

Management kurzzeitiger Verschmutzungen an Flussbadegewässern – Erkenntnisse aus dem BMBF-Forschungsprojekt FLUSSHYGIENE

Management of short-term pollutions in river bathing waters – Findings of the BMBF research Project FLUSSHYGIENE

ZUSAMMENFASSUNG

Flüsse sind komplexe ökologische Systeme, die eine unterschiedliche Nutzung erfahren. Einerseits bilden sie den Lebensraum vieler Tier- und Pflanzenarten, andererseits gehören sie zu den wichtigsten ökonomischen und infrastrukturellen Einheiten. An Fließgewässern werden somit unterschiedliche Nutzungsansprüche gestellt – mit entsprechenden Auswirkungen. Badegewässer an Flüssen einzurichten und zu managen, stellt daher in mehrfacher Hinsicht eine Herausforderung dar. Strömungen und die Schifffahrt bergen physische Risiken für das Baden im Fluss. Zudem müssen Vorsorge-maßnahmen ergriffen werden, um die Gesundheit der Badenden auch bei einer stark schwankenden hygienischen Wasserqualität zu schützen. Die daraus resultierenden Bemühungen, um ein sicheres Baden in Fließgewässern zu gewährleisten, können sich aber insbesondere für Städte und Metropolregionen lohnen, in denen Seen und Talsperren kaum vorhanden sind oder sich diese nur mit erhöhtem Aufwand für die Bevölkerung erreichen lassen. Vor diesem Hintergrund entstand aus dem BMBF-geförderten Projekt FLUSSHYGIENE (2017–2020) nicht nur ein unterstützender thematischer Leitfaden, sondern es konnte im Zuge dessen auch ein Frühwarnsystem an fünf Berliner Flussbadegewässern erfolgreich eingerichtet und betrieben werden.

ABSTRACT

Rivers are complex, ecological systems with various functions. On the one hand, they play a crucial role in providing habitats for countless animals and plant species. On the other hand, rivers have always been irreplaceable economical and infrastructural essential components. This results into different (human) use, and comes with expectable consequences. Therefore, to install and maintain river bathing waters can be challenging. Stream currents and shipping may pose physical risks for bathers. Moreover, the fluctuating hygienic water quality cannot be underestimated to protect the bather's health, and preventative measures have to be taken. Nonetheless, focused efforts to support river bathing can be rewarding, especially for cities and metropolitan areas that lack of lakes or water reservoirs approved for bathing. In the light of these challenges, the project FLUSSHYGIENE (2017–2020) published guidelines with information and knowledge on management of short-term pollutions, and successfully helped to establish an early-warning system on five bathing waters in Berlin.

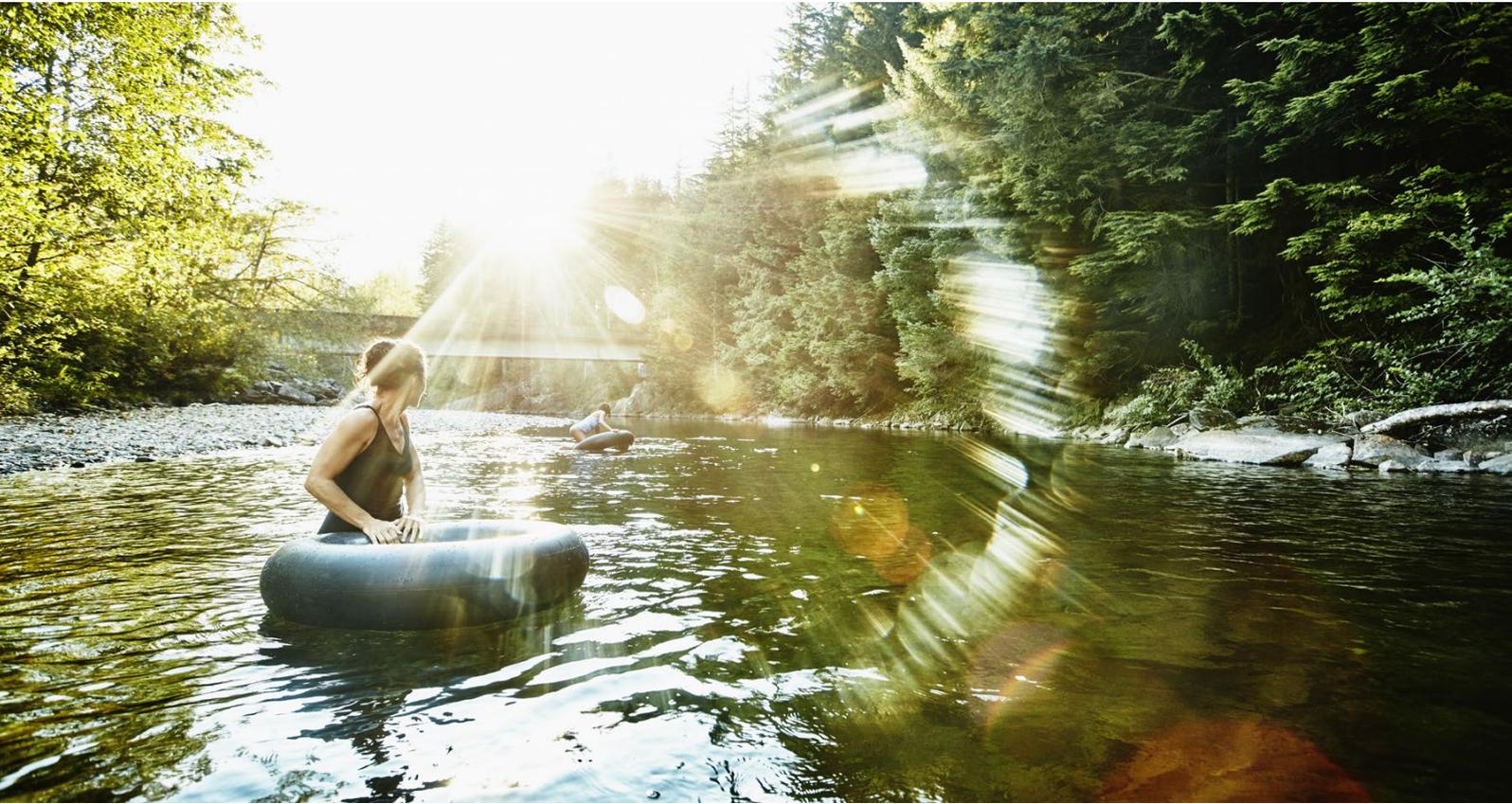
EINLEITUNG

Flüsse bilden ökologisch wichtige, oberirdische Süßwasseradern. Sie erfahren in Deutschland eine sehr vielfältige Nutzung

und oft handelt es sich, wie zum Beispiel bei Spree oder Rhein, um ökologisch komplexe, multifunktionale Gewässer mit besonders hohem ökonomischen Stellenwert. Flüsse sind wichtige Transportwege der Schifffahrt,

ALEXANDRA
SCHMIDT¹,
WOLFGANG SEIS²,
HANS-CHRISTOPH
SELINKA¹

¹ Umweltbundesamt,
² Kompetenzzentrum
Wasser Berlin gGmbH



Quelle: Thomas Barwick /
Gettyimages.

über sie erfolgt die Ableitung des geklärten Abwassers aus den Kläranlagen und einige Flüsse dienen sogar der Trinkwassergewinnung. Gleichzeitig sind Flüsse aber auch beliebte Naherholungsgebiete und bedürfen einer guten hygienischen Wasserqualität, um einen höchstmöglichen Gesundheitsschutz für die Bevölkerung zu gewährleisten, insbesondere als Badegewässer.

Die Wasserqualität von Flüssen schwankt jedoch stark und unterliegt einer stetigen Dynamik. Neben Erosionsprozessen im Einzugsgebiet wird sie vor allen Dingen geprägt durch punktuelle Einleitungen von Ab- und Niederschlagswasser, diffuse Stoffeinträge, wie zum Beispiel aus der Landwirtschaft, und gewässerinterne Prozesse. Dazu zählen Sedimentation, biologischer Abbau organischer Substanzen oder Nitrifikation (Grohmann et al. 2011). Zusätzlich verändern physikalische Faktoren wie Abfluss, Zuflüsse und Strömungen den chemischen und mikrobiologischen

Stofftransport. Besonders aber Quantität und Qualität von Einleitungen aus Kläranlagen sowie die Anzahl und Entlastungshäufigkeit der Mischwasserüberläufe im Einzugsgebiet, die im Falle von Starkniederschlägen ungeklärtes Mischwasser in die Flüsse ableiten (TABELLE 1), führen häufig zu kurzzeitigen Verschmutzungen und damit zu Zeiträumen, in denen das Baden in Flüssen ein nicht zu unterschätzendes mikrobiologisches Gesundheitsrisiko darstellt (Kistemann et al. 2016; Mouchel et al. 2020).

BADEGEWÄSSER IN DEUTSCHLAND

Im Jahr 2021 gab es in Deutschland 2.291 EU-Badegewässer (EEA 2022). Badegewässer sind als Oberflächengewässer oder ein Abschnitt davon definiert, „bei dem die zuständige Behörde mit einer großen Zahl von

EINTRAGSPFADE	BAKTERIEN*		HUMANE VIREN*		BAKTERIOPHAGEN*	
	E.coli (MPN / 100 ml)	Intestinale Enterokokken (MPN / 100 ml)	Adenoviren (PCR-Kopien / 100 ml)	Noroviren (PCR-Kopien / 100 ml)	Som.Phagen (PFU / 100 ml)	F+Phagen (PFU / 100 ml)
ZULAUF KLÄRANLAGE	10 ⁶ –10 ⁷	10 ⁵ –10 ⁷	10 ⁵ –10 ⁷	10 ⁴ –10 ⁷	10 ⁶ –10 ⁷	10 ⁵ –10 ⁶
ABLAUF KLÄRANLAGE (KONVENTIONELL)	10 ³ –10 ⁵	10 ² –10 ⁴	10 ³ –10 ⁴	10 ² –10 ⁵	10 ⁴ –10 ⁵	10 ² –10 ³
ABLAUF KLÄRANLAGE (NACH UV-BEHANDLUNG)	10 ¹ –10 ²	10 ¹ –10 ²	_**	_**	< 10 ¹ –10 ³	< 10 ¹ –10 ²
MISCHWASSERÜBERLÄUFE IN FLUSS (NACH STARKREGEN)	10 ⁶ –10 ⁷	10 ⁵ –10 ⁶	10 ³ –10 ⁵	10 ³ –10 ⁵	10 ³ –10 ⁵	10 ² –10 ⁴
REGENWASSEREINLEITUNG (MIT FEHLANSCHLÜSSEN)	10 ⁴ –10 ⁵	10 ³ –10 ⁴	< 10 ¹ –10 ⁵	< 10 ¹ –10 ⁵	< 10 ¹ –10 ⁵	< 10 ¹ –10 ³
REGENWASSEREINLEITUNG (OHNE FEHLANSCHLÜSSE)	10 ¹ –10 ⁴	10 ² –10 ⁴	< 10 ¹	< 10 ¹	< 10 ¹	< 10 ¹

* Mediane der Konzentrationen basierend auf Daten aus dem FLUSSHYGIENE Projekt.

** Der Effekt der UV-Behandlung ist durch PCR nicht nachweisbar.

Badenden rechnet und für den sie kein dauerhaftes Badeverbot erlassen hat oder nicht auf Dauer vom Baden abrät [...]“ (Art. 1 Abs. 3 2006/7/EG). Die zuständige Behörde steht in der Pflicht, das Badegewässer entsprechend der EU-Badegewässerrichtlinie zu überwachen.

Mit 1.895 Badegewässern lag im Jahr 2021 der Großteil der deutschen Badegewässer an Seen, ein wesentlich kleinerer Teil, 363 Badegewässer, lag an den Küsten von Nord- und Ostsee und lediglich 33 Badegewässer befanden sich an Fließgewässern (EEA 2022). Obwohl die Fließlänge aller deutschen Fließgewässer (mit einem Einzugsgebiet über 10 km²) circa 137.000 km umfasst (UBA 2017), macht die Anzahl der Badegewässer an Flüssen einen fast schon vernachlässigbaren Teil aus. Einen Grund für die geringe Anzahl stellen, neben anderen Gründen wie

starke Strömungen, der Schiffsverkehr, oder Gefahren durch Wasserbauwerke, die kurzzeitigen Verschmutzungen und ihr aufwendiges Management dar.

KURZZEITIGE VERSCHMUTZUNGEN

Die aktuelle EU-Badegewässerrichtlinie definiert kurzzeitige Verschmutzungen als eine mikrobiologische Verunreinigung eines Badegewässers mit eindeutig feststellbarer Ursache, die im Normalfall nicht länger als 72 Stunden andauert. Außerdem muss die das Badegewässer beobachtende Behörde Verfahren zur Vorhersage sowie Abhilfemaßnahmen im Vorhinein festgelegt haben (Art. 2 Punkt 8 2006/7/EG). Tritt eine kurzzeitige Verschmutzung im Sinne der Richtlinie auf und

TABELLE I
Einträge von Mikroorganismen in Fließgewässern.

die festgelegten Abhilfemaßnahmen greifen, kann eine reguläre Probe, die in diesen Zeitraum fällt, verworfen und ersetzt werden. Die Definition, insbesondere das Erfordernis eines Vorhersageverfahrens, schränken die möglichen Anwendungsfälle jedoch entsprechend stark ein. Um eine Vorhersage treffen zu können, ob eine kurzzeitige Verschmutzung zu erwarten ist, ist es notwendig, die Ursachen der hygienisch belasteten Einträge herauszufinden. Nicht selten handelt es sich dabei um ein Zusammenspiel mehrerer Faktoren, wie zum Beispiel Niederschlagsmenge, Ort des Niederschlages, Anzahl der Mischwasserüberläufe in der Nähe oder sonstiger Einleitungen. Aus diesem multifaktoriellen Zusammenspiel ergibt sich einerseits die Schwierigkeit in der Anwendung des Instrumentes der kurzzeitigen Verschmutzung, andererseits die Notwendigkeit einer faktor-basierten Betrachtung, will man diese Art der Einträge verstehen und in der Überwachung den Vorgaben der Richtlinie nachkommen.

Es stellt sich also die Frage nach möglichen Maßnahmen, die das Baden in Flüssen aus hygienischer Sicht sicher gestalten können.

ERGEBNISSE DES FORSCHUNGSPROJEKTS FLUSSHYGIENE

Das BMBF-geförderte Projekt FLUSSHYGIENE (2017–2020) verfolgte das Ziel der systematischen Erfassung, Modellierung und Risikobewertung von kurzzeitigen Verschmutzungen. Im Vordergrund stand dabei, ein besseres Verständnis dieser dynamischen Einträge zu gewinnen und Maßnahmen herauszuarbeiten, um Badegewässer – vor allem Flussbadegewässer – die anfällig für solche kurzzeitigen Verschmutzungen sind, zu managen.

Anhand mehrerer deutscher Flüsse unterschiedlicher Charakteristika wurden Dynamik und Einträge mikrobiologisch relevanter, hygienischer Belastungen untersucht, ausgewertet und verarbeitet.

Ein Schwerpunkt der Untersuchungen des UBA lag auf kurzzeitigen Verschmutzungseignissen in Berlin, die durch starke Regenfälle ausgelöst wurden. Im Gegensatz zu den Routinemessungen in zeitlich definierten Abständen, in denen die Wasserqualität anhand der bakteriellen Qualitätsindikatoren *E. coli* und intestinale Enterokokken bestimmt wird, wurden gleichzeitig auch umfangreiche Messungen von Indikatoren für Viren und Parasiten durchgeführt.

Neben kontinuierlichen Quellen für Verschmutzungen wie Kläranlagenabläufe gibt es eine Reihe von Verschmutzungen, die zeitlich begrenzt auftreten (TABELLE 1). Aufgrund ihrer Eintragspfade ins Gewässer lassen sich zeitlich begrenzte Verschmutzungen in regenassoziierte und nicht-regenassoziierte Einträge einteilen. Zur Bestimmung des Einflusses von Starkregenfällen auf urbane Fließgewässer wurden im Projekt nach Starkregenfällen gezielte Untersuchungen der hygienischen Wasserqualität über mehrere Tage durchgeführt. Die Experimente zeigen, dass Starkregenfälle die hygienische Wasserqualität urbaner Fließgewässer über mehrere Tage massiv beeinträchtigen können. So waren an einem Sommertag im Jahr 2017 im Flusswasser der Spree wenige Stunden nach einem Starkregenereignis und über mehrere Tage hinweg stark erhöhte Konzentrationen an fäkalen Verunreinigungen (Bakterien und Viren) nachweisbar. Durch die Mischwasserüberläufe erhöhten sich die Konzentrationen an *E. coli* um mehr als 4 Log-Stufen, die Konzentrationen an Adenoviren um circa 3–4 Log-Stufen. Der Wasserstand des Flusses zum Zeitpunkt des Regenereignisses hat dabei einen großen Einfluss, da die Mischung und somit Verdünnung des eingetragenen kontaminierten Wassers mit sauberem Flusswasser eine wichtige Rolle bei der Reduktion der Konzentration an Indikatorbakterien und potenziellen Krankheitserregern spielt. Geringere Abflüsse führen dadurch oft zu einer längeren Zeitspanne für die Abbauprozesse und einer zeitlichen Ausdehnung der Kontaminationen. Bei Verschmutzungsquellen,

die weit vom Badegewässer entfernt sind, können diese Kontaminationen das Badegewässer oft erst nach mehreren Stunden oder Tagen erreichen. Die Belastungen solcher Starkregenereignisse sind daher stark standort- und ereignisspezifisch. Bei Verschmutzungsquellen, die sich nahe am Badegewässer befinden und sich schnell auf das Badegewässer auswirken, bringt die Untersuchung auf Viren jedoch keine zusätzlichen Informationen. In diesen Fällen ist die Untersuchung der Indikatorbakterien ausreichend.

Essenziell für die Einschätzung der hygienischen Qualität der Badegewässer nach EU-Badegewässerrichtlinie sind bisher allein die regelmäßigen Messungen der bakteriologischen Parameter (*E. coli* und intestinale Enterokokken), die zwar eine Gesamtaussage über die Langzeitqualität eines Badegewässers geben, aber kurzzeitige Verschmutzungen aufgrund festgelegter Messtage oft nicht frühzeitig genug erfassen.

VORHERSAGE KURZZEITIGER VERSCHMUTZUNGEN

Während der Überwachungs- und Bewertungsansatz der EU-Badegewässerrichtlinie geeignet ist, Badegewässer mit relativ stabiler Wasserqualität zu bewerten, ist die rein formale Umsetzung der Richtlinie an Fließgewässern, vor allem Flüssen, die starken täglichen und jährlichen Schwankungen unterworfen sein können, aus hygienischer Sicht kritisch zu betrachten. Defizite existieren in folgenden Bereichen (Seis et al. 2019):

1 Aufgrund der langen Analysenzeit von 24 bis 48 Stunden sind die aktuell eingesetzten Messmethoden für Indikatororganismen für eine Nutzung als Frühwarnsystem ungeeignet, denn der vorliegende Messwert spiegelt lediglich die Wasserqualität von vor einigen Tagen wider. Warnungen auf Basis dieser Werte kommen folglich zu spät.

2 An Fließgewässern sind Messwerte hinsichtlich der lokalen Wasserbeschaffenheit aufgrund des kontinuierlichen Wasseraustauschs nur für kurze Zeiträume repräsentativ.

3 Da in der Regel nur einmal pro Monat beprobt werden muss, ist davon auszugehen, dass die meisten Verschmutzungsereignisse zwischen zwei Probennahmen stattfinden und somit nur zufällig erfasst werden.

4 Es kann aufgrund der stark ausgeprägten jährlichen Variabilität der Niederschlagsmenge zu deutlichen Abweichungen zwischen den Ergebnissen der Langzeitbewertung und der tatsächlichen Belastung in der aktuellen Badesaison kommen. So kann bei einem Badegewässer, das nach einigen regenarmen Jahren die Qualitätseinstufung „ausgezeichnet“ erhalten hat, in der nächsten regenreichen Badesaison eine erhöhte fäkale Belastung mit Erkrankungsrisiko für die Badenden auftreten.

Darüber hinaus werden in der aktuellen Fassung der EU-Badegewässerrichtlinie keine einzelwertbezogenen Grenzwerte definiert, die als Warnschwelle für klassische Klassifikationsmodelle herangezogen werden könnten. Die Bewertung der Wasserqualität findet ausschließlich auf Basis berechneter Perzentile einer Lognormalverteilung statt.

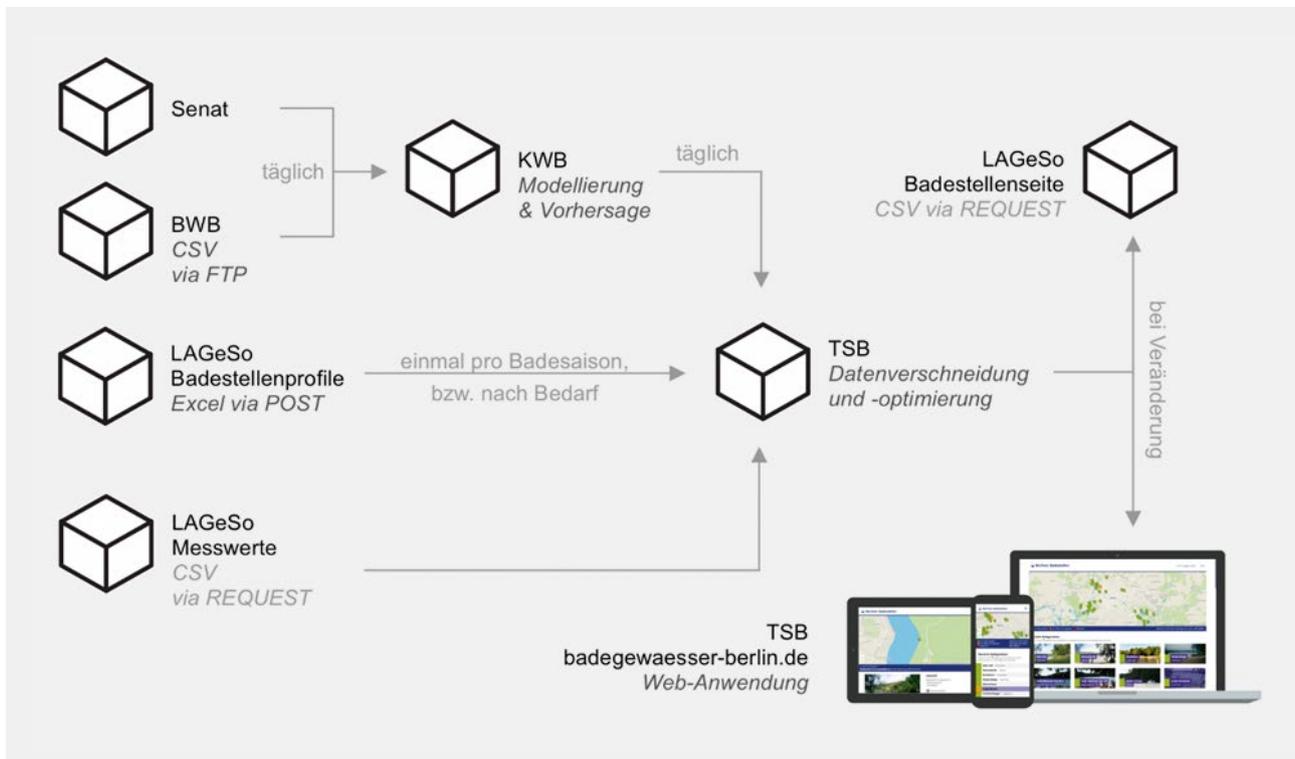
Aufgrund dieser Defizite wurde im Projekt FLUSSHYGIENE eine innovative Methode entwickelt, die den wahrscheinlichkeitsbasierten Bewertungsansatz der Langzeitbewertung auf eine tägliche Vorhersage der Badegewässerqualität überträgt (Seis et al. 2018). Diese Methode beruht auf einem regressionsbasierten Ansatz, mit dem die Perzentile einer Lognormalverteilung vorhergesagt und validiert werden. In Berlin werden hierfür die Vorhersagenvariablen Regen, Durchfluss und entlastetes Regenwettervolumen aus dem Entwässerungssystem genutzt. Diese Eingangsgrößen liegen zeitlich hochaufgelöst vor, sodass die Bevölkerung

zeitnah über kurzzeitige Verschmutzungen informiert werden kann. Der Vorhersageansatz wurde in Berlin über vier Jahre (2016–2019) validiert und wird seitdem vom Berliner Landesamt für Gesundheit und Soziales (LAGeSo) genutzt, um die Berliner Bevölkerung über die aktuelle Badegewässerqualität zu informieren (ABBILDUNG 1, <https://badestellen.berlin.de/>).

Aufgrund der positiven Erfahrungen wurde der Ansatz von anfangs zwei Berliner Badestellen (kleine Badewiese, Grunewald-

turm) auf mittlerweile fünf (Lieper Bucht, Radfahrerwiese, Breitehorn) ausgeweitet. In den Projekten *iBathWater* und *Digital Water City* wird der Ansatz auf anvisierte Badestellen in der Pariser Seine und dem Berliner Innenstadtbereich übertragen. Kurze erklärende Videos, produziert von den FLUSSHYGIENE-Projektpartnern, über die grundlegende Problematik von kurzzeitigen Verschmutzungen und das neu implementierte Frühwarnsystem sind im Internet verfügbar (<https://youtu.be/G02JLwsBe4A>).

ABBILDUNG 1
 Datenfluss des im Projekt FLUSSHYGIENE entwickelten Prototypen des Frühwarnsystems in Berlin. Quelle: Seis et al. 2019



LEITFADEN FLUSSBADEGEWÄSSER

Die wichtigsten Erkenntnisse des 2019 mit dem Berliner AQUA AWARD ausgezeichneten Projekts FLUSSHYGIENE hinsichtlich Maßnahmen zum Umgang mit kurzzeitigen Verschmutzungen an Flussbadegewässern wurden in einem UBA-Leitfaden zusammengefasst (UBA 2020). Darin werden Möglich-

keiten vorgestellt, die Badenden während mikrobiologischer Verschmutzungsereignisse in Flussbadegewässern zu schützen und Maßnahmen beschrieben, um längerfristig eine bessere hygienische Wasserqualität zu erreichen. Der UBA-Leitfaden ergänzt damit den aus dem BMBF-geförderten Vorgängerprojekt SICHERE RUHR (2021–2015) entstandenen Leitfaden (Schoenemann und Jardin 2015) und richtet sich speziell an Behörden

und Institutionen sowie an Interessenverbände, die sich mit dem Thema Flussbaden beschäftigen.

Zum einen werden im UBA-Leitfaden grundlegende Aspekte von (Fluss-)Badegewässern beleuchtet, inklusive der rechtsverbindlichen Systematik, nach denen Badegewässer jährlich anhand der EU-Badegewässerrichtlinie bewertet werden – dies schließt die mitunter teils komplizierte Anwendung der kurzzeitigen Verschmutzung mit ein. Zum anderen werden Methoden der Ursachenerforschung zu hygienisch belasteten Einträgen sowie Maßnahmen, diese zu regulieren, beschrieben. Vorgestellt und miteinander verglichen werden zudem drei derzeit erprobte Vorhersage- beziehungsweise Frühwarnsysteme:

- Frühwarnsysteme auf Basis statistischer Regressionsmodelle,
- Klassifikationsmodelle sowie
- Entscheidungsbäume.

Zusätzlich wurden im Projekt FLUSSHYGIENE ein kurzer Praxisleitfaden mit Beispielen zum formalen Vorgehen zur Eröffnung von Flussbadestellen (Raber et al. 2018) sowie technische Maßnahmensteckbriefe zur Verbesserung der hygienischen Badegewässerqualität in Fließgewässern (Thöne et al. 2018) veröffentlicht.

AUSBLICK

Der Klimawandel mit länger anhaltenden Dürreperioden, gleichzeitig aber der erhöhten Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Starkniederschlägen sowie die zunehmende Flächenversiegelung in Großstädten, die zu weniger Versickerung und mehr Oberflächenabfluss führt, sind nur zwei Beispiele, die Hinweise darauf geben, dass die Nutzung von Flüssen als Badegewässer eines besonderen Managements bedarf. Vorhersagesysteme, die Badende vor kurzzeitigen Verschmutzungen warnen, sind ein essenzieller Baustein dieses Managements. Zusammen



ABBILDUNG 2

Leitfaden Flussbadegewässer“

<https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/leitfaden-umgang-kurzzeitigen-verschmutzungen-in>

mit dem aus den Forschungsprojekten aggregierten Wissen sowie der Erfahrung der fünf in ein Vorhersagesystem eingebundenen Berliner Badegewässer, kann interessierten Behörden und Institutionen mittlerweile eine Auswahl an verschiedenen Möglichkeiten zur Verfügung gestellt werden, wie auch Flüsse sichere Badegewässer werden können. Ob und inwieweit die EU-Badegewässerrichtlinie zukünftig die Vorgaben zum Umgang mit kurzfristigen Verschmutzungen und an Vorhersagesysteme konkretisieren wird, bleibt abzuwarten. Die Entwicklung hin zu modellbasierten Frühwarnsystemen nimmt in der Zwischenzeit weiterhin Fahrt auf. ●

LITERATUR

EEA – European Environment Agency (2021): Daten der Europäischen Badegewässer der Jahre 1990–2021. <https://www.eea.europa.eu/themes/water/data-and-maps/data/bathing-water-directive-status-of-bathing-water-14> (Zugriff am: 15.06.2022).

EU – Europäische Union (2006): Richtlinie 2006/7/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 15. Februar 2006 über die Qualität der Badegewässer und deren Bewirtschaftung und zur Aufhebung der Richtlinie 76/160/EWG.

Grohmann AN, Jekel M, Szewzyk R et al. (2011): Wasser. Chemie, Mikrobiologie und nachhaltige Nutzung. De Gruyter. Berlin, Boston.

Kistemann T, Schmidt A, Flemming HC (2016): Post-industrial river water quality—Fit for bathing again? *International Journal of Hygiene and Environmental Health* 219 (7): 629–642. DOI: 10.1016/j.ijheh.2016.07.007.

Mouchel JM, Lucas FS, Moulin L et al. (2020): Bathing Activities and Microbiological River Water Quality in the Paris Area: A Long-Term Perspective. In: Flipo N, Labadie P, Lestel L (eds): *The Seine River Basin. (The Handbook of Environmental Chemistry, Vol 90)*. Springer. Cham: 323–353. DOI: 10.1007/698_2019_397.

UBA – Umweltbundesamt (2017): Gewässer in Deutschland: Zustand und Bewertung. Dessau-Roßlau <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/gewaesser-in-deutschland> (Zugriff am: 15.06.2022).

UBA – Umweltbundesamt (2020): Leitfaden zum Umgang mit kurzzeitigen Verschmutzungen in Flussbade-gewässern. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/leitfaden-umgang-kurzzeitigen-verschmutzungen-in> (Zugriff am: 30.08.2022).

Schoenemann B, Jardin N (2015): Baden in Fließgewässern. Ein Handlungsleitfaden am Beispiel des Baldeney-sees & der Unteren Ruhr im Rahmen des BMBF-Projekts Sichere Ruhr. Essen. <https://sichere-ruhr.de/category/ueber-das-projekt/presse-downloads/publikationen/> (Zugriff am: 30.08.2022).

Raber W, Bösche U, Schön S (2018): Eröffnung neuer Flussbadestellen – Praxisleitfaden am Beispiel der Berliner Vorstadtspre. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/421/dokumente/praxisleitfaden_eroeffnung_neuer_flussbadestellen-januar_2019.pdf (Zugriff am: 30.08.2022).

Seis W, Zamzow M, Caradot N et al. (2018): On the implementation of reliable early warning systems at European bathing waters using multivariate Bayesian regression modelling. *Water Research* 143: 301–312. DOI: 10.1016/j.watres.2018.06.057.

Seis W, Meier S, Osaki M et al. (2019): Entwicklung eines Frühwarnsystems für die Berliner Unterhavel. *KW Korrespondenz Wasserwirtschaft* September 2019 (9).

Thöne V et al. (2018): Maßnahmensteckbriefe: Maßnahmen zur Verbesserung der hygienischen Badegewässerqualität in Fließgewässern, BMBF-Forschungsprojekt FLUSSHYGIENE. <https://bmbf.nawam-rewam.de/produkt/massnahmensteckbriefe/> (Zugriff am: 30.08.2022).

KONTAKT

Alexandra Schmidt
Umweltbundesamt
Fachgebiet II 1.4 „Mikrobiologische Risiken“
Corrensplatz I
14915 Berlin
E-Mail: alexandra.schmidt@uba.de

[UBA]