

KI-gestütztes Abwassermonitoring in Kanalnetzen eröffnet neue Anwendungsperspektiven – Chancen und Herausforderungen

» Weiterentwickelte Online-Messsysteme erlauben die kontinuierliche Überwachung von Abwasserparametern und Zustandsgrößen direkt in der Kanalisation. Echtzeitdaten können dabei zentral erfasst werden. Kombiniert mit KI-unterstützter Datenauswertung, ermöglichen solche Ansätze neue Lösungen für das Management von Abwassersystemen bis hin zum Gewässerschutz.

Online-Überwachung direkt in der Kanalisation

» Umfangreiche Messungen von Abwasserparametern in der Kanalisation mit unmittelbarem Fernzugriff auf die Daten waren lange Zeit kaum möglich. Dies hat die Möglichkeiten für ein kontinuierliches Abwassermonitoring im Kanalnetz bisher behindert. Wegen der aggressiven, explosionsgefährdeten Atmosphäre muss robuste und sichere Messausrüstung eingesetzt werden, und die laufend anfallenden Messdaten müssen aus dem Schacht oder Abwasserbauwerk zeitnah übertragen und zentral für automatisierte Auswertungen bereitgestellt werden.

Geeignete Komponenten für onlinefähige Messlösungen und sichere Datenübertragung sind mittlerweile jedoch verfügbar und können direkt in Abwassersystemen eingesetzt werden:

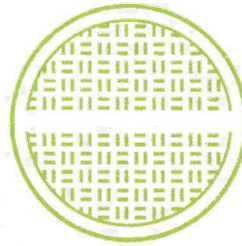
- » Autarke Messsysteme mit eigener Stromversorgung können verschiedene Messparameter im Abwasserstrom messen,
- » die Messdaten werden aus den Bauwerken, hier insbesondere Schächte, an eine zentrale Daten-Cloud übermittelt, beispielsweise über GSM,
- » es sind geeignete Messsonden für zahlreiche online erfassbare Standardparameter verfügbar (wie Leitfähigkeit, pH-Wert, O₂-Gehalt), aber auch für spezifischere Anwendungen (wie H₂S-Messungen in der Gas- und Wasserphase),
- » bedarfsweise kann zusätzliche eine Probenahmeinheit integriert werden, mit der zeitlich und personenunabhängig Proben für gezielte Laboruntersuchungen gewonnen werden können.

Damit können Messdaten direkt aus dem Kanalnetz zentral für einen Online-Zugriff bereitgestellt werden.

Blick in einen Kanalschacht

(Foto: Emscher Wassertechnik, T. Fuhrmann)





Datenauswertung mittels Algorithmen des maschinellen Lernens

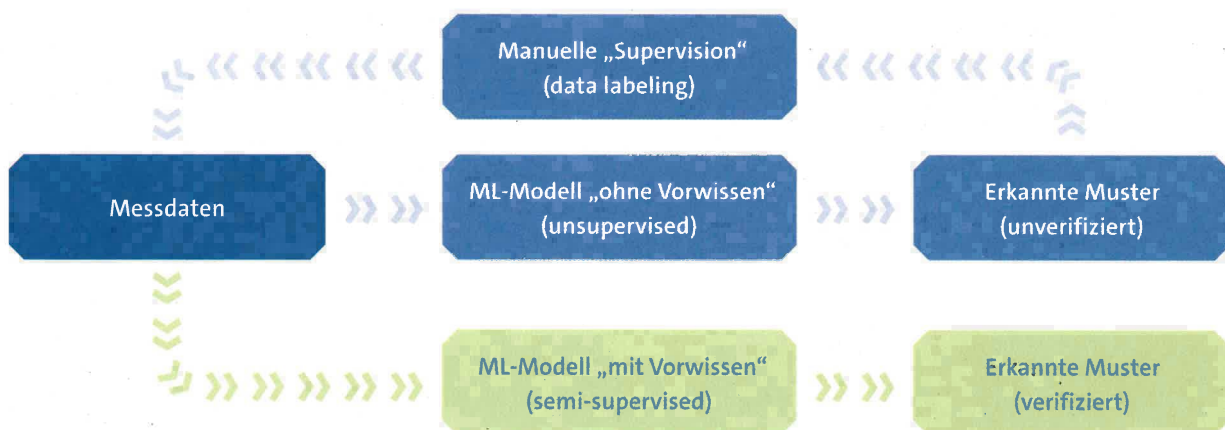
» Mit passender Visualisierung ist eine manuelle Auswertung der zentral erfassten Datenreihen möglich und in vielen Fällen auch zunächst ausreichend. Über angepasste Dashboards können Ganglinien der Mess- und Betriebsparameter dargestellt und vom Betriebspersonal bewertet werden. Die Anzeige von Überschreitungen vordefinierter Alarmwerte oder bei der Erkennung von Gerätefehlern kann teilweise automatisiert werden.

Über datengetriebene Modelle des maschinellen Lernens (sogenannte KI-Modelle) kann die Auswertung der Messreihen darüber hinaus jedoch für kontinuierliche Überwachungsaufgaben oder Prognosen über bestimmte Betriebszustände erweitert werden.

Dazu werden Algorithmen eingesetzt, die bestimmte Muster in den Datenreihen erkennen können, und dies nicht nur für eine einzelne Messgröße, sondern auch für Kombinationen von mehreren Parametern (Multiparameteransätze). Die KI-Modelle sind im Vorfeld über retrospektive Datensätze zunächst auf die gewünschte Mustererkennung hin zu trainieren. Je größer und belastbarer die Datenmengen für das Training sind, desto präzisere Mustererkennungen sind zu erwarten.

Allerdings stellen die komplexen Zustände der Abwassermatrix sowie die begrenzte Verfügbarkeit von längeren und aussagekräftigen Trainingsdatensätzen besondere Herausforderungen bei der Anwendung von KI-Modellen dar. Im Rahmen des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMFTR) geförderten Vorhabens LiveSewer¹ wurden daher unterschiedliche Modellansätze getestet. Als wesentliche Lösung zum Umgang mit den begrenzten Trainingsdaten hat sich die vorherige manuelle Bewertung der Datenreihen durch erfahrenes Betriebspersonal erwiesen (sogenanntes „supervised model“). Hierbei markiert das Personal beispielsweise besondere Muster oder Auffälligkeiten. Damit wird eine schnellere Eingrenzung der Mustererkennung auf relevante Ereignisse möglich. Die so vortrainierten Modelle werden dann auf weitere Trainingsdatensätze angewendet und verfeinert („semi-supervised model“). Ziel ist es dabei, die Zahl der Über- und Unterbefunde bei zu erkennenden Mustern zu minimieren.

Um die Anforderungen an die Datenmenge und -qualität für das Training der maschinellen Mustererkennung zu reduzieren, sollten zudem einfach zu detektierende Ereignisse wie Grenzwertüberschreitungen vorab durch einfachere Algorithmen aussortiert werden. Gleiches gilt für die Bereinigung von offensichtlichen Messfehlern.



Schematische Darstellung des Trainings der Mustererkennung durch maschinelles Lernen

(Quelle: Pluvion)

¹ Verbundprojekt „Abwasser als Informationsträger: dezentrales, flächenhaftes Online-Messnetz für neuartige Ansätze zur digitalen Überwachung und Steuerung in Abwassersystemen (LiveSewer)“, <https://ewlw.de/livesewer>



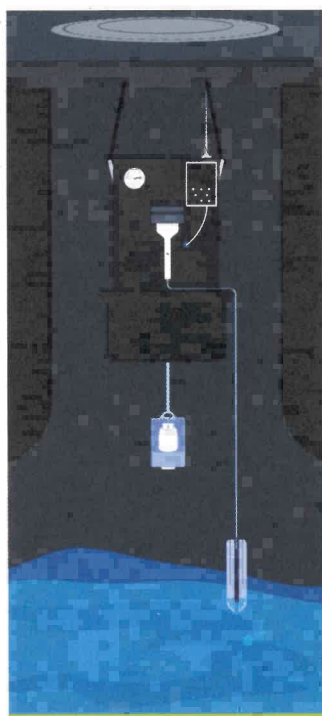
Anzahl der Parameter auf Standardgrößen begrenzen

» Bei einem flächenhaften Einsatz von Messtechnik in der Kanalisation ist es schon aus wirtschaftlichen Gründen sinnvoll, die Zahl der erfassten Parameter möglichst zu minimieren und auf kostengünstig zu messende Standardgrößen wie Leitfähigkeit, Temperatur, pH-Wert etc. zu reduzieren. Eine begrenzte Zahl an Parametern erlaubt es auch, den Rechenaufwand der KI-Modelle gering zu halten. Gleichzeitig ermöglichen die KI-Modelle, aufwendiger einzubindende Größen, zum Beispiel Niederschlagshöhen, durch eine Kombination aus einfacher zu messenden Standardparametern zu ersetzen, indem bestehende Abhängigkeiten zwischen den Größen ausgenutzt werden (bei Regen ändern sich beispielsweise Durchfluss, Leitfähigkeit und Temperatur des Abwassers).

Technische und betriebliche Herausforderungen

» Messungen direkt im Abwasserstrom können je nach Einbausituation zu den bei Kanalnetzbetreibern hinlänglich bekannten Problemen mit Verzopfungen an der Messausrüstung führen. Hier sind Lösungen zu wählen, die an die örtlichen Bedingungen (z. B. geringer Abwasserstrom, mögliches Trockenfallen von Sensoren, hohes Verzopfungsrisiko) konstruktiv angepasst sind. Eine regelmäßige Wartung der Messstellen ist wie bei allen Betriebspunkten mit eingebauter Sensorik unumgänglich. Dabei ist eine digitale Dokumentation von Serviceterminen und Auffälligkeiten, zum Beispiel defekte Sensoren, sinnvoll, die parallel zu den Messdaten direkt in der zentralen Daten-Cloud gespeichert wird, um einen direkten Zugriff für die manuelle und automatisierte Datenauswertung zu haben.

Je nach lokaler Situation kann die kontinuierliche Datenübertragung direkt aus der Kanalisation zu Herausforderungen führen, da die Signale meist unmittelbar aus den Betonbauwerken senden, was entsprechend leistungsfähige Übertragungstechnik oder geschickte Platzierung der Übertragungstechnik erfordert.



Informationen zum LiveSewer-Projekt

Im Rahmen des LiveSewer-Projekts wurden viele Erkenntnisse zum KI-gestützten Abwassermonitoring gewonnen. Das Projekt wird vom Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt (BMFTR) im Rahmen der Fördermaßnahme Digital Green-Tech gefördert (Förderkennzeichen 02WDG1690A – D).

In dem Projektverbund wirken folgende Partner mit: Emscher Wassertechnik GmbH, ORI Abwassertechnik GmbH & Co. KG, Pluvion GmbH, Technische Universität Berlin, ISOE – Institut für sozial-ökologische Forschung GmbH, Emschergenossenschaft, Lippeverband sowie Technische Betriebe Rheine.



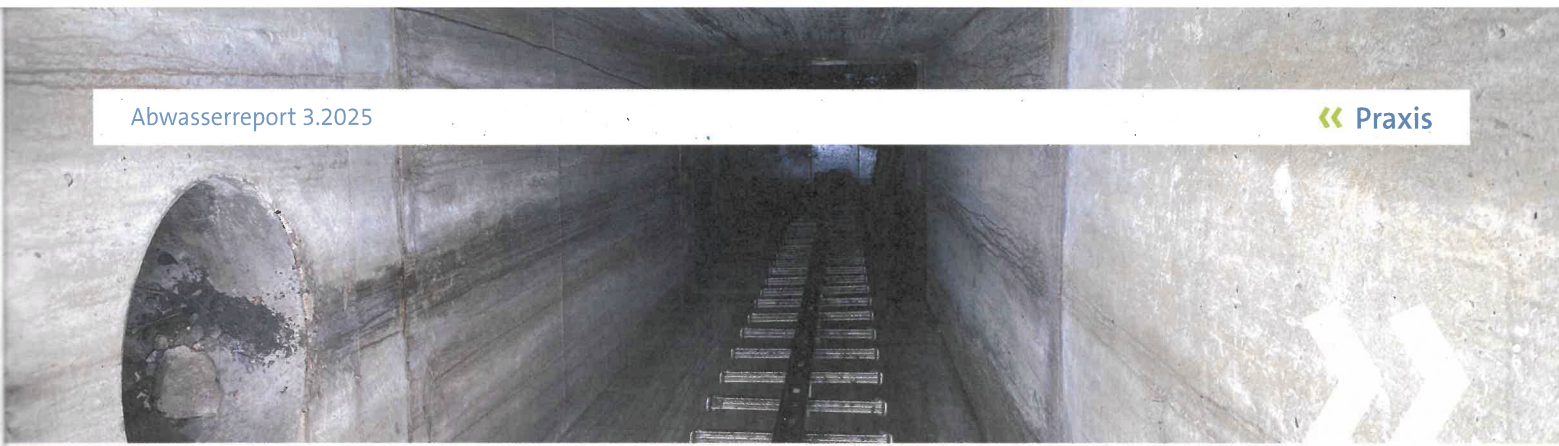
In einem Video wird erklärt, wie Abwasser-Echtzeitdaten mithilfe von KI-gestützter Mustererkennung verarbeitet und ausgewertet werden.

Das Video finden Sie unter folgendem Link:

» <https://vimeo.com/1108152003?fl=pl&fe=sh>

Eingehängtes Messsystem in einem Schachtbauwerk

(Quelle: ORI Abwassertechnik GmbH & Co. KG)



Blick in einen Kanalschacht

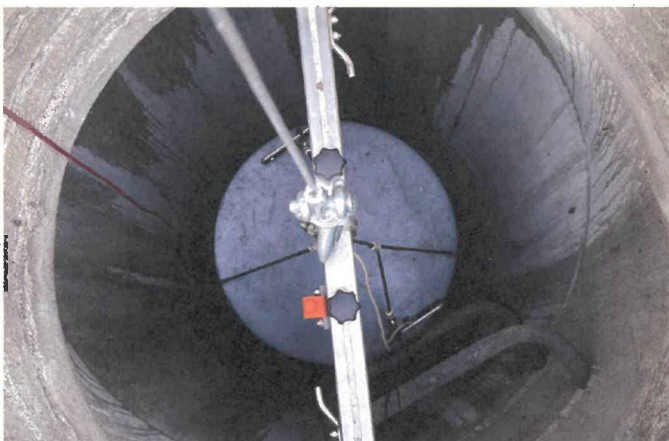
(Foto: Emscher Wassertechnik, T. Fuhrmann)

Training der KI-Modelle bei der Übertragung auf andere Standorte

Die an einem Messstandort oder in einem Teileinzugsgebiet trainierte Modellarchitektur ist auf andere Standorte grundsätzlich übertragbar, muss aber zunächst mit den Daten der neuen Messstellen an die spezifische Abwassersituation „angelernt“ werden. Hierfür ist es sinnvoll, an den neuen Standorten wieder Trainingsdatensätze zu gewinnen, die manuell aufbereitet werden (s. Grafik auf Seite 5 „supervised model“), um neue aussagefähige Mustererkennungen zu erzeugen.

Mehr Durchflussdaten verfügbar machen

Eine spezifische Herausforderung besteht in der Verfügbarkeit von hydraulischen Daten. Während Standardgrößen der Abwasserqualität mit vergleichsweise kostengünstigen Sensoren erfasst werden können, sind Geräte zur Durchflussmessungen oftmals kostenintensiv. Vorhandene Messdaten beispielsweise an Pumpstationen sind zwar über separate Betriebsdatensysteme teilweise verfügbar, müssen jedoch mit den Daten aus den Qualitätsmessungen verschnitten werden, wobei identische Zeitstempel für korrekte Zuordnungen essenziell sind. Solche Durchflussdaten sind zudem meist nur punktuell verfügbar. Da es beim KI-basierten Abwassermonitoring nicht auf eine sehr hohe Genauigkeit des einzelnen Messwerts, sondern eher auf eine große Menge an dynamischen Werten ankommt, ist auf zukünftige Technologieentwicklungen zu einfachen und kostengünstigen Lösungen für Durchflussmessungen zu hoffen, die dann in größerer Zahl in Kanalnetzen verbaut werden können.

Blick auf ein eingehängtes Messsystem in einem Schachtbauwerk
(Foto: ORI Abwassertechnik GmbH & Co. KG)

Datenaustausch zwischen den Betreibern wünschenswert

» Eine zentrale Herausforderung bei allen KI-unterstützten Datenauswertungen im Abwassersektor ist der allgemein geringe Umfang an passenden historischen Datenreihen, die zum Training der KI-Modelle genutzt werden können.

» Hier wären einige Hausaufgaben von den Kanalnetzbetreibern zu machen, um die Grundlagen für einen verstärkten Einsatz des maschinellen Lernens im Abwassersektor zu befördern. «

» Beispielsweise wäre mehr Datenaustausch zwischen den Betreibern hilfreich, um größere Datenvolumina für KI-Modelle zu generieren. Plakatives Beispiel: Wenn ein KI-Modell in einer Kommune auf bestimmte Einleiter oder Einleitungssituationen trainiert worden ist, wäre es sinnvoll, dass solche Trainings in einer zweiten Kommune nicht gänzlich neu zu starten sind, zumal KI-basierte Modelle ihre Stärken grundsätzlich bei einer größeren Menge an Trainingsdaten besser ausspielen könnten.

» Aber auch der Austausch innerhalb von Kommunen, zwischen dem Kanalnetz- und dem Kläranlagenbetrieb, kann oftmals verbessert werden. Die Daten aus der Kanalisation können gezielt genutzt werden, um den Kläranlagenbetrieb zu verbessern. Hier sind in der Zukunft einheitliche Strukturen für die Datenhaltung anzustreben, sodass Mess- und Betriebsdaten aus den Messstellen im Kanalnetz, von Pumpwerken und von der Kläranlage auf gemeinsamen Datenplattformen für zentrale Auswertungen zur Verfügung stehen.

(Quelle: ORI Abwassertechnik GmbH & Co. KG)

Viele Anwendungsperspektiven für das Abwassermonitoring

>> Die Methodik des kontinuierlichen und automatisierten Online-Abwassermonitorings bietet zahlreiche neue Perspektiven für eine großflächige Erfassung von Stoffströmen und Betriebswerten in Kanalnetzen. Deren Auswertung mit Unterstützung von KI-Modellen erlaubt die Erkennung von Mustern für bestimmte Zustände im Abwassersystem. Aus diesen lassen sich unterschiedliche Betriebs- und Überwachungsanwendungen entwickeln.



Im Rahmen des BMFTR-geförderten LiveSewer-Projekts werden beispielhaft drei Anwendungsfälle vertiefter untersucht:

1. Überwachung von Abwassereinleitern

Viele Einleitungen in die Kanalisation konnten bisher nicht kontinuierlich überwacht werden, zumal die Online-Messung spezieller Abwasserparameter wie Mikroschadstoffe unmittelbar im Kanalnetz technisch nicht umsetzbar ist. Aussagefähige Probenahmen für Laboranalysen können nur mit hohem personellem und zeitlichem Aufwand realisiert werden. Mit einer ereignisgesteuerten Probenahme auf Basis von online messbaren Ersatzparametern können dagegen bestimmte Einleitsituationen automatisch erkannt und Beprobungen gezielt getriggert werden.

Über die laufende Auswertung einer Kombination von Standard-Abwasserparametern können gegebenenfalls bestimmte Auffälligkeiten oder auch Muster von Einleitungen (sogenannte „Fingerprints“) erkannt werden. Damit lassen sich idealerweise auch Schadstoffeinträge, die nicht online messtechnisch erfassbar sind, ersatzweise über Muster von online erfassbaren Parametern erkennen. Somit können Probenahmen selbst bei nur sporadisch auftretenden Einleitungen gezielter ausgelöst werden, um zum Beispiel die Einhaltung von Grenzwerten rund um die Uhr zu überwachen. Ziel ist es dabei, mit so wenig Mess- und Probenahmestellen wie möglich ein Einzugsgebiet oder auch einen Industriepark kontinuierlich und effektiv zu überwachen.

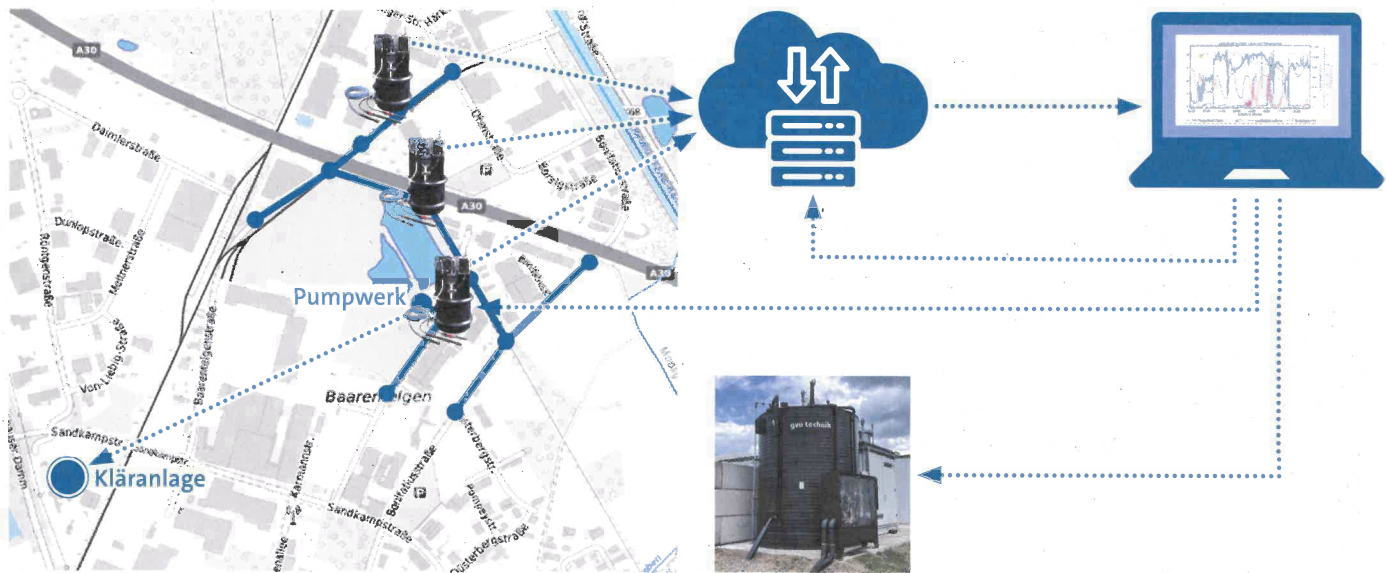
Das Online-Abwassermonitoring kann dabei auch für eine verbesserte Beratung der gewerblichen oder industriellen Einleiter im Hinblick auf die gezielte Verringerung bestimmter Einleitungen verwendet werden. Dies eröffnet die Möglichkeit, Behandlungsstufen in Kläranlagen wirtschaftlich optimaler betreiben oder im Idealfall (bei vier Reinigungsstufen) sogar reduzieren oder vermeiden zu können, wenn bestimmte Einleitungen nachweislich überwacht und unterbunden werden.

2. Minimierung von Schwefelwasserstoffemissionen

Schwefelwasserstoff (H_2S) verursacht in Abwassersystemen massive Korrosionsschäden, Geruchsbelästigungen für Anwohnende und Probleme beim Arbeitsschutz. Eine genaue rechnerische Voraussage dieser Emissionen im Kanalnetz ist bisher jedoch nicht möglich, da insbesondere wechselnde Fließzeiten im Kanalnetz oder in Druckleitungen sowie Umwelteinflüsse (Temperaturen, Niederschläge) eine Berechnung erschweren.



Durch H_2S -Angriff korrodierter Kanaldeckel
(Foto: Emscher Wassertechnik, I. Urban)



Schematische Darstellung des Online-Abwassermonitorings

(Quelle: Emscher Wassertechnik)

Mithilfe von Online-Sensoren werden daher in einem konkreten Anwendungsfall die zugrunde liegenden Abwasserverhältnisse an einer Druckleitung kontinuierlich erfasst und in Verbindung mit einer KI-basierten Auswertung daraus die neuralgischen H_2S -Emissionen am Auslauf der Druckleitung auf der Kläranlage prognostiziert. Dabei lässt sich die Zahl der notwendigen Messparameter auf die Leitfähigkeit, Temperatur und H_2S -Konzentration beschränken. Mit dem KI-basierten Modell ist perspektivisch auch die effiziente Dosierung von Betriebschemikalien zur vorbeugenden Verringerung der H_2S -Bildung vorstellbar.

3. Risikomanagement für die Wasserwiederverwendung

Die bereits erwähnte Einleiterüberwachung kann auch für das Risikomanagementsystem bei der in Deutschland zunehmend relevanten Wiederverwendung von aufbereitetem Abwasser eingesetzt werden. Die Einleitbedingungen in dem bisher als „Black Box“ wirkenden Einzugsgebiet können zukünftig transparent und kontinuierlich überwacht und damit das Risiko von ungewollten Belastungen des aufzubereitenden Abwassers minimiert werden.

In Abstimmungen mit den Aufsichtsbehörden lassen sich so angepasste, wirtschaftlichere Aufbereitungseinrichtungen realisieren, wenn sichergestellt ist, dass die Überwachung ungewollter Einleitungen automatisiert überwacht wird.

Für die zuvor genannten Fälle wurde im LiveSewer-Projekt eine entsprechende Infrastruktur anhand von Praxisfällen in Rheine und im Ruhrgebiet getestet und weiterentwickelt. Das LiveSewer-Projekt zeigt dabei die grundsätzliche Anwendbarkeit von Ansätzen des maschinellen Lernens für das Abwassermonitoring auf.

Neben den genannten Anwendungsfällen sind auch diverse weitere Überwachungs- und Steuerungsfunktionen denkbar. Dazu gehören beispielsweise stoffbezogene Ansätze zur Kanalnetzsteuerung – ein schon lange diskutiertes Thema, zu dem aber bisher die technischen Möglichkeiten fehlten – oder die Überwachung von Abwasserabschlägen in Gewässer. Vorstellbar sind auch intelligente und vorausschauende Wartung und Instandhaltung oder die Unterstützung des Betriebspersonals bei Extremereignissen wie Hochwasser und Ölfällen. Die einzelnen Anwendungen werden im Wesentlichen nur durch die Verfügbarkeit geeigneter Trainingsdaten begrenzt.

Umsetzung der neuen Lösungen

Die dargestellte Ausrüstung für die Online-Überwachung und zentrale Datenhaltung ist mittlerweile im Markt verfügbar, und entsprechende Systeme sind realisierbar. Die Modelle des maschinellen Lernens sind grundsätzlich einsetzbar, erfordern aber individuelle Integrationen in vorhandene Datenstrukturen und Weiterentwicklungen für die jeweilige lokale Situation. Hier liegt es nun an den Kanalnetzbetreibern, nächste Schritte zur Implementierung solcher innovativen Systeme mutig anzugehen – und damit die Entwicklung eigener KI-Anwendungen auch in Deutschland zu fördern.

Autor und Ansprechpartner

Dr. Tim Fuhrmann, Projektkoordination FuE, Emscher Wassertechnik GmbH, Essen