo üblicherweise eine grosse Anzahl von Personen badet und die Behörde nicht vom Baden abrät.

3.1 In der Schweiz angewendete Empfehlungen

Zur Umsetzung dieser Vorschrift werden in der Schweiz vier Qualitätsklassen hinsichtlich Hygiene verwendet (Tab. 1), aus denen sich die folgenden Beurteilungen und Massnahmen ableiten lassen [3, 10].

Qualitätsklasse A:

Keine Empfehlungen an die Badegäste. Gesundheitliche Beeinträchtigungen durch Badewasser sind nicht zu erwarten. Keine Beanstandung, Stichprobenkontrolle.

Qualitätsklasse B:

Keine Empfehlungen an die Badegäste. Gesundheitliche Beeinträchtigungen durch Badewasser sind nicht zu erwarten. Keine Beanstandung, regelmässige Kontrollen mindestens monatlich.

Qualitätsklasse C:

Empfehlungen an die Badegäste wie z. B. «Nicht tauchen», «Nach dem Baden gründlich duschen». Gesundheitliche Beeinträchtigungen durch Badewasser sind nicht auszuschliessen. Beanstandung, Nachkontrolle innert sieben Tagen, bei erneuter Beanstandung erfolgen Empfehlungen.

Qualitätsklasse D:

Warnung an die Badegäste wie z. B. «Baden mit gesundheitlichem Risiko verbunden», «Aus gesundheit-

Projekt «STORM»: Abwassereinleitungen aus Kanalisationen bei Regenwetter

Abwasserart	Bereich [<i>E.coli</i> /100 ml]	Median [<i>E.coli</i> /100 ml]	Anzahl der Proben [-]
Zulauf in kommunale Kläranlagen	10 ⁶ –10 ⁸	2,8 x 10 ⁷	73
Ablauf von mechanisch-biologischen Kläranlagen	10 ³ –10 ⁴	1,3 x 10 ⁴	284
Ablauf aus Kläranlagen mit Flockungsfiltration	10 ² –10 ³	1,1 x 10 ³	119
Kleinkläranlagen	<10 ¹ –10 ²	1,2 x 10 ¹	14
Mehrkammergruben	10 ³ –10 ⁶	1,4 x 10 ⁶	10
Regenüberläufe aus der Mischkanalisation	10 ⁴ –10 ⁷	8,3 x 10 ⁵	88
Regenwasser aus der Trennkanalisation [15]	10 ¹ –10 ⁵	1,5 x 10 ³	keine Angaben

Tab. 2 Gemessene *E.coli*-Konzentrationsbereiche in verschiedenen Abwässern aus dem nördlichen Bodenseeeinzugsgebiet [2]. Die *E.coli*-Konzentrationen im Regenwasser sind stark abhängig von Fehlan schlüssen.

lichen Gründen wird vom Baden abgeraten». Gesundheitliche Beeinträchtigungen durch Badewasser sind möglich. Beanstandung, Nachkontrolle innert sieben Tagen, bei erneuter Beanstandung wird in Absprache mit dem Kantonsarzt eine Warnung herausgegeben.

3.2 Europäische Richtlinie über die Qualität der Badegewässer

Die derzeit gültige *EU-Badegewässer-Richtlinie* [11] gibt für die Nutzung abwasserbelasteter Oberflächengewässer als Badegewässer Leit- und Grenzwerte für hygienisch relevante Mikroorganismen, wie Gesamt- und Fäkalcoliforme, Fäkalstreptokokken, Salmonellen und Darmviren an. Die Qualifizierung der Badegewässer erfolgt anhand von Mindestanforderungen (Grenzwerte) und anzustrebenden Qualitätszielen (Richtwerte) für gesamtcoliforme und fäkalcoliforme Bakterien. «Gute Qualität» wird einer Badestelle bescheinigt, wenn 80 % der untersuchten Wasserproben die mikrobiologischen Richtwerte einhalten.

In den letzten Jahren ist die bereits über 25 Jahre alte Richtlinie überarbeitet worden. Im neuesten Vorschlag [12] werden die zu überwachenden mikrobiologischen Parameter auf zwei reduziert: intestinale Enterokokken, IE, und *E.coli*. Diese sollen das Verhältnis zwischen

Fäkalverschmutzung und Gesundheitsrisiken in Erholungsgewässern am besten darstellen. Die Badegewässer sollen künftig in die Kategorien «ausgezeichnet», «gut» oder «mangelhaft» eingestuft werden.

«Ausgezeichnete» Qualität bedeutet: 95 % der Untersuchungen weisen höchstens 250 *E.coli*/100 ml und 100 IE/100 ml auf. Bei «guter» Qualität liegen die 95 %-Perzentile bei höchstens 500 *E.coli*/100 ml und 200 IE/100 ml. Bei «mangelhafter» Qualität sind die 95 %-Perzentile grösser als 500 *E.coli*/100 ml oder 200 IE/100 ml.

Die zuständigen Behörden sollen zudem die Gewässer so bewirtschaften, dass die zum Baden genutzten Gewässer möglichst in die Kategorie «ausgezeichnet» einzu-stufen sind.

Die geplante Revision der EU-Richtlinie über die Qualität der Badegewässer führt mit der Untersuchung der intestinalen Enterokokken (Darmenterokokken) eine zweite obligate Gruppe von Indikatorbakterien ein. Wie sich aus baden-württembergischen Untersuchungen von Bodenseebädern zeigt, wäre danach mit einer höheren Zahl von kritischen Badestellen zu rechnen. Dafür wird nicht einmal so sehr der verschärfte *E.coli*-Grenzwert, sondern vor allem die Einführung der IE-Indikatorgruppe ausschlaggebend sein. Es gibt nämlich

einige Bäder, für die IE- und die *E.coli*-Belastung sehr unterschiedlich sind. Das darf als weiterer Hinweis für den unterschiedlichen Indikationswert beider Gruppen gesehen werden (siehe oben).

4. Quellen hygienischer Beeinträchtigungen bei Regenwetter

Die wichtigsten Quellen hygienischer Beeinträchtigungen bei Regenwetter sind Abläufe von Kläranlagen, Mischwasserüberläufe, Regenwassereinleitungen aus Trennsystemen, Abwassereinleitungen aus Trennsystemen aufgrund von Fehlan schlüssen, diffuse Quellen wie z. B. Abschwemmungen aus der Landwirtschaft (Gülle), die Resuspension von Sedimenten und natürliche Belastungen z. B. durch Wasservögel. Abläufe von Kläranlagen stellen häufig die Grundlast dar, die nicht nur bei Regenwetter, sondern auch bei Trockenwetter auftritt. Zu den diffusen Quellen gilt es zu erwähnen, dass eine quantitative Abschätzung nur schwer durchführbar ist. Vorliegende Untersuchungen sprechen allerdings nicht dafür, dass diffuse Quellen allein Ursache für Spitzenlasten sein können.

Der Einfluss von Resuspension von Sedimenten wurde mittels Stichproben in Fliessgewässern in der Bodenseeregion (Baden-Württemberg, Deutschland) ermittelt. Diese Untersuchungen deuten auf zum Teil erhebliche Konzentrationen von *E.coli* im Porenwasser hin, die bis zu zwei Zehnerpotenzen über den Konzentrationen im Flusswasser liegen können [2].

In der öffentlichen Diskussion wird immer auch die «natürliche» Belastung durch Wasservögel als mögliche Ursache für hygienische Gewässerbelastungen angeführt. Für diese ist allerdings eine Zunahme bei Regenwetter unwahrscheinlich. Zudem ergaben sich für diese Belastungsquelle keine Hinweise als Ursache für Spitzenbelastungen in grösseren natürlichen Badegewässern [4, 13].

Aus zahlreichen Untersuchungen im nördlichen Bodenseeeinzugsgebiet [2, 4, 14] wurden Angaben über die Grössenordnungen von *E.coli*-Konzentrationen in verschiedenen Abwasserarten zusammengestellt (Tab. 2). Wegen ähnlicher Landschafts- und Siedlungscharakteristik kann davon ausgegangen werden, dass die dort gefundenen Werte auch auf die Verhältnisse im Schweizer Mittelland übertragbar sind.

Die Werte in Tabelle 2 zeigen, dass die *E.coli*-Konzentrationen in Mischwasserüberläufen

Projekt «STORM»: Abwassereinleitungen aus Kanalisationen bei Regenwetter

um ca. zwei bis drei Zehnerpotenzen höher sein können als in Abläufen von Kläranlagen. Zieht man zusätzlich noch die im Vergleich zu Kläranlagenabläufen meistens wesentlich größeren Überlaufmengen in Betracht, so wird ersichtlich, dass Mischwasserüberläufe – zumindest in der Umgebung der Einleitung in die Gewässer – eine bedeutende Quelle hygienischer Gewässerbeeinträchtigungen sein können (Abb. 1).

Aus den Untersuchungsdaten im Bodenseegebiet [2] konnte eine hohe Korrelation zwischen Regenabfluss und den Konzentrationen von *E.coli* ermittelt werden. Als niederschlagsabhängige Eintragswege kommen in erster Linie Regenüberläufe aus dem Mischsystem und Ab- und Ausschwemmungen aus landwirtschaftlichen Flächen in Frage. Zumindest bei den Untersuchungen im Bodenseeeinzugsgebiet konnte durch eine überschlägige Bilanzierung gezeigt werden, dass der Beitrag aus Regenüberläufen die dominante Belastungsquelle im Zusammenhang mit Niederschlägen darstellt.

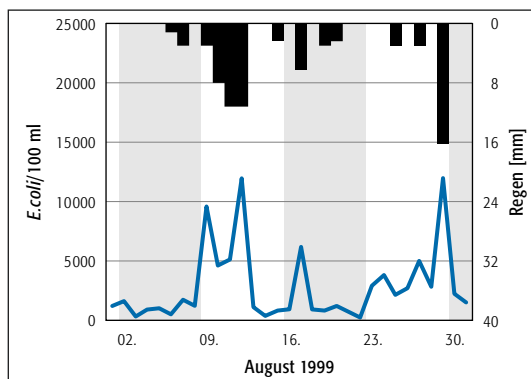


Abb. 1 Niederschlag und *E.coli*-Konzentrationen in der Salemer Aach (Baden-Württemberg, Bodenseeregion) [2].

5. Problemidentifikation aus Hygieneuntersuchungen

In der Schweiz obliegt die hygienische Kontrolle der Badequalität den Kantonen und wird gemäss den «Empfehlungen für die hygienische Beurteilung von See- und Flussbädern» durchgeführt. Bei den Untersuchungen ist gemäss diesen Empfehlungen darauf zu achten, «dass ausserordentliche Witterungsbedingungen die Beurteilung nicht verfälschen» [3]. Das heisst, in der Schweiz werden Untersuchungen in der Regel bei Trockenwetter durchgeführt und nicht gezielt bei Regenwetter, obwohl die Regenwettersituation einen massgeblichen Beitrag zur Hygieneproblema-

tik liefern kann. Aus diesen Gründen wurden in den folgenden Beispielen die Resultate der Routineuntersuchungen mit der Regenwettersituation in Verbindung gebracht, um den Einfluss der Abwassereinleitungen aus Kanalisationen bei Regenwetter abzuschätzen. Diese Beispiele werden durch eine gezielte Untersuchung aus Deutschland (Baden-Württemberg) am Bodensee ergänzt.

5.1 Kanton Aargau

Im Kanton Aargau führt das *Kantonale Laboratorium* regelmässig Routineuntersuchungen des hygienischen Zustands der Badegewässer durch. Insgesamt wird dabei von 18 Messstellen, elf in Fliessgewässern und sieben in Seen, der hygienische Zustand ermittelt und in der Klassifizierung gemäss den «Empfehlungen» [3] angegeben.

Zu den meisten Messstellen standen Daten von 27 Untersuchungen zur Verfügung. Im Nachhinein war es allerdings nicht mehr möglich, aus den in Qualitätsklassen angegebenen Messresultaten die zu Grunde liegenden *E.coli*- und Salmonellenkonzentrationen zu eruieren.

Ebenfalls nicht vorhanden waren direkte Angaben zu Mischwasserentlastungen wie Messungen oder Beobachtungen von Überlaufmengen und -dauern. Deshalb wurden Niederschlagsdaten von möglichst nahe gelegenen Regenmessstationen verwendet. Bei der Auswertung wurde den aus kantonalen Untersuchungen resultierenden Qualitätsklassen die Summe der Niederschlagshöhen der drei vorangehenden Tage vor dem Messtag der kantonalen Routineuntersuchung zugeordnet. Dabei wurde folgende Annahme getroffen: Eine aufsummierte Niederschlagshöhe von weniger als 2 mm führt höchstwahrscheinlich nicht zu Überlaufereignissen, bei 2–5 mm sind Über-

Kaiserstuhl, Rhein			
Qualitätsklasse	Niederschlagssumme		
	<2mm	2–5mm	>5mm
Klasse A	3	1	–
Klasse B	8	–	5
Klasse C	1	–	5
Klasse D	–	–	4

Meisterschwanden, Hallwilersee			
Qualitätsklasse	Niederschlagssumme		
	<2mm	2–5mm	>5mm
Klasse A	11	4	11
Klasse B	–	–	1
Klasse C	–	–	–
Klasse D	–	–	–

Tab. 3 Auswertung der hygienischen Routineuntersuchungen im Kanton Aargau (27 Untersuchungen) hinsichtlich Niederschlagshöhen der letzten drei Tage vor den Messtagen. Beispiel Rhein bei Kaiserstuhl und Hallwilersee bei Meisterschwanden. Die Zahlen entsprechen der Anzahl Messresultate in einer bestimmten Qualitäts- und Niederschlagsklasse.

läufe wahrscheinlich, bei Niederschlagshöhen von mehr als 5 mm sind Überläufe sehr wahrscheinlich. Ein Teil der Untersuchungsergebnisse liefert Hinweise auf eine Beeinflussung der Fliessgewässer durch Mischwasserüberläufe (Tab. 3). Allerdings erlauben die momentan vorhandenen, relativ groben Informationen hinsichtlich hygienischer Qualität und Überlaufhäufigkeit keine genauere Analyse. Es wäre deshalb sinnvoll, in Zukunft in einigen ausgewählten Fällen die Zusammenhänge bei Regenwetter näher abzuklären, d. h. regenwetterspezifische Untersuchungen durchzuführen, die Rückschlüsse auf die Dynamik der hygienischen Belastung zulassen.

Bei den Seen wurde in keinem Fall die Qualitätsstufe D festgestellt, die meisten Bewertungen lagen im Bereich A und B und dies auch in Gebieten, wo die Mischwasserüberläufe in der Nähe der Badeplätze (direkt am Ufer und nicht durch lange Leitungen) in die Seen eingeleitet werden (Tab. 3). Mögliche Gründe dafür könnten Strömungen im See

Projekt «STORM»: Abwassereinleitungen aus Kanalisationen bei Regenwetter

sein oder Temperaturunterschiede zwischen See- und Mischwasser. Wenn das Mischwasser kälter ist als das Seewasser an der Oberfläche, wird es tiefer im See eingeschichtet.

5.2 Kanton Bern

Im Jahre 1992 hat das *Gewässer- und Bodenschutzlabor* des Kantons Bern im Rahmen der «Bakteriologischen Untersuchung verschiedener Kläranlagen der Region Bern-Thun» u. a. auch den bakteriologischen Zustand der Aare bei Regenfällen bewertet [16].

In der Region Bern gibt es viele Mischwasserentlastungen und -überläufe, die sich oberhalb der öffentlichen Flussbäder oder der nicht speziell deklarierten Badeplätze befinden. Bei starken Regenereignissen tritt das Mischwasser direkt oder via Seitengewässer in die Aare. So können Entlastungs- und Überlaufereignisse u. a. die Bäder Eichholz und Marzili beeinträchtigen.

Aus dem oben erwähnten Bericht über die Untersuchungen besteht mindestens ein Verdacht, dass bei Regenfällen, gekoppelt mit Entlastungs- und Überlaufereignissen, die Aare gemäss den Qualitätsklassen aus den «Empfehlungen» örtlich und temporär in die Qualitätsklasse C oder D einzustufen ist. Allerdings erlauben die Resultate dieser Untersuchungen keine näheren Aussagen be-

züglich der zeitlichen und der räumlichen Beeinträchtigung der Bäder. Gemäss diesem Bericht über die oben aufgeführte Untersuchung kann eine wesentliche Verbesserung kurzfristig nicht erreicht werden. Langfristig ist eine Verlegung grosser Überlauf- und Entlastungsbauwerke und eine entsprechende Behandlung des Regenwassers (Rückhaltebecken, Versickerung) in Betracht zu ziehen, so dass die Häufigkeit der Mischwasserüberläufe reduziert oder dass das Mischwasser von Badestellen ferngehalten werden kann.

Im Sommer 1993 wurden weitere Untersuchungen (Stichproben) an der Aare beim Marzilbad durchgeführt. Daraus geht eine deutliche Beeinträchtigung der Aare am 23. August im Zusammenhang mit einem starken Regenfall hervor. Am nächsten Tag sind jedoch an der gleichen Stelle wesentlich kleinere *E.coli*-Konzentrationen gemessen worden (Abb. 2).

Im Rahmen des Projektes «STORM» wurden zudem die hygienischen Routineuntersuchungen der Aare in den letzten Jahren bei der Wohleibrücke, der Dalmazibrücke und der Felsenaubrücke via aufsummierte Niederschlagshöhen mit der Überlauf-tätigkeit in Verbindung gebracht. Dabei wurde den aus kantonalen Untersuchungen resultierenden Qualitätsklassen die Summe der Niederschlagshöhen der drei vorangehenden Tage vor dem Messtag der kantonalen Routineuntersuchung zugeordnet. Die Qualitätsklassen C und D treten weniger häufig bei Niederschlagssummen $h_N \leq 5$ mm auf als bei $h_N > 5$ mm. Dies deutet auf eine Verschlechterung der hygienischen Situation in der Aare bei Regenwetter hin (Tab. 4).

5.3 Bodensee bei Langenargen (D)

Auch an der weit überwiegenden Zahl der Bodenseestrandbäder

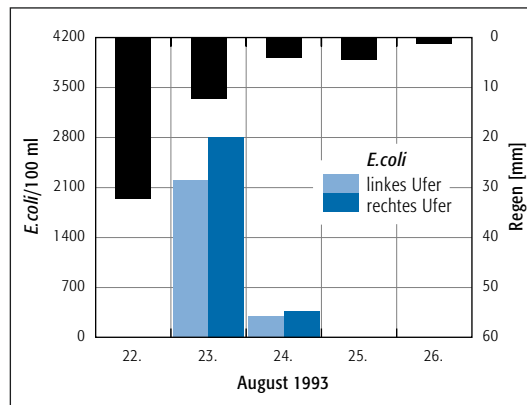


Abb. 2 Niederschlag und *E.coli*-Konzentration in der Aare.

werden Keimkonzentrationen beobachtet, die der Qualitätsklasse A und B entsprechen. Lediglich Schwimmbäder in der Nähe von abwasserbelasteten Zuflüssen weisen zeitweise erhöhte Werte im Bereich der Qualitätsklasse C und D auf. Am Fallbeispiel des an der Mündung der Schussen (natürliches Einzugsgebiet ca. 800 km², mittlerer Abfluss = 10 m³/sec, Einwohner = 200 000, Vorfluter für 20 Kläranlagen) gelegenen Strandbads Langenargen konnte anhand von Untersuchungen mit täglicher Probenahme während der Badesaison gezeigt werden, dass kritische Keimkonzentrationen nur nach Niederschlägen und Einmischung von durch Regenüberläufe belastetem Flusswasser erreicht wurden. Da der zur Ursachenbeseitigung erforderliche Ausbau der Regenrückhaltung wegen der dafür nötigen hohen Aufwendungen nur mittelfristig realisierbar ist, wurde als Übergangslösung erstmals im Sommer 1995 ein Frühwarnsystem eingerichtet, das auf der in den Voruntersuchungen nachgewiesenen Abhängigkeit der Keimdichte von den Niederschlagsereignissen der Zuflüsse basiert. Eine Warnung – und damit ein Badeverbot in den Strandbädern – durch Hisen einer roten Flagge erfolgte dann, wenn entweder ein Überlaufereignis und/oder das Überschreiten der festgelegten Abflussmenge am Flusspegel registriert wurden. Nach einer Warnauslösung musste das Badeverbot in den Bädern aus Sicherheitsgründen mindestens noch einen weiteren Tag aufrechterhalten werden.

Nach Abschluss der Erprobungsphase mit täglicher Probenahme in Schussen und Argen während der Badesaison 1995 konnte festgestellt werden, dass während der Freigabe der Bäder in keinem Fall kritische Keimkonzentrationen festgestellt wurden (Abb. 3). Die (wenigen) Beobachtungen von Grenzwertüber-

Bern, Aare			
Qualitätsklasse	Niederschlagssumme		
	<2mm	2–5mm	>5mm
Klasse A	2	1	10
Klasse B	40	3	9
Klasse C	4	2	9
Klasse D	1	1	10

Tab. 4 Auswertung der hygienischen Routineuntersuchungen der Aare bei der Wohleibrücke, der Dalmazibrücke und der Felsenaubrücke im Hinblick auf die Niederschlagshöhen in den letzten drei Tagen vor den Messtagen. Die Zahlen entsprechen der Anzahl Messresultate in einer bestimmten Qualitäts- und Niederschlagsklasse.

Projekt «STORM»: Abwassereinleitungen aus Kanalisationen bei Regenwetter

schreitungen waren hingegen ausnahmslos von Alarmmeldungen begleitet. Somit hat das Warnsystem den Anforderungen der Zuverlässigkeit und Vorsorge voll entsprochen und hat sich auch in den nachfolgenden Jahren bewährt.

5.4 Weitere Schweizer Untersuchungsbeispiele

In der Schweiz wurden noch weitere Untersuchungen zur Beurteilung des hygienischen Zustands der Gewässer durchgeführt, die hier kurz vorgestellt werden:

Die Wasserversorgung Zürich hat in einer Messkampagne vom 31. August bis 1. September 1992 unter anderem die Keimkonzentrationen im Zürichsee an der Oberfläche ermittelt. Ein Regenereignis am Nachmittag des ersten Messtags (Zürich SMA: $h_N = 25.9$ mm, $r_{max} = 30 \text{ l s}^{-1} \text{ ha}^{-1} = 3 \text{ } \mu\text{m/s}$) beeinflusste die Messergebnisse nachweislich. Vor dem Regenereignis betragen die maximale und die durchschnittliche *E.coli*-Konzentrationen 210 resp. 20 *E.coli*/100 ml. Nach dem Gewitter lagen die maximale und die durchschnittliche *E.coli*-Konzentrationen bei 7200 resp. 170 *E.coli*/100 ml.

Vom Kanton St.Gallen wurde unter anderem die hygienische Qualität der Steinach und des Bodensees im Mündungsbereich der Steinach untersucht. In der Steinach wurden erhöhte Keimkonzentrationen sowohl bei Trockenals auch bei Regenwetter gemessen. Die erhöhten *E.coli*-Konzentrationen bei Regenwetter können durch den hohen Anteil an gereinigtem Abwasser in der Steinach erklärt werden, der 80 % am gesamten Durchfluss betragen kann. Ein Vergleich der Messstellen

vor und nach der Einleitung der Kläranlage (ARA Hofen) ergibt einen deutlichen Anstieg der *E.coli*-Konzentrationen.

Die Badestrände des Genfersees werden ebenfalls routinemässig auf ihre hygienische Qualität hin untersucht. Die Ergebnisse können auf der Webseite der Internationalen Kommission zum Schutz des Genfersees, CIPEL, abgerufen werden (www.cipel.org).

5.5 Fazit: Zur Beurteilung der Regenwettersituation benötigte Daten

Die Schweizer Beispiele von hygienischen Routineuntersuchungen haben gezeigt, dass diese Untersuchungen der Kantonslabors hinsichtlich Abwassereinleitungen aus Kanalisationen bei Regenwetter schwierig zu interpretieren sind. Die stichprobenartig, teilweise in regelmässigen Zeitabständen durchgeführten Untersuchungen sind für eine regenwetterspezifische Interpretation nicht optimal. Für unsere Zwecke sind diese Routineuntersuchungen nicht ausreichend, da die Einteilung in die vier Qualitätsklassen (A, B, C und D) ein Informa-

tionsverlust darstellt. Besser wäre eine direkte Verwendung der *E.coli*- und Salmonellenkonzentrationen. Zudem sind die über drei Tage aufsummierten Niederschlagshöhen – ein Ersatz für Informationen zum Verhalten der Entwässerungsnetze bei Regenwetter – als Grundlage für eine Beurteilung nicht genau genug.

Um die Gefährdung der Bade- und Erholungsnutzung von Gewässern durch Mischwasserüberläufe und Einleitungen aus Regenwasserkanälen zukünftig besser beurteilen zu können, sollen zukünftig im Verdachtsfall regenwetterspezifische Informationen erhoben werden. Dies sind:

- Überlaufmengen und -dauern,
- *E.coli*-Konzentrationen im Überlauf (falls machbar),
- zeitlicher Verlauf der *E.coli*-Konzentration im Gewässer,
- räumliche Verhältnisse, Anordnung von Einleitungen und Badeplätzen,
- bei Fließgewässern: Durchfluss,
- bei Seen: Temperatur des Regenabflusses und Temperaturprofil des Sees,

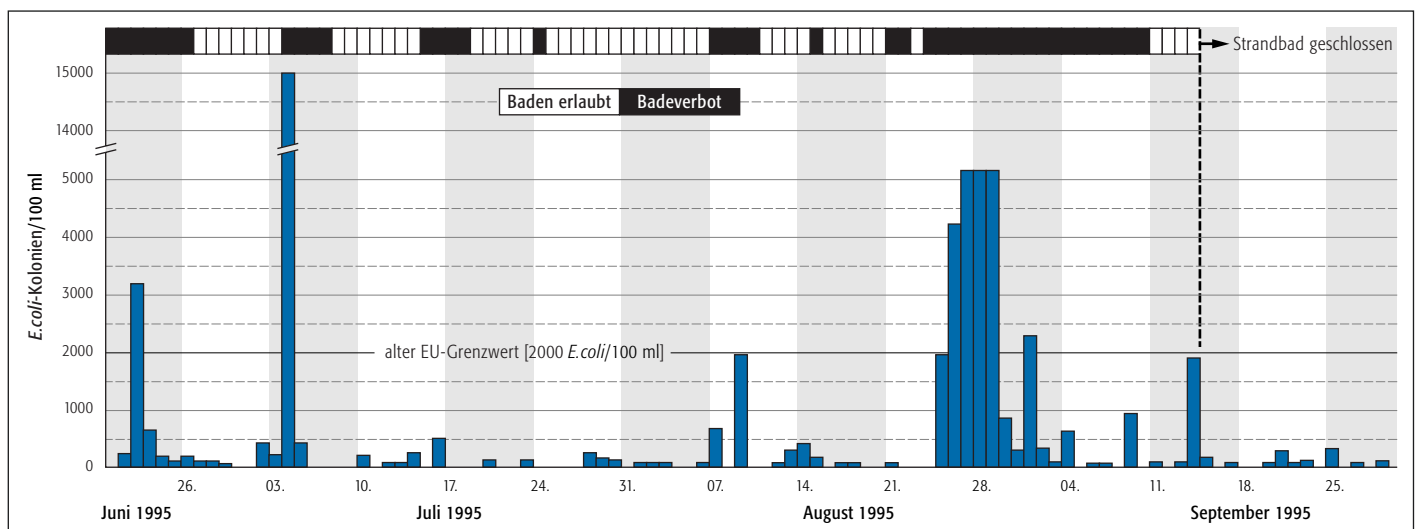


Abb. 3 Erprobung des Warnsystems für *E.coli*-Belastung am Strandbad Langenargen während der Badesaison 1995 vom 20. Juni bis 15. September 1995.

Projekt «STORM»: Abwassereinleitungen aus Kanalisationen bei Regenwetter

- bei Seen und Fließgewässern: evtl. Strömungs- und Mischungsverhältnisse.

6. Ablaufschema zur Beurteilung und Lösung hygienischer Probleme

Die Beurteilung des Einflusses von Abwassereinleitungen aus Kanalisationen bei Regenwetter hinsichtlich hygienischer Probleme in Oberflächengewässern bedarf der Mitwirkung verschiedener Akteure: des Kantonschemikers resp. der kantonalen Behörde (Abteilung für Gewässerschutz, kantonales Labor und evtl. Kantonsarzt), der Gemeinde und des Ingenieurs. Um die Beurteilung und Lösung hygienischer Probleme durchzuführen, kann nach folgendem, *neun Schritte* umfassendem Ablaufschema vorgegangen werden:

- I. Routineuntersuchungen der hygienischen Qualität gemäss den «Empfehlungen für die hygienische Beurteilung von See- und Flussbädern» [3] durch den/die Kantonschemiker/-in oder das kantonale Labor. Weisen diese Untersuchungen auf ein Problem hin?
- II. Abklärung der lokalen Nutzungsanforderungen durch den/die Ingenieur/-in. Befindet sich eine Badeanstalt oder ein Ort, wo üblicherweise gebadet wird, im Einflussbereich von Mischwasserentlastungen oder Regenwassereinleitungen aus dem Trennsystem (für nähere Informationen zum Einflussbereich siehe [1])?
- III. Abklärung der Relevanz hygienischer Beeinträchtigungen aufgrund von Abwassereinleitungen aus Kanalisation bei Regenwetter durch den/die Ingenieur/-in. Schätzung der Überlaufmengen, Häufigkeiten etc.

- IV. Informationsaustausch zwischen kantonaler Behörde (Abteilung für Gewässerschutz, kantonales Labor) und Ingenieur/-in zur Abklärung, ob ein Verdacht auf hygienische Beeinträchtigungen besteht. Falls ein Verdacht besteht, d. h. wenn I bis III auf ein mögliches Problem hindeuten, müssen die Ursachen abgeklärt werden. Sind Mischwassereinleitungen verantwortlich?
- V. Die kantonale Behörde (kantonales Labor, evtl. Kantonsarzt) entscheidet, ob gezielte Untersuchungen nötig sind. Falls ja, entscheidet sie zusätzlich, ob die Untersuchungen auch regenwetterspezifisch durchgeführt werden.
- VI. Auswertung der Resultate und Interpretation der hygienischen Beeinträchtigung sowie deren Zusammenhänge durch den/die Ingenieur/-in.
- VII. Abklärung des Handlungsbedarfs in Zusammenarbeit zwischen kantonaler Behörde (Abteilung für Gewässerschutz, kantonales Labor), planender Gemeinde und Ingenieur/-in.
- VIII. Erstellung von Varianten möglicher Massnahmen sowie deren Bewertung hinsichtlich Kostenwirksamkeit durch den Ingenieur/-in.
- IX. Entscheid durch die (planende) Gemeinde und die kantonale Behörde (Abteilung für Gewässerschutz, kantonales Labor).

7. Mögliche Massnahmen

Die Lösung hygienischer Probleme in Gewässern ist nicht trivial: Aufgrund der hohen Keimkonzentrationen in Mischwasser ($\approx 10^4$ – 10^7 *E.coli*/100 ml) wird durch

einen Regenüberlauf – zumindest in der Umgebung der Einleitung – praktisch zwangsläufig ein hygienisches Problem verursacht. Überlaufereignisse sind mit Massnahmen wie Versickerung, Speicherung, Speicheroptimierung im Kanalnetz, Vermeidung von Fremdwasser etc. praktisch nicht vollständig vermeidbar. Dennoch tragen diese Massnahmen dazu bei, Überlaufmengen und -häufigkeiten und somit auch kritische hygienische Zustände im Gewässer zu verringern. Zusätzlich zu diesen allgemeinen Massnahmen existieren weitere problemspezifischere Massnahmen, die grundsätzlich in *drei Kategorien* unterteilt werden können: operative, bauliche und verfahrenstechnische Massnahmen.

Operative Massnahmen umfassen beispielsweise Hinweise, Warnungen und Badeverbote. Das Warnsystem für *E.coli*-Belastung von Langenargen am Bodensee (Baden-Württemberg, Deutschland), das in *Kapitel 5.3* vorgestellt wurde, ist ein Beispiel für eine operative Massnahme.

Unter *baulichen Massnahmen* wird z. B. die Verlegung der Einleitung an einen günstigeren Ort verstanden, so dass die Gefährdung der Erholungsnutzung durch Abwassereinleitungen aus Kanalisationen verringert oder eliminiert werden kann. Die Sanierung von fehlerhaft funktionierenden, d. h. zu früh anspringenden Regenüberläufen gehört ebenfalls zu den baulichen Massnahmen. Praktische Beispiele: Beim Moossee im Kanton Bern wurde zur Verbesserung der hygienischen Situation die Sanierung fehlerhaft funktionierender Regenüberläufe und als besondere bauliche Massnahme ein Wehr beim Auslauf des Moossees vorgeschlagen, da ein stromabwärts gelegener Regenüberlauf zu einem Rückfluss in den See führte.

Verfahrenstechnische Massnahmen sind Anlagen zur Keimelimination im Überlauf wie Desinfektions- (Chlor, Ozon, UV-Strahlung [17]) oder Filteranlagen (Retentionsfilter, Sandfilter etc.). Desinfektion gehört in den USA zu den allgemeinen Zielen bei der Behandlung von Mischwassereinleitungen. Aufgrund des hohen Gehalts an Feststoffen und abbaubaren organischen Stoffen im Mischwasser sind die Bedingungen für eine Desinfektion jedoch nicht optimal. UV-Desinfektion findet idealerweise in einem möglichst klaren Medium statt. Ozon und Chlor desin-

Projekt «STORM»: Abwassereinleitungen aus Kanalisationen bei Regenwetter

finzieren im Mischwasser nicht nur Krankheitserreger, sondern werden auch bei der Oxidation von abbaubarem organischem Material gezehrt. Dies erfordert eine hohe Dosierung, die zudem schwierig zu steuern ist. Ein weiterer Nachteil der Desinfektion besteht darin, dass Ozon oder Chlor schlecht geeignet sind, um Protozoen oder bakterielle Sporen abzutöten. Dasselbe gilt für UV-Strahlung in Bezug auf Viren. Fazit: Da Desinfektion (wenn überhaupt) nur während der Badesaison nötig wäre, ist diese Art von Massnahme vor der Implementierung sorgfältig auf ihre Verhältnismässigkeit zu prüfen. Filteranlagen eignen sich im Gegensatz zur Desinfektion nicht nur zur Verbesserung der hygienischen Situation, sondern grundsätzlich auch zur Verminderung anderweitiger stofflicher Probleme (gesamte ungelöste Stoffe und daran adsorbierte Substanzen) und mechanisch-hydraulischer Probleme, falls ein Retentionsvolumen vorgeschaltet ist. Bauliche und verfahrenstechnische Massnahmen sind sehr kostspielig und müssen deshalb vor der Implementierung hinsichtlich Kostenwirksamkeit genau geprüft werden.

8. Folgerungen

Die Hygiene der Badegewässer wird in der Schweiz heute noch nicht im Zusammenhang mit den Belastungen aus der Siedlungsentwässerung bei Regenwetter, insbesondere aus Mischwasserüberläufen, betrachtet. Deshalb bestand das in der Einführung erklärte Ziel dieser Publikation darin, die beteiligten Gewässerschutzakteure für hygienische Beeinträchtigungen der Oberflächengewässer durch Abwassereinleitungen aus Kanalisationen bei Regenwetter zu sensibilisieren und Werkzeuge zur Beurteilung und Lösung dieser Problematik bereitzustellen. Mit den aufgeführten Beispielen von Hygieneuntersuchungen konnte die Relevanz von Mischwassereinleitungen im Zusammenhang mit der Badegewässerhygiene aufgezeigt und Parameter zusammengestellt werden, die zur Beurteilung zukünftig erhoben werden sollten. Zudem stellt das neun Punkte umfassende Ablaufschema zur Beurteilung und Lösung hygienischer Probleme einen möglichen Weg dar, wie hygienische Beeinträchtigungen erkannt und bewertet sowie zusammen mit der Auflistung möglicher Massnahmen behandelt werden können.

Verdankung

An dieser Stelle möchten wir uns herzlich bei Herrn H. Schudel (AG), Herrn U. Ochsenbein (BE), Herrn E. Baer (BE), Herrn M. Eugster (SG) und Frau S. Leumann (SG) für die zur Verfügung gestellten Informationen und Daten bedanken, die diese Publikation ermöglicht haben.

Literaturverzeichnis

- [1] Krejci, V., Frutiger, A., Kreikenbaum, S., Rossi, L. (2004): Projekt «STORM: Abwassereinleitungen aus Kanalisationen bei Regenwetter» – Gewässerbeeinträchtigungen bei Regenwetter. In Bearbeitung. EAWAG, Dübendorf-Zürich.
- [2] Güde, H., Eckenfels, S., Palmer, A., Fitz, S., Pietruske, J., McTaggart, K., Haibel, B., Setzer, T. (2001): Erfassung und Bewertung von Eintragswegen für die Belastungen mit Fäkalkeimen im Einzugsgebiet der Seefelder Aach (Bodenseekreis). Abschlussbericht des BW Plus Projektes PAÖ 97008, Langenargen.
- [3] BAG, BUWAL, Verband der Kantonschemiker der Schweiz, Verband der Kantonsärzte der Schweiz (1991): Empfehlungen für die hygienische Beurteilung von See- und Flussbädern, Bern.
- [4] Wuhrer, C. (1995): Die fäkale Belastung der Schussen und ihr Einfluss auf den mündungsnahen Flachwasserbereich im Bodensee. Dissertation, Ludwig-Maximilian-Universität, München.
- [5] Fair, G.M., Geyer, J.C. (1961): Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung. Grundlagen, Technik und Wirtschaft, Verlag R. Oldenbourg, München.
- [6] Schindler, P. (2002): Überwachung der Badegewässer in Südbayern unter Berücksichtigung aktueller Krankheitserreger. In «Hygienische Aspekte von Oberflächengewässern aus wasserwirtschaftlicher Sicht.» (Hrsg. Bayer. Landesamt f. Wasserwirtschaft), Münchener Beiträge zur Abwasser-, Fischerei- und Flussbiologie 55, p. 41–60.
- [7] Medema, G.J., Bahar, M., Schets, F.M. (1997): Survival of *Cryptosporidium parvum*, *Escherichia coli*, and *Clostridium perfringens* in river water, Influence of river water and autochthonous microorganisms. Wat. Sci. Tech., Vol. 35, No. 11–12, p. 249–252.
- [8] Schleupen, E. (1996): *Cryptosporidium parvum* und *Giardia lamblia* – Literaturrecherche. GWF Wasser/Abwasser 137, p. 83–93.
- [9] GSchV. (1998): Gewässerschutzverordnung vom 28. Oktober 1998, SR 814.201, Bern.
- [10] Rossi, L., Krejci, V., Kreikenbaum, S. (2004): Anforderungen an die Abwassereinleitungen aus Kanalisationen bei Regenwetter, gwa Nr. 6, p. 431–438.
- [11] Rat der Europäischen Gemeinschaften (1975): Richtlinie des Rates vom 8. Dezember 1975 über die Qualität der Badegewässer (76/160/EWG).
- [12] KOM. (2002): Vorschlag für eine Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates über die Qualität der Badegewässer, Kommission der Europäischen Gemeinschaften, 581, 2002/0254 (COD), Brüssel 2002.
- [13] Zaglauer, A. (2003): Belastung von Oberflächengewässern durch Wasservögel: in «Hygienische Aspekte von Oberflächengewässern aus wasserwirtschaftlicher Sicht.» (Hrsg. Bayer. Landesamt f. Wasserwirtschaft). Münchener Beiträge zur Abwasser-, Fischerei- und Flussbiologie 55, p. 83–104.
- [14] Güde, H., Miller, G., Vogel, H.J. (2003): Massnahmenkonzepte zur Reduzierung der Belastung mit Fäkalkeimen am Bodensee: in «Hygienische Aspekte von Oberflächengewässern aus wasserwirtschaftlicher Sicht.» (Hrsg. Bayer. Landesamt f. Wasserwirtschaft). Münchener Beiträge zur Abwasser-, Fischerei- und Flussbiologie 55, p. 205–224.
- [15] Makepeace, D.K., Smith, D.W., Stanley, S.J. (1995): Urban Stormwater Quality: Summary of Contaminant Data. Wat.Sci.Tech., Vol. 25, No. 2, p. 93–139.
- [16] Ochsenbein, U., Halvax, M., Völgy, P., Bähler, A., Haltmeier, T., Schnell, G.R., Ruch, H. (1992): Bakteriologische Untersuchung verschiedener Kläranlagen in der Region Bern–Thun im Hinblick auf die Nutzung der Aare als Badegewässer, Gewässer- und Bodenschutzlabor des Kantons Bern.
- [17] U.S. EPA. (1993): Combined Sewer Overflow Control Manual, Washington D.C. EPA 625/R-93-007.

Keywords

Hygiene – Badegewässer – Mischwasserüberläufe – Regenwassereinleitungen – *E. coli*

Adressen der Autoren

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

Hans Güde, Dr.rer.nat.
Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg
Institut für Seenforschung
Postfach 42 53
D-88081 Langenargen
Tel. +49 (0)7543 304 166
Hans.Guede@lfula.lfu.bwl.de

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

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