



# Leitfaden

## zur Beseitigung und Vermeidung von Fehleinleitungen in die Regenwasserkanalisation für Kanalnetzbetreiber in NRW

gefördert durch:

Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft,  
Natur- und Verbraucherschutz  
des Landes Nordrhein-Westfalen



Dezember 2021

---

### Bearbeitung

Wissenschaftliche Leitung und Bearbeitung:	
Prof. Dr.-Ing. Helmut Grüning Thorsten Schmitz M.Eng.	Fachhochschule Münster Institut für Infrastruktur · Wasser · Ressourcen · Umwelt Stegerwaldstraße 39 48565 Steinfurt
Wissenschaftliche Bearbeitung:	
Dr.-Ing. Holger Hoppe Daniela Böckmann M.Sc.	Dr. Pecher AG – Niederlassung Emscher-Lippe Goldbergstraße 14 45894 Gelsenkirchen

## Inhalt

<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>III</b>
<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>IV</b>
<b>1 Einleitung .....</b>	<b>1</b>
<b>2 Problemstellung und Inhalt .....</b>	<b>2</b>
<b>3 Definition und Ursachen der Fehlanchlussproblematik.....</b>	<b>4</b>
3.1 Systembedingte Verwechslungsgefahr innerhalb der Trennkanalisation .....	4
3.2 Definition von Fehlan schlüssen und Ursachen für Schmutzwassereinleitungen in die Regenwasserkanalisation .....	4
3.3 Dokumentation von Grundstücksentwässerungsanlagen .....	6
<b>4 Detektionsverfahren .....</b>	<b>8</b>
4.1 Systematische Auswertung von Betriebsdaten .....	8
4.2 Visuelle Verfahren .....	9
4.2.1 Inspektion von Einleitstellen, Betriebsschächten und Bauwerken .....	9
4.2.2 Benebelung.....	11
4.2.3 Optische Kanalinspektion mittels Kamera oder Begehung.....	12
4.3 Indikatorverfahren .....	13
4.3.1 Tracer (Markierungsstoffe).....	13
4.3.2 Chemische und biologische Indikatoren mit aktiver und passiver Probenahme .....	14
4.4 Distributed Temperature Sensing (DTS).....	16
<b>5 Kostenrahmen unterschiedlicher Detektionsmethoden .....</b>	<b>19</b>
5.1 Kostenbeispiele für Kanalbenebelungen.....	19
5.2 Kostenbeispiele für Kamerabefahrungen .....	19
5.3 Kostenbeispiele für DTS-Messungen in Abwasserkanälen .....	20
<b>6 Konzept und Vergleich der Methoden zur Fehlan schlussdetektion.....</b>	<b>22</b>

---

<b>7</b>	<b>Gesetzliche Vorgaben und Konzepte zur Beseitigung von Fehlschlüssen.....</b>	<b>29</b>
7.1	Gesetzliche Vorgaben mit Bezug zu Fehlschlüssen.....	29
7.2	Maßnahmen zur Vermeidung und Beseitigung von Fehlschlüssen .....	30
7.2.1	Konzept einer Beispielkommune zur Detektion und Sanierung .....	30
7.2.2	Konzept einer Beispielkommune zur Beseitigung von Fehlschlüssen.....	32
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick.....</b>	<b>34</b>
<b>9</b>	<b>Literatur .....</b>	<b>36</b>

**Abbildungsverzeichnis**

Abb. 1:	Beispiel für die Dokumentation eines Hausanschlusses mit handschriftlichen Anmerkungen .....	7
Abb. 2:	Hinweise auf Fehleinleitungen, die bei Drosselprüfungen oder Bauwerksüberwachungen entdeckt werden können (links: Hygieneartikel und rechts: Verfärbungen/Schaum) .....	8
Abb. 3:	Auswertung einer kontinuierlichen Qualitätsmessung (AFSeq-Konzentration in mg/l) bei Trockenwetter.....	9
Abb. 4:	Optisch erkennbare Folgen von Fehleinleitungen in der Regenwasserkanalisation und Fehleinleitungsindikatoren im Auslauf in ein Gewässer .....	10
Abb. 5:	Verfärbung und Ablagerungen durch Schmutzwasser im Anschlussbereich von Regenwasserkanälen .....	13
Abb. 6:	Fehleinleiterkontrolle an einem privaten Schacht durch Tracerzugabe (Uranin) in einem Entwässerungsgegenstand im Gebäude (rechts mit Tracer) .....	14
Abb. 7:	Ungebleichte Watte (dunkler Bereich) auf mit optischen Aufhellern gewaschenem Kleidungsstück (links) und fluoreszierendes Waschmittelpad unter 365°nm UV-Licht .....	15
Abb. 8:	Schematische Darstellung der Reflektion des Laserlichts im Glasfaserkabel ..	17
Abb. 9:	Mit DTS-Messung erfasste Temperaturdifferenz durch Zufluss .....	18
Abb. 10:	Größenordnungen der spezifischen Kosten einer DTS-Messung bei normalen Einbaubedingungen für eine Messdauer von 3 Wochen bei unterschiedlich langen Messstrecken .....	20
Abb. 11:	Größenordnungen der spezifischen Kosten pro Hausanschluss bei einer DTS-Messung unter normalen Einbaubedingungen für eine Messdauer von 3 Wochen bei unterschiedlich langen Messstrecken.....	21
Abb. 12:	Konzept zur Detektion von Fehlanschlüssen.....	22
Abb. 13:	Grundstücksentwässerungsanlage (GEA) mit Anschluss an die öffentliche Kanalisation bei einem Trennsystem.....	31

**Tabellenverzeichnis**

Tab. 1:	Überblick der visuellen Detektionsmethoden.....	27
Tab. 2:	Überblick der Indikatormethoden zur Detektion.....	28

## 1 Einleitung

Fehleinleitungen existieren in den meisten Trennsystemen. Der Leitfaden zur Beseitigung und Vermeidung von Fehleinleitungen in die Regenwasserkanalisation für Kanalnetzbetreiber in NRW beschreibt Methoden und ein Handlungskonzept mit dem Ziel „sanierungsbedürftige Mischsysteme“ in Trennsysteme ohne Fehleinleitungen zu überführen und damit einen Beitrag zum Gewässerschutz zu leisten.

Abhängig von den vorliegenden Informationen zur Fehleinleitungsproblematik, der Gebietsstruktur und der Gebietsgröße eignen sich unterschiedliche Methoden, um Teilgebiete mit Fehleinleitungen zu identifizieren und schließlich einzelne Fehlanschlüsse zu lokalisieren. Die Methoden zur Ermittlung möglicher Fehleinleitungsindikatoren, Eingrenzung auf Teilgebiete und zur Lokalisierung von Einleitungen in einzelnen Kanalabschnitten werden erläutert und hinsichtlich ihrer Anwendungsmöglichkeiten und Grenzen eingeordnet. Die eindeutige Identifikation und Zuordnung sind dabei häufig aufwändig. Ein stichprobenartiger zufälliger Blick in den Regenwasserkanal während einer Trockenwetterphase genügt nicht. Durch die Wahl einer passenden Detektionsmethode lässt sich der Erfolg der Maßnahme deutlich steigern. Ein angepasstes Konzept gewährleistet zudem einen verminderten Aufwand bei der Durchführung der Detektion. Bei der Wahl der Detektionsmethode(n) findet zunächst eine Einordnung zum Kenntnisstand über die Fehleinleitungen im Kanalnetz in folgende Kategorien statt:

- ▶ Fehleinleitungen im Netz sind nicht bekannt
- ▶ Fehleinleitungen sind bekannt, können aber keinem Teileinzugsgebiet zugeordnet werden
- ▶ Fehleinleitungen können einem Teilgebiet zugeordnet werden.

Grundsätzlich gilt es, Fehleinleitungen zu vermeiden. Um dieses Ziel für neue Anschlüsse an den Kanal zu erreichen, werden mögliche Ursachen für Fehlanschlüsse beschrieben und anhand einer Beispielkommune ein Vorgehen für die Abnahme neuer Anschlüsse erläutert.

## 2 Problemstellung und Inhalt

Fehlangeschlossene Schmutzwassereinleitungen an Regenwasserkanäle oder Verbindungen der Schmutzwasserkanalisation zur Regenwasserkanalisation, z. B. durch Überläufe in Betriebsschächten, führen zu unmittelbaren Gewässerbelastungen, die bislang nicht näher quantifiziert worden sind. Neben fehlangeschlossenen Grundstücksentwässerungsanlagen (GEA) führen auch Verknüpfungen zwischen den Grundstücksentwässerungsleitungen zu Fehleinleitungen. Informationen zu diesem Thema sind nur eingeschränkt verfügbar. Sanierungskonzepte zur Vermeidung von Fremdwasser (Regenwasser in Schmutzwasserkanälen) in der Schmutzwasserkanalisation werden teilweise mit öffentlichen Mitteln gefördert, um die damit verbundenen ökologischen Gewässerbelastungen zu reduzieren. Entsprechende Programme zur Reduktion von Schmutzwasserabflüssen in Regenwasserkanäle gibt es bislang nicht. Fehlangeschlossene Schmutzwasserleitungen an den Regenwasserkanal verstoßen gegen die geltenden wasserrechtlichen Vorgaben

Die nicht vorgesehenen Schmutzwasserabflüsse verstärken die Gewässerbelastung aus der Regenwasserkanalisation zusätzlich. Neben dem Eintrag von Zehr- und Nährstoffen kommt es zu ästhetischen Beeinträchtigungen, beispielsweise durch fixierte Hygieneartikel im Uferbereich eines Gewässers. Außerdem führt der ungewollte Schmutzwassereintrag zu einer hygienischen Belastung durch Keime und Mikroschadstoffe. Daraus resultieren Probleme, wie beispielsweise Einschränkungen der Badewasserqualität bis zu möglichen Belastungen des Trinkwassers, vor allem bei Regenwassereinleitungen im Umfeld von Trinkwassergewinnungsgebieten. Neben der unmittelbaren Gewässerbelastung verursachen Fehleinleitungen auch betriebliche Probleme in Niederschlagswasserbehandlungsanlagen. Neben Geruchsbelästigungen besteht z. B. in technischen Regenwasserfiltern durch Hygieneartikel und Biofilmbildungen eine Kolmationsgefährdung. Über betriebliche Probleme durch Fehleinleitungen in einem Technischen Regenwasserfilter berichten Grüning und Schmitz (2019a, b).

Fehlanschlüsse entstehen in erster Linie durch Mängel bei der Bauausführung. Möglicherweise durch Unkenntnis oder Bequemlichkeit wird die Schmutzwasserleitung der Grundstücksentwässerung an den Regenwasserkanal angeschlossen. Der Regenwasserkanal liegt in der Regel höher und ggf. auch näher zum Grundstück, so dass der Anschluss „an den erstbesten Kanal“ erfolgt. Daraus resultieren stellenweise nur geringe temporäre Schmutzwasserabflüsse in der Regenwasserkanalisation an unbekanntem Stellen.

Fehleingeleitete Schmutzwasserabflüsse in Regenwasserkanälen treten systembedingt temporär auf. Die niederschlagsabhängigen Volumenströme weisen ein enormes Spektrum

von wenigen Litern bis zu mehreren Kubikmetern in der Sekunde auf. Dabei können auch Oberflächenabflüsse erheblich verunreinigt sein. Eine exakte Lokalisierung dieser Fehleinleitungen mit Verfahren wie Kanal-TV-Untersuchungen, Benebelungen oder Tracerzugaben ist nur eingeschränkt und mit hohem finanziellem und personellem Aufwand möglich. Die Detektion dieser Einleitungen ist eine komplexe Problemstellung, so dass davon auszugehen ist, dass es nicht nur den „einen richtigen Lösungsansatz“ gibt.

In diesem Leitfaden werden Möglichkeiten und Grenzen der Verfahren zur Detektion von Fehleinleitungen vorgestellt. Vielversprechende Ergebnisse dazu haben Ermittlungen von Temperaturschwankungen mit Hilfe von Glasfaserkabeln gezeigt. Dabei handelt es sich um sogenannte DTS-Messungen (Distributed Temperature Sensing), bei der ein Glasfaserkabel bis zu einer Länge von mehreren Kilometern in den Kanal eingezogen wird. Durch Auswertung eines Lasersignals wird die Abwassertemperatur kontinuierlich mit hoher zeitlicher und räumlicher Auflösung exakt gemessen. In der Regel weisen Fremdwasserzuflüsse und Fehleinleitungen aufgrund der Herkunft des Wassers eine deutlich abweichende Temperatur gegenüber dem planmäßigen Abfluss auf (Schmutzwasser in Regenwasserkanal oder Regenwasser in Schmutz-/Mischwasserkanal).

Nähere Informationen enthält der Bericht zum Forschungs- und Entwicklungsprojekt Detektion von Fehleinleitungen in Trennsystemen und Reduktion der resultierenden Gewässerbelastung- DETEK-T (Grüning et al., 2021).

### 3 Definition und Ursachen der Fehlschlussproblematik

#### 3.1 Systembedingte Verwechslungsgefahr innerhalb der Trennkanalisation

Im Gegensatz zum Mischsystem, bei dem die Ableitung des Schmutz- und Regenwassers in einer Leitung zur Kläranlage stattfindet, werden beim Trennsystem das Schmutz- und Regenwasser getrennt voneinander gesammelt und abgeleitet. In der Vergangenheit wurde das Regenwasser häufig auf kürzestem Weg in das nächstliegende Gewässer eingeleitet. Zunehmende Anforderungen an die Regenwasserbehandlung in den letzten Jahren und Jahrzehnten haben dazu geführt, dass nur noch stofflich weitgehend unbelastete Oberflächenabflüsse unmittelbar in Gewässer eingeleitet werden dürfen. Misch- und Trennsystem weisen systembedingt mehr oder weniger deutliche Vor- und Nachteile auf (Grüning und Pecher, 2020). Wesentliche Vorteile des Trennsystems gegenüber dem Mischsystem sind, dass die Gewässer nicht mit Schmutzwasseranteilen belastet werden, die Kläranlage gleichmäßiger belastet wird, Pumpanlagen häufig nur Schmutzwasser heben und dass die Rückstaugefahr in Gebäuden durch Niederschlagsabflüsse deutlich vermindert wird. Zu den Nachteilen von Trennsystemen zählt die grundsätzliche Möglichkeit der Fehleinleitung. Neben der Vertauschung der Anschlüsse an die öffentliche Kanalisation kann es bereits im Bereich der nicht-öffentlichen Kanalisation auf den Grundstücken zu einer Verwechslung von Leitungssystemen kommen.

#### 3.2 Definition von Fehlschlüssen und Ursachen für Schmutzwassereinleitungen in die Regenwasserkanalisation

Bei der Diskussion von Fehleinleitungen und dem daraus resultierenden Fremdwasseranfall in der Kanalisation steht in erster Linie die Einleitung von Oberflächenabflüssen in den Schmutzwasserkanal im Fokus. Das Problem fehlangeschlossener Schmutzwasserleitungen an den Regenwasserkanal oder die Verknüpfungen der Schmutzwasserkanalisation mit der Regenwasserkanalisation wird im Vergleich dazu weniger wahrgenommen. Im Trennerlass NRW (MUNLV, 2004) werden diese Fehlschlüsse allerdings berücksichtigt und konkret beschrieben als

*„... Einleitungen von verschmutztem Wasser (z. B. Schmutzwasser) in das Regenwasserkanalnetz, welches nicht den Voraussetzungen nach Nummer 1.3 entspricht.“*

Im Abschnitt 1.3 ist dazu ausgeführt:

*„Dagegen werden das häusliche, gewerbliche, industrielle und sonstige Schmutzwasser sowie das von einzelnen Flächen abfließende Niederschlagswasser, welches wegen seiner Verschmutzung einer über die Regenwasserbehandlung hinausgehenden Abwasserbehandlung bedarf, in Schmutzwasserkanälen der zentralen Abwasserbehandlung zugeführt.“*

Die Regenwasserkanalisation hat primär die Aufgabe, die niederschlagsbedingten Oberflächenabflüsse abzuleiten. Die aufgrund von Flächennutzungen als behandlungspflichtig eingestuften Oberflächenabflüsse sind innerhalb der Regenwasserkanalisation zu behandeln oder der Kläranlage zuzuführen. Dennoch sind in Ausnahmefällen auch Abflüsse in Regenwasserkanälen möglich, die nicht unmittelbar von Oberflächen eingeleitet werden. Beispiele dafür sind in MUNLV (2004) aufgeführt. Zu den Ausnahmen zählen:

- ▶ Drainagewasser oder Grund- und Quellwasserabflüsse.
- ▶ Entlastungen aus einer Mischwasserkanalisation, sofern dieses mindestens dem Stand der Technik und den Anforderungen des wasserrechtlichen Bescheides entsprechen.
- ▶ Abwasser aus Kühlsystemen, der Wasseraufbereitung und der Dampferzeugung (Anforderungen an Inhaltsstoffe entsprechend dem wasserrechtlichen Bescheid).
- ▶ Anorganisch schwach belastetes oder behandeltes Abwasser aus Gewerbe- und Industriebetrieben (Anforderungen an Inhaltsstoffe entsprechend dem wasserrechtlichen Bescheid).
- ▶ Leckagen im Trinkwassernetz und ggf. zur Bewässerung verwendetes überschüssiges Trinkwasser.

Ursachen für nicht akzeptable und unzulässige Fehleinleitungen von behandlungspflichtigen Abflüssen sind beispielsweise:

- ▶ Schmutzwassereinleitungen in Regenwasserkanäle durch fehlangeschlossene Hausanschlussleitungen.
- ▶ Gewerblich/industrielles Abwasser durch fehlangeschlossene Industriebetriebe.
- ▶ Einleitungen von flüssigen Abfällen, z. B. Öle, Farben, Prozesswasser.
- ▶ Verschmutzte Oberflächenabflüsse, beispielsweise durch den Anschluss von Hofabflüssen.
- ▶ Einleitungen über den Straßeneinlauf beispielsweise durch Autowäschen oder die Entleerung von Putzeimern.

- ▶ Einleitungen durch Unfälle (Verkehr, Gewerbe, Kanaleinsturz).

Die Ursachen und die Verantwortung von Fehleinleitungen reichen von reiner Unkenntnis bis zu bewussten strafbaren Handlungen der Verursacher.

Die Folgen von Fehleinleitungen sind derzeit nicht näher zu quantifizierende Gewässerbelastungen. Neben dem Eintrag von Zehr- und Nährstoffen, ist dabei insbesondere der Eintrag von Spurenstoffen (Arzneimittelrückstände, Keime, Chemikalien etc.) zu berücksichtigen.

Bei falsch angeschlossenen Hausanschlüssen ist zu differenzieren, ob das gesamte häusliche Abwassernetz oder ob nur Teile davon falsch angeschlossen sind. Einzelne Fehlanlüsse können beispielsweise durch nachträglich durchgeführte An- oder Umbauten verursacht werden.

### **3.3 Dokumentation von Grundstücksentwässerungsanlagen**

Eine wesentliche Voraussetzung zur Vermeidung von Fehleinleitungen ist eine zuverlässige Dokumentation der Leitungen sowie der Anschlusssituation. Bereits abgenommene Bau- und Entwässerungspläne können fehlerhaft sein. Dazu zählen beispielsweise:

- ▶ Nicht bzw. nur teilweise nachvollziehbare vorgenommene Veränderungen bzw. Umplanungen, die teilweise nachträglich manuell eingetragen wurden
- ▶ Abnahme von Planunterlagen, bei denen Fehlanlüsse sogar dokumentiert sind
- ▶ Fehlende Unterlagen (gerade bei älteren Gebäuden)

Exemplarisch veranschaulicht Abb. 1 die Dokumentation von Grundstücksentwässerungsanlagen. Im Rahmen des Abnahmeprozesses wurden Fehler festgestellt und korrigiert. Zudem erfolgte der explizite Hinweis, die Anschlussleitungen vor Ort zu überprüfen. Bereits die Dokumentation der Leitungen zeigt, dass Missverständnisse und Verwechslungen beim Bau der Leitungen nicht auszuschließen sind. Wird der Anschluss möglicherweise in Eigenleistung und nicht durch Fachleute durchgeführt, gestaltet sich die fachgerechte Ausführung dadurch umso schwieriger. In diesen Fällen wäre eine Korrektur der Pläne durch das Planungsbüro erforderlich, um eine eindeutige Zuordnung der Leitungen auf der Baustelle zu gewährleisten.

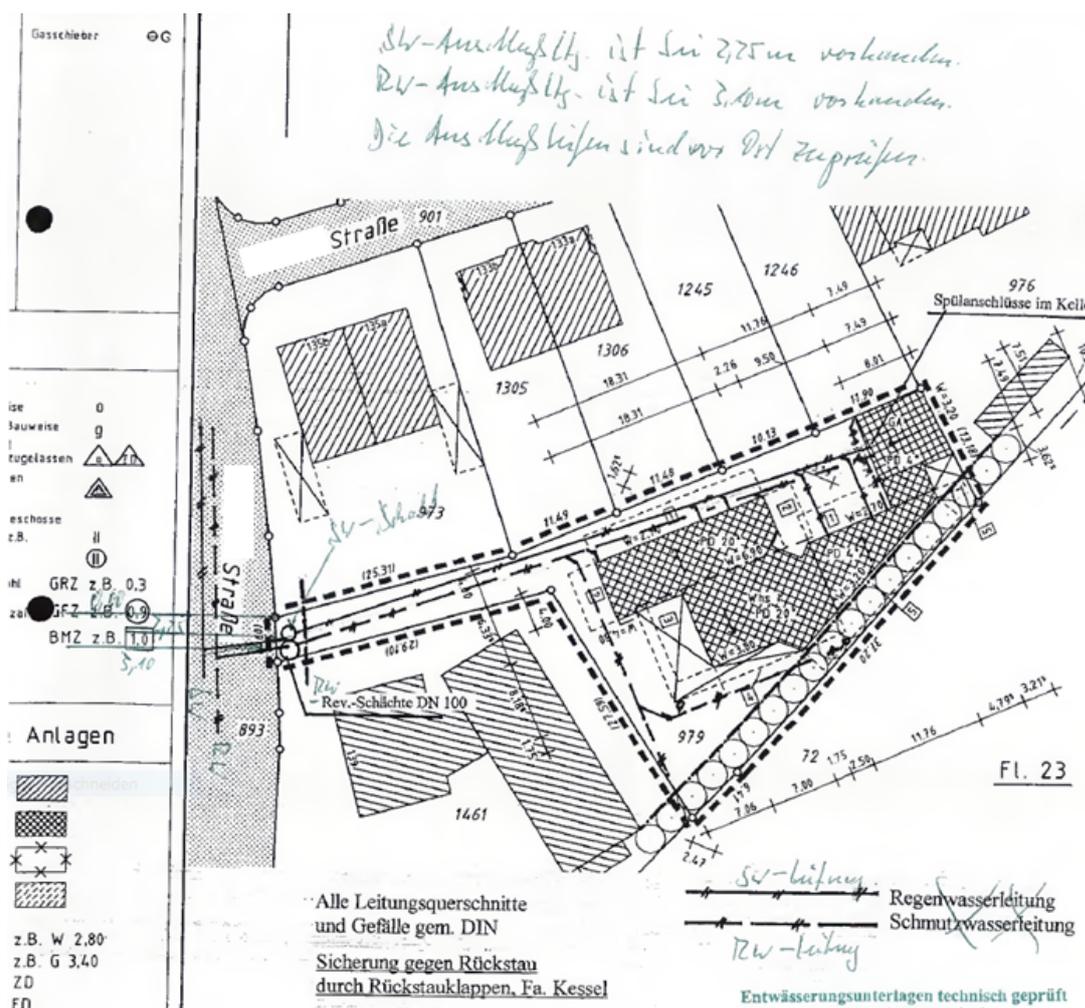


Abb. 1: Beispiel für die Dokumentation eines Hausanschlusses mit handschriftlichen Anmerkungen

## 4 Detektionsverfahren

### 4.1 Systematische Auswertung von Betriebsdaten

Ein wirkungsvolles Instrument, um erste Hinweise auf Fehleinleitungen zu erkennen, ist die systematische Auswertung von Betriebsdaten. Dabei werden sich Informationen genutzt, die ohnehin vorhanden sind. Im Folgenden werden verschiedene betriebliche Bereiche betrachtet und deren Potential zur Erkennung von Hinweisen auf Fehleinleitungen beschrieben.

Hinweise auf Fehleinleitungen kommen häufig auch direkt aus der **Bevölkerung**. Beschwerden über Gewässerverschmutzung oder Gestank liefern Informationen darüber, in welchen Teilnetzen des Kanalsystems Fehleinleitungen vorliegen können.

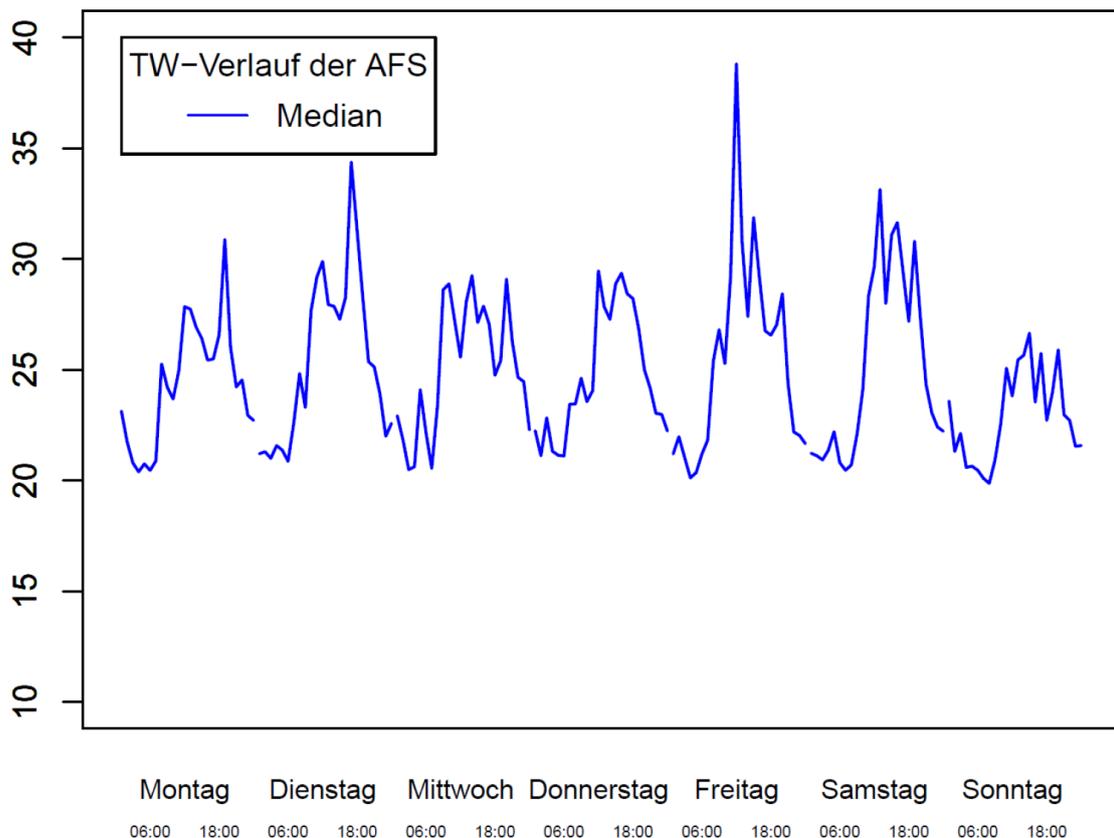
Im Rahmen der **Selbstüberwachung** von Kanälen und Bauwerken, sowie bei **Drosselprüfungen**, können ohne zusätzlichen personellen Aufwand Hinweise auf Fehleinleitungen, wie Hygieneartikel, Gerüche, Schaum, Fäkalien oder Ölfilme, gefunden werden (Abb. 2). Das Betriebspersonal sollte für das Thema sensibilisiert werden und die Informationen dokumentieren und weitergeben, damit weitere Schritte veranlasst werden können. Dabei geht es nicht darum, Fehleinleitungen auszuschließen, sondern durch wiederkehrende Beobachtung das Vorhandensein festzustellen.



**Abb. 2:** Hinweise auf Fehleinleitungen, die bei Drosselprüfungen oder Bauwerksüberwachungen entdeckt werden können (links: Hygieneartikel und rechts: Verfärbungen/Schaum)

Wenn **kontinuierliche Messungen** (z. B. Niederschlags-Abfluss-Messkampagnen oder Qualitätsmessungen) im Kanalnetz durchgeführt werden, können die Messdaten zusätzlich im

Hinblick auf Fehleinleitungen ausgewertet werden. Abb. 3 zeigt die Auswertung von Trockenwettertagen für das über einen Zeitraum von einem Jahr mittels Spektrometersonde kontinuierlich gemessene AFS-Äquivalent (AFSeq-Konzentration) in einem Regenwasserkanal. An dieser Stelle liegt ein starker Hinweis auf Fehleinleitungen im oberhalb liegenden Kanalnetz vor, da die Konzentrationen einen eindeutigen Tagesgang aufweisen. Auf die gleiche Weise können auch Trockenwetter-Tagesgänge bei Durchflussmessungen Hinweise liefern.



**Abb. 3:** Auswertung einer kontinuierlichen Qualitätsmessung (AFSeq-Konzentration in mg/l) bei Trockenwetter

## 4.2 Visuelle Verfahren

### 4.2.1 Inspektion von Einleitstellen, Betriebsschächten und Bauwerken

Die Inspektion von Einleitstellen, an denen Regenwasser aus dem Kanalnetz entweder direkt in ein Gewässer oder in ein Behandlungs- oder Speicherbauwerk (z. B. RRB) eingeleitet wird, kann auch als aktive Methode zur Überprüfung des Vorhandenseins von Fehleinlei-

tungen eingesetzt werden. Dabei ist auf Indikatoren von Fehleinleitungen, wie beispielsweise Hygieneartikel, Schaum, Gerüche, Fäkalien, Verfärbungen, Speisereste oder Ölfilme, zu achten (Abb. 4). An Hindernissen, wie z. B. Messtechnik auf der Kanalsohle oder speziell zur Fehleinleitersuche installierten Fixiervorrichtungen, können sich Feststoffe verfangen. Öle oder Verfärbungen, aber auch Hygieneartikel können mit höherer Wahrscheinlichkeit in Behandlungs- oder Rückhaltebecken entdeckt werden.



**Abb. 4:** Optisch erkennbare Folgen von Fehleinleitungen in der Regenwasserkanalisation und Fehleinleitungsindikatoren im Auslauf in ein Gewässer

Um das Vorhandensein von Fehleinleitungen auszuschließen, reicht eine Begehung dieser Stellen jedoch erfahrungsgemäß nicht aus, da Fehleinleitungen in der Regel nur temporär auftreten. Die Detektion wäre reiner Zufall. Auch eine stichprobenartige Öffnung von Betriebsschächten zur visuellen Kontrolle liefert keine hinreichenden Informationen. Nach längeren Trockenzeiten werden Hygieneartikel oder sonstige Schmutzwasserinhalte nicht zwangsläufig bis zur betrachteten Stelle gespült, sondern lagern sich auf der häufig kilometerlangen Kanalstrecke ab. Darüber hinaus ist es möglich, dass bei intensiveren Regenereignissen große Abflüsse entstehen, die abgelagerte Stoffe von Einleitstellen in das Gewässer wegspülen und diese somit nicht zu erkennen sind. Aus diesen Gründen kann es sein, dass eine Einleitstelle mehrfach kontrolliert wird und dabei unauffällig ist und dennoch Fehleinleitungen im Netz vorhanden sind. Idealerweise kann die optische Inspektion im Rahmen von Wartungs- bzw. Kontrollarbeiten an Anlagen erfolgen und die Ergebnisse der Inspektion dokumentiert werden.

#### **4.2.2 Benebelung**

Bei der Benebelung wird unter geringem Überdruck Nebel in den Kanal eingeblasen. Dieser Überdruck und die im Kanal bestehende Kaminwirkung lassen den Nebel an sämtlichen Anschlüssen, die nicht mit Geruchsverschlüssen versehen sind, austreten. Diese Methode eignet sich gut zur Detektion von Regenwasserleitungen an den Schmutzwasserkanal. Fehl-angeschlossene Grundstücksentwässerungsanlagen sind in diesem Fall beispielsweise durch Austritt des Nebels aus den Regenfallrohren erkennbar.

Bei der Detektion von Schmutzwasserleitungen an die öffentliche Regenwasserkanalisation müsste der Nebel über die Hauptlüftungsleitung der Gebäudeentwässerung entweichen, um deutlich von außen erkannt zu werden. Folgende Bedingungen schränken die Benebelung als sichere Detektionsmethode jedoch ein:

- ▶ Entlüftung der Gebäudeentwässerung über Entlüftungsventile
- ▶ Austritt des Nebels über Entwässerungsgegenstände im Gebäude, beispielsweise bei ausgetrocknetem Siphon
- ▶ Entwässerung des Gebäudes durch eine Abwasserhebeanlage
- ▶ Verhinderung der Benebelung durch Rückstausicherung

Rückstausicherungssysteme für fäkalienhaltiges Abwasser sollten in der Regel immer geöffnet sein und erst bei Rückstau geschlossen werden. Der Schließmechanismus kann dabei je nach Hersteller variieren. Bei einer Aktivierung über die Messung der Feuchtigkeit ist der

Verschluss einer Klappe bei Nebeltritt nicht auszuschließen. Bei Rückstausicherungssystemen für nicht fäkalienhaltiges Abwasser handelt es sich häufig um Pendelklappen, die geschlossen sind, wenn kein Wasser dem öffentlichen Kanal zufließt, sodass Nebel zurückgehalten wird. Hinzu kommt, dass Grundstückseigentümer häufig nicht über Aufzeichnungen zur Art und Lage der Rückstausicherungen verfügen.

Darüber hinaus sollten zwar im Normalfall sämtliche Entwässerungsanlagen im Haus mit einem Geruchsverschluss (Siphon) versehen sein, allerdings kann es speziell bei Anlagen, die nur selten verwendet werden, zur Austrocknung dieser Verschlüsse kommen, was dazu führt, dass der Nebel direkt in die Wohnräume gelangt.

Aus diesem Grund ist es neben der eigentlichen Messung notwendig, die betroffenen Eigentümer und Anwohner im Voraus darüber zu informieren, dass die Benezelungen stattfinden. Zusätzlich sollte vorab die Feuerwehr informiert werden, um so Einsätze aufgrund von Nebelmeldungen in den Wohnräumen zu vermeiden. Die Vorabinformation der Anwohner kann dazu führen, dass bei bekannten oder sogar bewusst vorgenommenen Fehlanschlüssen das Austreten des Nebels an bestimmten Stellen verhindert wird und so die Fehleinleitungen ebenfalls nicht erkennbar sind.

#### **4.2.3 Optische Kanalinspektion mittels Kamera oder Begehung**

Die optische Inspektion mit einer Kamera ist ein wesentlicher Bestandteil der Überprüfung des Zustands von Kanalisationsstrecken mit Nennweiten, die eine Begebarkeit nicht zulassen. Die Prüfung des Kanalzustands wird in NRW in der Selbstüberwachungsverordnung Abwasser (SüwVO Abw) gefordert. Hier wird festgelegt, dass nach Abschluss der Ersterfassung jährlich fünf Prozent der öffentlichen Kanäle, bzw. das gesamte Netz alle 15 Jahre, einer Zustandsüberprüfung unterzogen werden muss (MKULNV, 2013).

Aufgrund des in der Regel diskontinuierlichen Auftretens von Fehleinleitungen kann durch die Kamerabefahrung nicht in jedem Fall eine Detektion von Schmutzwasser in der Regenwasserkanalisation gewährleistet werden. Allerdings können in Einzelfällen Indizien wie Trübungen oder Verfärbungen sowie Ablagerungen Hinweise auf Fehlanlüsse geben. Beispiele illustrieren die in Abb. 5 exemplarisch dargestellten Fotodokumentationen. Hier sind Trübungen und Verfärbungen an den Verbindungspunkten der privaten Anschlüsse sichtbar. Somit besteht eine Möglichkeit zur Detektion einzelner Fehleinleitungen durch die Kamerabefahrung, gleichzeitig können Fehlanlüsse jedoch nicht ausgeschlossen werden, wenn keine Hinweise erkennbar sind.

Die Kamera-TV-Inspektion kann sowohl auf dem Grundstück, also in den privaten Leitungen, als auch vom öffentlichen Hauptkanal aus stattfinden. Letzteres bietet den Vorteil, dass kein Zugang zu den Privatgrundstücken notwendig ist (Notwendigkeit der Information bzw. Vorabinformation der Grundstückseigentümer im Vorfeld klären)



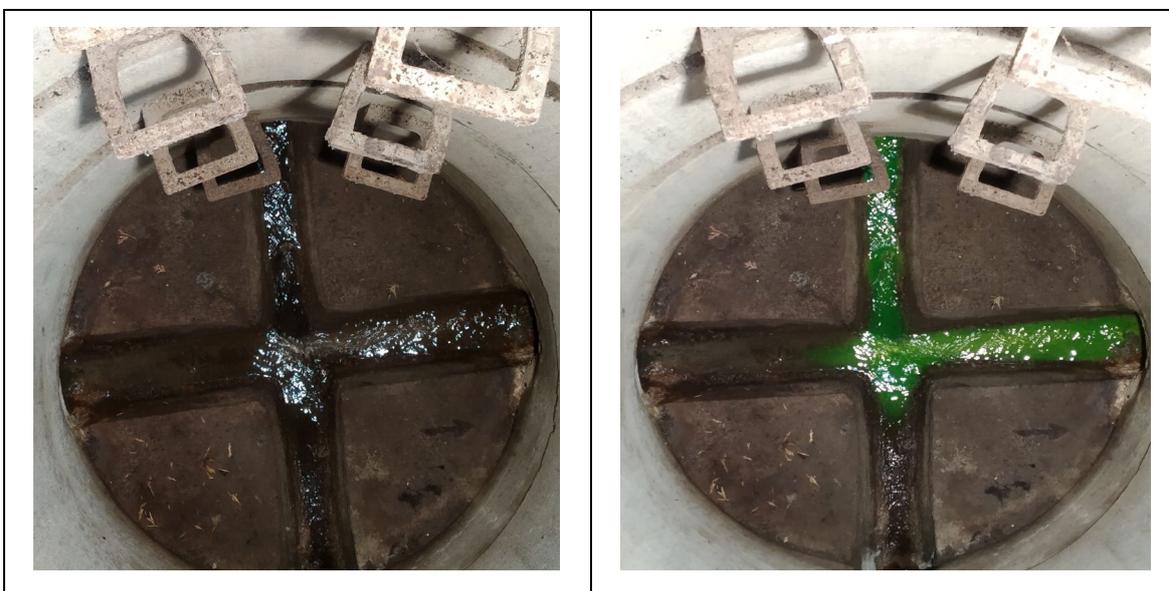
**Abb. 5: Verfärbung und Ablagerungen durch Schmutzwasser im Anschlussbereich von Regenwasserkanälen**

### 4.3 Indikatorverfahren

#### 4.3.1 Tracer (Markierungsstoffe)

Tracer sind Stoffe, die selbst in geringen Mengen noch nachgewiesen werden können. Im Bereich der Fehleinleitungsdetektion werden hauptsächlich Farbtracer (z. B. Uranin) verwendet (Abb. 6). Beim Einsatz dieser Stoffe in Regenwasserkanälen ist darauf zu achten, dass ausschließlich umweltverträgliche Substanzen zum Einsatz kommen und eine Gewässerbelastung vermieden wird (ggf. Abstimmungen mit den Wasserbehörden). Durch Zugabe der Tracer in Hausabläufe, z. B. in Toiletten, Waschbecken, Duschen und gleichzeitiger

Kontrolle der vor dem Haus liegenden Schächte, kann so bestimmt werden, ob bzw. welche Abläufe falsch angeschlossen sind. Allerdings ist hier eine Information im Vorfeld und die Kooperation der Anwohner vorausgesetzt, da ein Zugang zu den Haushalten notwendig ist. Um Fehleinleitungen sicher ausschließen zu können, ist eine Tracerzugabe in alle Entwässerungsanlagen erforderlich, da Fehlanlüsse innerhalb der Grundstücksentwässerung möglich sind. Dies setzt voraus, dass alle Entwässerungsanlagen auch bekannt sind und berücksichtigt werden (z. B. Waschbecken in Garagen oder Schuppen, Bodenabläufe im Keller etc.) Da ein vorheriger Kontakt zu den Anwohnern nötig ist, besteht die Gefahr, dass eine bekannte Fehleinleitung verschwiegen wird.



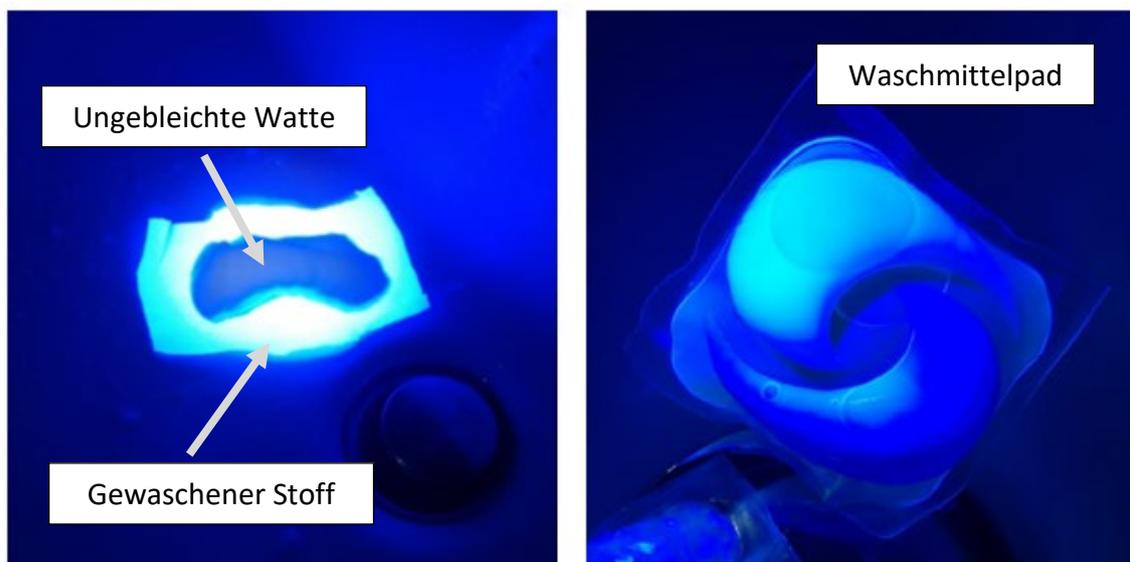
**Abb. 6:** Fehleinleiterkontrolle an einem privaten Schacht durch Tracerzugabe (Uranin) in einem Entwässerungsgegenstand im Gebäude (rechts mit Tracer)

#### 4.3.2 Chemische und biologische Indikatoren mit aktiver und passiver Probenahme

Mögliche Fehleinleitungen können außerdem durch die Entnahme von Proben mit anschließender Analyse von Indikatorstoffen erfolgen. Die Detektion durch Indikatorparameter ist an bestimmte Voraussetzungen geknüpft. Indikatorparameter eignen sich nach Brown et al. (2004) in erster Linie dann, wenn ihr Vorkommen in Schmutz- und Regenwasser erhebliche Konzentrationsunterschiede zur Basiskonzentration aufweist und über den Fließweg kein nennenswerter Abbau stattfindet. Zu den Stoffen, die in möglichst vielen Haushalten auftreten, bereits in sehr kleinen Konzentrationen messbar sind, aber eindeutiger einem anthropogenen Einfluss unterliegen, oder deren Konzentration im Grund- bzw. Niederschlagswasser bekannt ist, zählen unter anderem:

- ▶ Schmerzmittel (Diclofenac und Ibuprofen)
- ▶ Coffein
- ▶ Ethylendiamintetraessigsäure (EDTA)
- ▶ Süßstoffe (Asparatam und Acesulfam)

Neben den vergleichsweise hohen Kosten für die Analyse stellt die Art der Probenahme den größten Problempunkt bei dieser Untersuchung dar. Aufgrund des diskontinuierlichen Auftretens der Fehleinleitungen reichen Stichproben nicht aus, da in den Zeiten, in denen keine Fehleinleitungen stattfinden, die oben genannten Indikatorparameter in der Regel nicht aufzufinden sind. Somit müsste die Probenahme immer zum Zeitpunkt von Einleitungen gestartet und die Analyse zeitnah durchgeführt werden. Dieses Problem kann durch den Einsatz von Passivsammlern gelöst werden. Im Rahmen der Untersuchungen wurde ungebleichte Watte als Passivsammler im Abwasserstrom getestet. Die anschließende Analyse basiert dabei auf dem Messprinzip der Lumineszenz optischer Aufheller in Waschmitteln. Kommt die Watte mit den in diversen Waschmitteln enthaltenen Aufhellern in Berührung, luminesziert diese unter UV-Licht mit einer Wellenlänge von 365 nm. Wie auf der linken Seite von Abb. 7 zu sehen ist, luminesziert ein mehrfach gewaschenes Kleidungsstück deutlich. Der auf diesem Kleidungsstück platzierte Bausch aus ungebleichter Watte leuchtete hingegen nicht. Auf der rechten Seite ist die Lumineszenz eines Waschmittelpads unter 365 nm UV-Licht zu sehen.



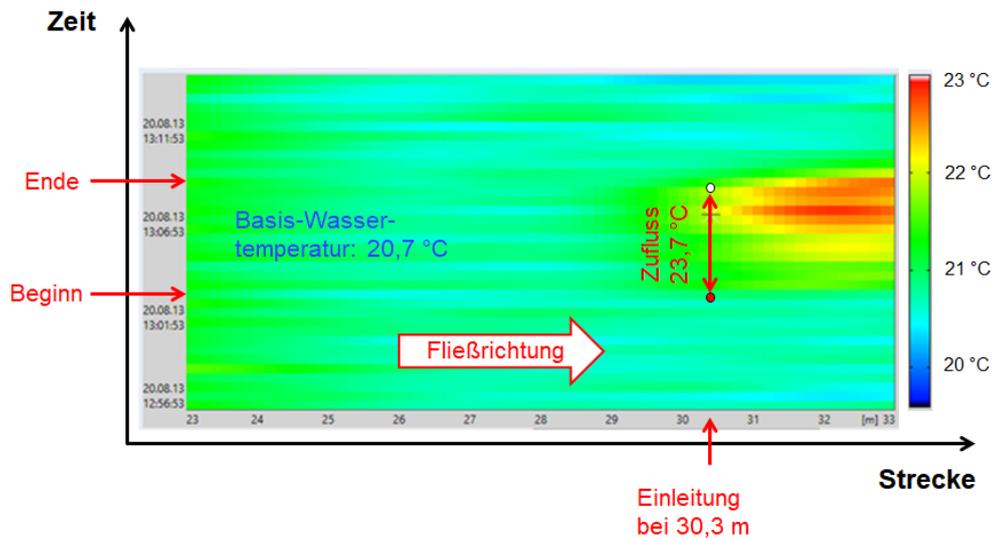
**Abb. 7:** Ungebleichte Watte (dunkler Bereich) auf mit optischen Aufhellern gewaschenem Kleidungsstück (links) und fluoreszierendes Waschmittelpad unter 365°nm UV-Licht

Bei der Fehleinleitungsdetektion auf der Basis biologischer Indikatoren werden Parameter untersucht, die in erster Linie aufgrund menschlicher Ausscheidungen in der Kanalisation nachweisbar sind. Dazu zählen in erster Linie fäkale Indikatorbakterien (z.B. E.coli, Enterokokken). Eine Möglichkeit zur Untersuchung mikrobiologischer Parameter bietet eine Sielhautuntersuchung. Weiterhin werden auch Aufwuchsflächen beispielsweise aus Filz an der Kanalsohle angebracht, um hier eine Fixierung von Indikatorparametern zu untersuchen. Allerdings ist zu berücksichtigen, dass mikrobiologische Parameter innerhalb der Kanalisation einem Veränderungsprozess unterliegen. Mikroorganismen können entweder absterben oder durch Reproduktions- und Stoffwechselprozesse entstehen. Außerdem ist zu beachten, dass biologische Indikatoren wie E.coli auch durch Tiere eingetragen werden können (z.B. Hundekot). Damit sind diese Parameter nur eingeschränkt zur Fehleinleitungsdetektion geeignet.

#### 4.4 Distributed Temperature Sensing (DTS)

Bei der verteilten faseroptischen Temperaturmessung (englisch *distributed temperature sensing*) werden optoelektronische Geräte zur Messung der Temperatur eingesetzt. Dabei dienen Glasfasern als lineare Sensoren. Auf die Glasfaser können physikalische Messgrößen wie die Temperatur einwirken und die Eigenschaften der Lichtleitungen in der Faser lokal ändern. Das Messkonzept basiert auf der Rückstreuung von Licht entlang eines wärme- und strahlungsempfindlichen Lichtwellenleiter-Kabels (LWL-Kabel). In der Rückstreuung finden sich neben dem elastischen Streuanteil (Rayleigh-Streuung) auf der gleichen Wellenlänge wie das eingestrahlte Licht auch zusätzliche Komponenten auf anderen Wellenlängen, die mit der Molekülschwingung und somit mit der lokalen Temperatur gekoppelt sind (Raman-Streuung). Das Licht in der Glasfaser streut an mikroskopisch kleinen Dichteschwankungen, die kleiner als die Wellenlänge sind. Das Prinzip der Rückstreuung des eingeleiteten Lichtimpulses in die Faser veranschaulicht Abb. 8. Temperaturänderungen induzieren Gitterschwingungen im Molekülverband des Quarzglas. Fällt Licht auf diese thermisch angeregten Molekülschwingungen, kommt es zu einer Wechselwirkung zwischen den Lichtteilchen (Photonen) und den Elektronen des Moleküls. Es entsteht im LWL-Kabel die temperaturabhängige Lichtstreuung, die gegenüber dem einfallenden Licht spektral um den Betrag der Resonanzfrequenz der Gitterschwingung verschoben ist.





**Abb. 9: Mit DTS-Messung erfasste Temperaturdifferenz durch Zufluss**

Der Vorteil gegenüber den anderen Detektionsmethoden ist die kontinuierliche Messung und die dabei vorhandene örtliche Auflösung, die es ermöglicht, auftretende Einleitungen auf den Hausanschluss genau zuzuweisen. Aufgrund des meist diskontinuierlichen Auftretens der Fehleinleitungen wird durch die lange Einbauzeit des Kabels sichergestellt, dass alle in dem Gebiet auftretenden Einleitungen erfasst werden, selbst wenn Anwohner über einige Zeit nicht anwesend sind (Ferien, Nutzung von Sanitäranlagen in Partyräumen etc.).

## 5 Kostenrahmen unterschiedlicher Detektionsmethoden

### 5.1 Kostenbeispiele für Kanalbenebelungen

Bei der Kanalbenebelung fallen Kosten für die Arbeiten vor Ort und das verbrauchte Nebelfluid an. Für das Verbrauchsmaterial können ca. 20 € pro Liter veranschlagt werden. Pro Stunde ist es möglich, grob geschätzt zwischen 10 und 15 Hausanschlüsse zu überprüfen. Je nach Situation vor Ort kann die Anzahl jedoch abweichen.

Im Beispiel Wuppertal werden diese Arbeiten in Eigenleistung durchgeführt. Dabei werden pro Stunde 200 € berechnet. Werden die Arbeiten durch einen externen Dienstleister ausgeführt, sind zusätzliche Kosten für die Anfahrt zu berücksichtigen.

Unter den beschriebenen Voraussetzungen liegen die Kosten der Benebelung pro Hausanschluss zwischen 13 und 20 €.

### 5.2 Kostenbeispiele für Kamerabefahrungen

Bei der Kamerabefahrung sind zwei Vorgehensweisen üblich. Entweder werden Schäden bzw. sonstige Auffälligkeiten direkt vor Ort dokumentiert und anschließend in das Erfassungssystem importiert oder vor Ort wird ausschließlich die Befahrung mit der Kamera durchgeführt und die Auswertung der Videodaten erfolgt anschließend im Büro. Bei der Auswertung im Büro können größere Strecken in vergleichbaren Zeiträumen aufgenommen werden. Allerdings nimmt die Nachbearbeitung wiederum mehr Zeit in Anspruch.

In Wuppertal wird die Dokumentation direkt vor Ort durchgeführt. Pro Tag können je nach Beschaffenheit des Untersuchungsgebiets ca. 400 m Kanalstrecke befahren und dokumentiert werden. Dafür werden 270 € pro Stunde berechnet.

In Warendorf können mit moderner Kameratechnik ca. 400 m pro Stunde befahren werden. Für ein Kamerafahrzeug werden 150 € pro Stunde kalkuliert. Im Anschluss an die Befahrung erfolgt die Auswertung des Bildmaterials, wofür entsprechend zusätzliche Kosten anfallen.

In der Regel werden Kanäle vor der Kamerabefahrungen gereinigt bzw. gespült. Abhängig von der Anfahrtszeit, Nennweite und Verschmutzung können in Wuppertal etwa 70 bis 100 Meter Kanalstrecke pro Stunde gereinigt werden. Die Kosten belaufen sich auf 256 € pro Stunde. In Warendorf können etwa 400 m Kanal pro Stunde, bei Kosten von 110 bis 155 €

pro Stunde, gespült werden. Im Falle der Fehleinleitungsdetektion ist eine vorherige Reinigung der Kanäle im Untersuchungsgebiet kontraproduktiv, da Ablagerungen, Sielhäute oder Verfärbungen, die auf Fehleinleitungen hindeuten, möglicherweise abgespült werden.

### 5.3 Kostenbeispiele für DTS-Messungen in Abwasserkanälen

Die Gesamtkosten für die DTS-Messungen liegen erfahrungsgemäß zwischen 10,00 EUR/m bis 22,00 EUR/m. Die Größenordnungen der Kosten hängen maßgeblich von der Gebietsstruktur, den Einbaubedingungen, dem Aufwand zur Datenauswertung und nicht zuletzt der Messdauer und der Länge der Strecke ab. Abb. 10 und Abb. 11 zeigen die Größenordnungen der (spezifischen) Kosten für eine Messdauer von drei Wochen bei unterschiedlich langen Messstrecken. Die spezifischen Kosten pro Meter oder pro Hausanschluss nehmen mit zunehmender Länge der Messstrecke ab. Die spezifischen Kosten je Hausanschluss sind darüber hinaus abhängig von der Bebauungsdichte (Unterscheidung zwischen Außen- und Innenstadtbereich). Bei kurzen Messstrecken fallen die Fixkosten z. B. für die Gerätemiete stärker ins Gewicht. Bei längeren Messstrecken erhöht sich der Aufwand für die Installationsarbeiten und die Datenauswertung. Diese Bereiche können durch eine weiter verbreitete Anwendung noch optimiert werden, was mittelfristig zu einer weiteren Verringerung der spezifischen Kosten bei längeren Messstrecken führen sollte. Kosten für Verkehrssicherungs- und Arbeitsschutzmaßnahmen für Arbeiten in umschlossenen Räumen in abwassertechnischen Anlagen können ebenfalls projektspezifisch variieren.

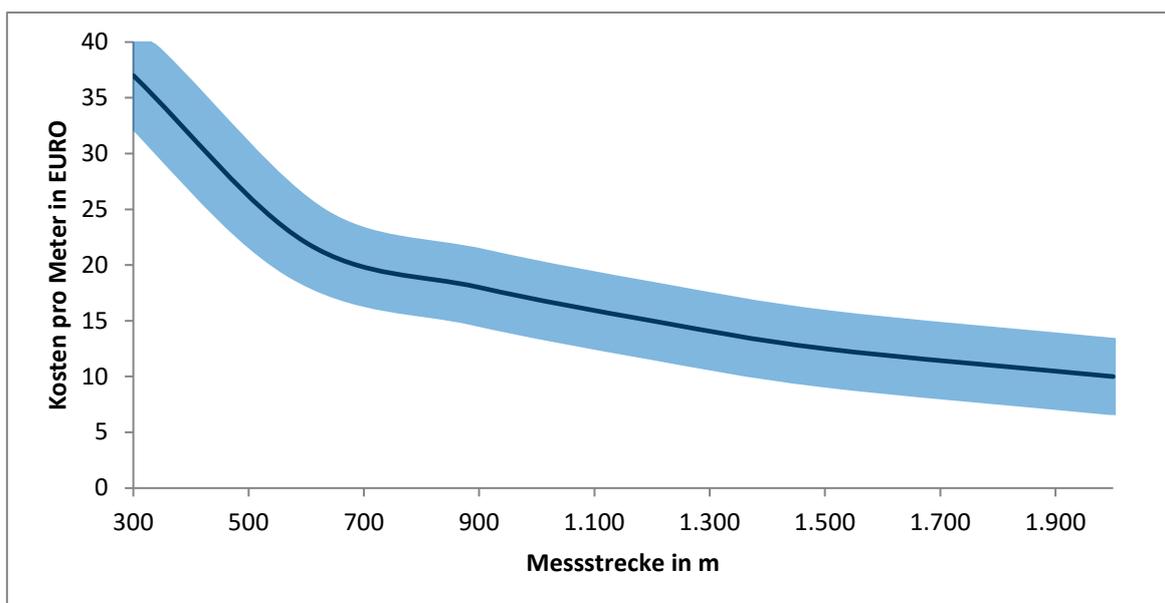
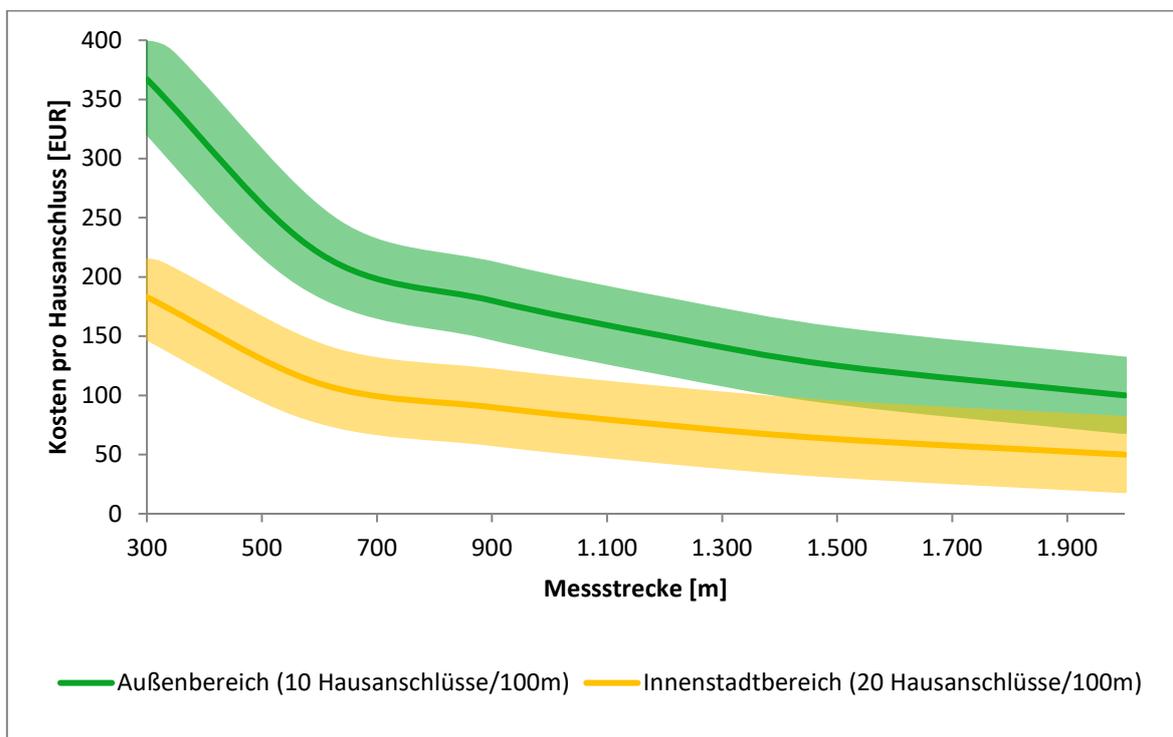


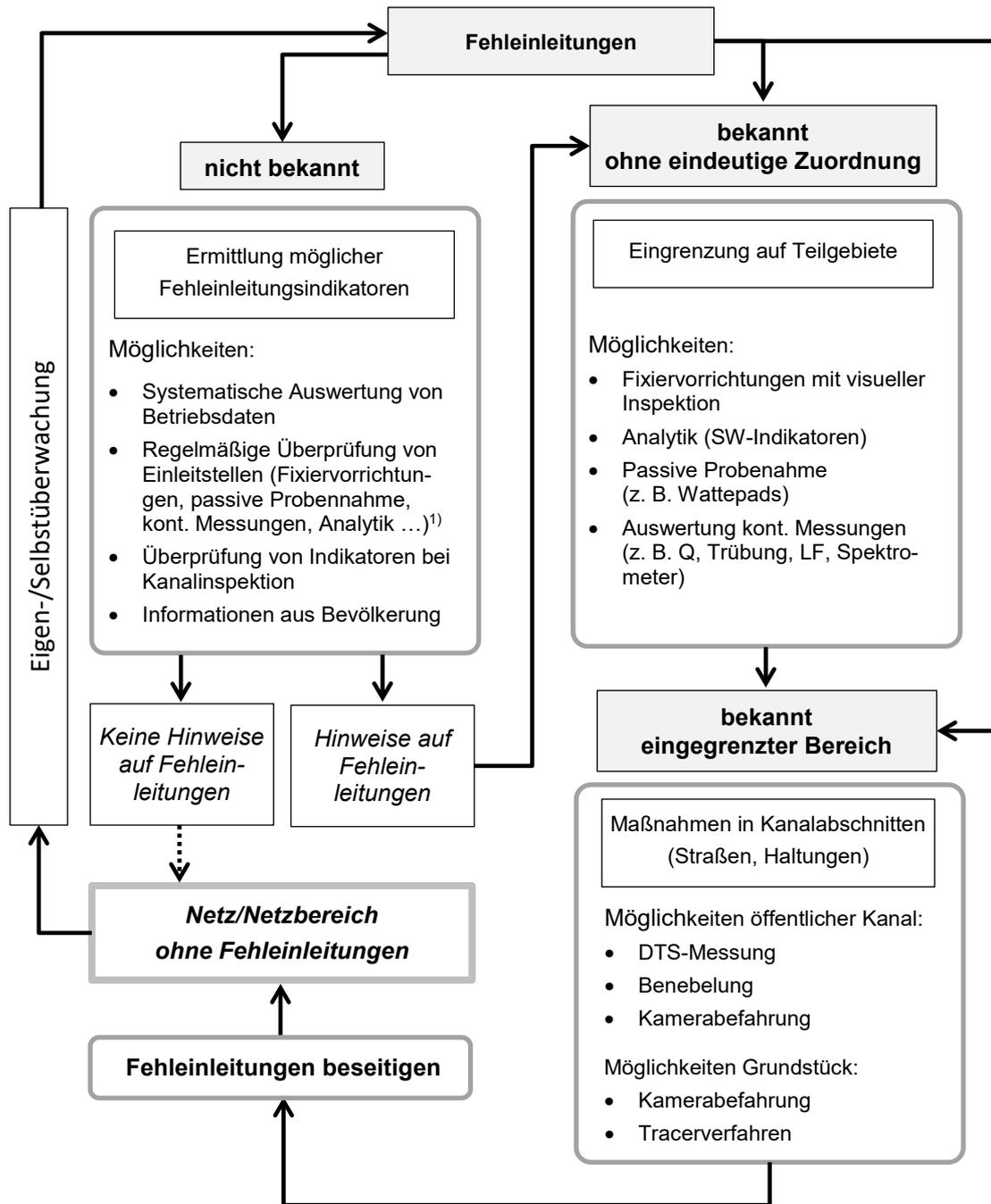
Abb. 10: Größenordnungen der spezifischen Kosten einer DTS-Messung bei normalen Einbaubedingungen für eine Messdauer von 3 Wochen bei unterschiedlich langen Messstrecken



**Abb. 11:** Größenordnungen der spezifischen Kosten pro Hausanschluss bei einer DTS-Messung unter normalen Einbaubedingungen für eine Messdauer von 3 Wochen bei unterschiedlich langen Messstrecken

## 6 Konzept und Vergleich der Methoden zur Fehlanchlussdetektion

In diesem Kapitel wird ein Konzept (Abb. 12) zur Überwachung und Lokalisierung von Fehleinleitungen im Kanalnetz vorgestellt. Die in Kapitel 4 beschriebenen Methoden werden in den Tabellen 1 und 2 gegenübergestellt und im Hinblick auf Einsatzmöglichkeiten, Grenzen und Kosten eingeordnet.



<sup>1)</sup> Eine einmalige visuelle Kontrolle reicht zum Ausschluss von Fehleinleitungen nicht aus.

Abb. 12: Konzept zur Detektion von Fehlan schlüssen

### **Fehleinleitungen im Netz sind nicht bekannt**

Die bisherigen Erfahrungen zeigen, dass zumindest größere Netzbereiche mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht fehleinleitungsfrei sind. Kanalnetzbetreiber sollten generell auf mögliche Fehleinleiterindikatoren achten. Die Erfahrungen aus dem Pilotprojekt DETEK-T zeigen, dass punktuelle visuelle Kontrollen von Einleitungsstellen allein nicht ausreichend sind, um Fehleinleitungen zuverlässig zu detektieren bzw. ausschließen zu können. Gründe hierfür sind das unregelmäßige und nur temporäre Auftreten, sowie die möglichen Erscheinungsformen, die abhängig vom Ursprung der Fehleinleitung sind.

Idealerweise wird das Netz durch eine Kombination verschiedener Methoden regelmäßig auf mögliche Fehleinleitungsindikatoren hin untersucht.

- ▶ Der Betrieb sollte grundsätzlich für das Thema sensibilisiert werden, damit Fehleinleitungsindikatoren bei der regelmäßigen Kanalinspektion dokumentiert und gemeldet werden. Darüber hinaus kann aktiv nach Fehleinleitungen im Kanalnetz gesucht werden, z. B. mittels Fixiervorrichtungen, passiver oder aktiver Probenahme.
- ▶ Eine weitere Möglichkeit zur Erkennung von Fehleinleitungen im Kanalnetz bietet die systematische Auswertung von Betriebsdaten. Es können eigens für diesen Zweck Messsonden im Kanal installiert und/oder die Daten bereits durchgeführter Messkampagnen ausgewertet werden. Praktische Hinweise zu Qualitätsmessungen in Entwässerungssystemen sind in Raith et al. (2017) beschrieben.
- ▶ Auch Informationen aus der Bevölkerung, z. B. Beschwerden über Hygieneartikel im Gewässer oder Gestank, liefern oft wichtige Hinweise auf Fehleinleitungen im Kanalnetz.

Werden Indizien für Fehleinleitungen erkannt, ist eine Eingrenzung des Bereiches erforderlich, in dem Fehlanlüsse vermutet werden. Werden keine Indizien für Fehleinleitungen erkannt, bedeutet dies jedoch nicht automatisch, dass keine Fehleinleitungen vorhanden sind. Aus diesem Grund sollten einzelne oder eine Kombination der beschriebenen Untersuchungsmöglichkeiten dauerhaft in die Betriebsabläufe integriert werden.

### **Eingrenzung auf Teilgebiete**

Die in Abb. 12 aufgeführten Methoden zur Eingrenzung auf Teilgebiete sind mit überschaubarem Aufwand durchführbar. Häufig wird die Suche nach Fehleinleitungen an der Einleitung in das Gewässer begonnen und dann sukzessive in den angeschlossenen Netzbereich fortgeführt. Eine möglichst weitgehende Eingrenzung mit diesen Methoden ist zu empfehlen. Da an dieser Stelle ggf. schon bekannt ist, um welche Arten von Fehleinleitungen es

sich handelt, können gezielt einzelne oder mehrere Methoden zur weiteren Eingrenzung angewendet werden.

### **Lokalisierung von Fehleinleitungen**

Können die Fehleinleitungen schließlich auf einzelne Straßenzüge beschränkt werden, erfolgt eine exakte Fehleinleitungsdetektion. An dieser Stelle bietet die DTS-Messung eine vielversprechende Möglichkeit, da sie sehr sichere Ergebnisse liefert und in vielen Fällen anwendbar ist.

Bei der Benebelung sind die in Kapitel 4 beschriebenen Vorteile und Einschränkungen zu beachten. Während das Verfahren zur Überprüfung von Regenwasseranschlüssen an den Schmutzwasserkanal gut geeignet ist, können Fehlschlüsse an den Regenwasserkanal unerkannt bleiben.

Die Kamerabefahrung im öffentlichen Kanal kann aufgrund von Ablagerungen oder Verfärbungen Hinweise liefern, aber es werden nicht zuverlässig alle Fehleinleitungen erkannt.

Je nach Struktur und Größe des Gebietes sowie abhängig vom Kenntnisstand über die Art der Fehleinleitung können Benebelung, Kamerabefahrung oder auch Traceruntersuchungen dennoch geeignete Methoden sein. Häufig wird eine Kombination der Methoden zum Erfolg führen. Anschließend erfolgt die Untersuchung der Fehlschlusssystematik auf dem Grundstück. Im einfachsten Fall ist unmittelbar der Anschluss der Grundstücksleitung an den öffentlichen Regenwasserkanal vertauscht worden. Es besteht aber auch die Möglichkeit, dass fehlerhafte Leitungsverknüpfungen innerhalb der Grundstücksentwässerung vorgenommen worden sind. Die Analyse erfolgt in diesem Fall z. B. durch Tracerzugabe in die jeweiligen Entwässerungsgegenstände.

Nach der Beseitigung der Fehleinleitungen sollte das Gebiet noch einmal mit den Methoden aus Schritt 2 kontrolliert werden, damit weitere Fehleinleitungen ausgeschlossen werden können.

Tab. 1: Überblick der visuellen Detektionsmethoden

Methode	Vorteile/Einsatzmöglichkeiten	Nachteile/Grenzen	Hinweise zu Kosten
<b>Inspektion von Einleitstellen und Bauwerken (ggf. temporärer Einbau von Fixvorrichtungen)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• relativ kostengünstig</li> <li>• mit Wartungsaufgaben kombinierbar</li> <li>• keine speziellen Geräte nötig</li> <li>• Hinweise auf Fehleinleitungen können entdeckt werden</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zuverlässigkeit stark eingeschränkt (z. B. bei geringen Zuflüssen)</li> <li>• das Vorhandensein von Fehleinleitungen kann nicht ausgeschlossen werden</li> <li>• bestimmte Indikatoren notwendig (Hygieneartikel, Geruch etc.)</li> </ul>	<p>sowohl Geräte- als auch Personalkosten relativ gering und gem. Selbstüberwachungsverordnung z. B. SÜwVO NRW ohnehin erforderlich</p>
<b>Benebelung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• etablierte Methode zur Detektion von RW-Einleitungen in die SW-Kanalisation</li> <li>• moderater Zeitaufwand</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rauch wird ggf. durch Rückstauverschluss oder Entlüftungsventile zurückgehalten</li> <li>• bei ausgetrocknetem Siphon kann Rauch in Wohnraum eindringen</li> <li>• zur Detektion von SW-Einleitungen in die RW-Kanalisation nicht zuverlässig geeignet</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kosten für das Nebelfluid: ca. 20 € pro Liter</li> <li>• Zeitaufwand: 10 bis 15 Hausanschlüsse pro Stunde</li> </ul>
<b>Optische Inspektion (Kamerabefahrung und Kanalbegehung)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kombination mit regelmäßig erforderlichen Zustandsuntersuchungen</li> <li>• mögliche Erkennung von FE und weitere Informationen zum Zustand</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Schmutzwassereinleitungen erfolgen diskontinuierlich, somit Detektion unzuverlässig bzw. zufällig</li> <li>• hoher Zeit- und Kostenaufwand bei Untersuchung größerer Netze</li> <li>• bei vorheriger Kanalspülung können Hinweise auf FE weggespült werden</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• abhängig davon, ob Systeme zur Ausstattung gehören</li> <li>• hoher Zeit- u. Personalaufwand</li> </ul>

Tab. 2: Überblick der Indikatormethoden zur Detektion

Methoden	Vorteile/Einsatzmöglichkeiten	Nachteile/Grenzen	Kosten
<b>Tracer</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Durchführung vergleichsweise einfach</li> <li>• keine speziellen Geräte nötig</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zugang zu Privatgrundstücken erforderlich (Revisionschächte nicht auf jedem Grundstück vorhanden)</li> <li>• Manipulation möglich</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• in erster Linie personeller Aufwand</li> </ul>
<b>Chemische Indikatoren (aktive/passive Probenahme)</b> (z. B. Ammoniak, Leitfähigkeit, Verhältnis Ammoniak/Kalium, Koffein, Carbamazepin)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Detektion von Indikatoren aus menschlichen Ausscheidungen und Abfällen mit relativ hoher Genauigkeit</li> <li>• Analyse teilweise relativ kostengünstig</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• kostengünstige Untersuchungen (NH<sub>3</sub> und Leitfähigkeit) problematisch, da sowohl in SW als auch in RW vorhanden</li> <li>• zur Analyse von Koffein ist Gaschromatographie notwendig</li> <li>• örtliche Schwankungen der Parameter setzen Voruntersuchungen voraus, um Grenzwerte festzulegen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• gering bis sehr hoch je nach Parameter und Umfang der Beprobung und Analyse</li> </ul>
<b>Mikrobiologische Indikatoren (aktive/passive Probenahme)</b> (Indikatorbakterien, Microbial Source Tracking, DNA Fingerprinting)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• je nach Methode mögliche Unterscheidung zwischen menschlicher und tierischer Herkunft der Mikroorganismen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• tlw. langwierig und hohe Analysekosten</li> <li>• teilweise kurze Überlebenszeit der Indikatororganismen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Analytik zur Unterscheidung der jeweiligen Organismen ist teuer</li> </ul>
<b>DTS-Messung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• hohe zeitliche und räumliche Auflösung (einzelne Hausanschlüsse können direkt zuverlässig detektiert werden)</li> <li>• Arbeitsaufwand nach Einbau gering</li> <li>• keine Manipulation (lange Messdauer)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zeit- und Personalaufwand bei Einbau</li> <li>• Erfahrung bei Konzeption und Dateninterpretation erforderlich</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• abhängig von der Gebietsgröße und -struktur</li> <li>• mit zunehmender Messstrecke und größerer Anzahl von Hausanschlüssen sinken die relativen Kosten</li> </ul>

## **7 Gesetzliche Vorgaben und Konzepte zur Beseitigung von Fehlschlüssen**

### **7.1 Gesetzliche Vorgaben mit Bezug zu Fehlschlüssen**

Bei fehleingeleitetem Schmutzwasser in Regenwasserkanäle besteht die Gefahr, dass unbehandeltes Abwasser unmittelbar in ein Gewässer eingeleitet wird. Möglicherweise erfolgt eine Mitbehandlung der fehleingeleiteten Schmutzwasseranteile in einer Niederschlagswasserbehandlungsanlage, die aber grundsätzlich zur Behandlung von Oberflächenabflüssen konzipiert ist. Es liegt damit ein Verstoß gegen wasserrechtliche Vorgaben vor. Das Wasserhaushaltsgesetz (WHG) erlaubt zwar die Einleitung von Abwasser in ein Gewässer, aber nur unter der Voraussetzung, dass die Menge und Schädlichkeit des Abwassers so geringgehalten wird wie dies bei Einhaltung der jeweils in Betracht kommenden Verfahren nach dem Stand der Technik möglich ist (WHG § 57). Das WHG schreibt weiterhin vor, dass Abwasseranlagen, die den vorgegebenen Anforderungen nicht entsprechen, innerhalb einer angemessenen Frist zu sanieren sind (WHG § 60). In § 61 des WHG wird zudem gefordert, dass der Betreiber einer Abwasseranlage deren Zustand, Funktionsfähigkeit, Unterhaltung und Betrieb zu überwachen hat.

Das Landeswassergesetz NRW (LWG, 2016) greift diese Vorgaben auf (z. B. LWG §§ 58 und 59). Konkrete Hinweise zur Errichtung, zum Betrieb und zur Überwachung von privaten Abwasserleitungen gibt in NRW die Verordnung zur Selbstüberwachung von Abwasseranlagen - Selbstüberwachungsverordnung Abwasser SÜwVO Abw (MKULNV, 2013) vor. In § 8 (1) in der Fassung vom 18.05.2021 der SÜwVO Abw wird explizit die Verpflichtung des Grundstückseigentümers beschrieben, nach der Errichtung oder nach wesentlicher Änderung die Abwasserleitungen unverzüglich von Sachkundigen nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik auf deren Zustand und Funktionsfähigkeit prüfen zu lassen.

Der Erlass „Anforderungen an die Niederschlagsentwässerung im Trennverfahren (Trennerlass)“ (MUNLV, 2004) enthält eine Definition und Forderungen zum Umgang mit Fehlschlüssen in Trennsystemen: „Fehlschlüsse im Sinne des Erlasses sind Einleitungen von verschmutztem Wasser (z. B. Schmutzwasser) in das Regenwasserkanalnetz [...]. Drainagewassereinleitungen stellen keine Fehlschlüsse dar. Fehlschlüsse sind in angemessenen Zeiträumen zu beseitigen. Sofern und solange dies nicht erfolgt, gilt das gesamte Kanalisationsnetz als sanierungsbedürftiges Mischwassernetz“ (MUNLV, 2004).

Für die Beseitigung vorhandener Fehleinleitungen sind die Grundstückseigentümer verantwortlich. Da dies je nach Lage der Leitungen bzw. Bebauung auf der Oberfläche mit erheblichen Kosten verbunden sein kann, sind betroffene Bürger möglicherweise nur eingeschränkt kooperativ. Allerdings handelt es sich bei der Einleitung von Schmutzwasser in Regenwasserkanäle um eine Ordnungswidrigkeit. Maßnahmen zur Beseitigung von Fehleinleitungen sollten in enger Kooperation zwischen der zuständigen Wasserbehörde und dem Kanalnetzbetreiber erfolgen. Bei fehlender Handlungsbereitschaft des Grundstückseigentümers können die Wasserbehörden rechtliche Schritte (Zwangmaßnahmen) veranlassen.

Gegebenenfalls ist eine Ergänzung der Entwässerungssatzung erforderlich, die erforderliche Maßnahmen auf dem Grundstück bzw. im Gebäude ermöglichen (z. B. Tracerzugabe oder Benebelung).

Zur Bearbeitung der Fehleinleitungsproblematik ist ein integraler Ansatz zu empfehlen. Dieser umfasst die Prävention sowie Maßnahmen zur Detektion und Beseitigung bereits vorhandener Fehleinleitungen. Die Prävention vor neuen Fehleinleitungen wird durch eine Kontrolle neu erstellter Hausanschlüsse, entweder durch Fachpersonal von der Kommune selbst oder durch zertifizierte Unternehmen gewährleistet. Voraussetzung dafür ist eine Meldung neuer Hausanschlüsse an den Kanalnetzbetreiber. Wie allerdings sowohl die Umfrage von Berger et al. (2016) als auch die im Rahmen des Projektes DETEK-T durchgeführte Umfrage zeigen, wird auf die Kontrolle häufig verzichtet (Grüning et al., 2021).

## **7.2 Maßnahmen zur Vermeidung und Beseitigung von Fehlschlüssen**

### **7.2.1 Konzept einer Beispielkommune zur Detektion und Sanierung**

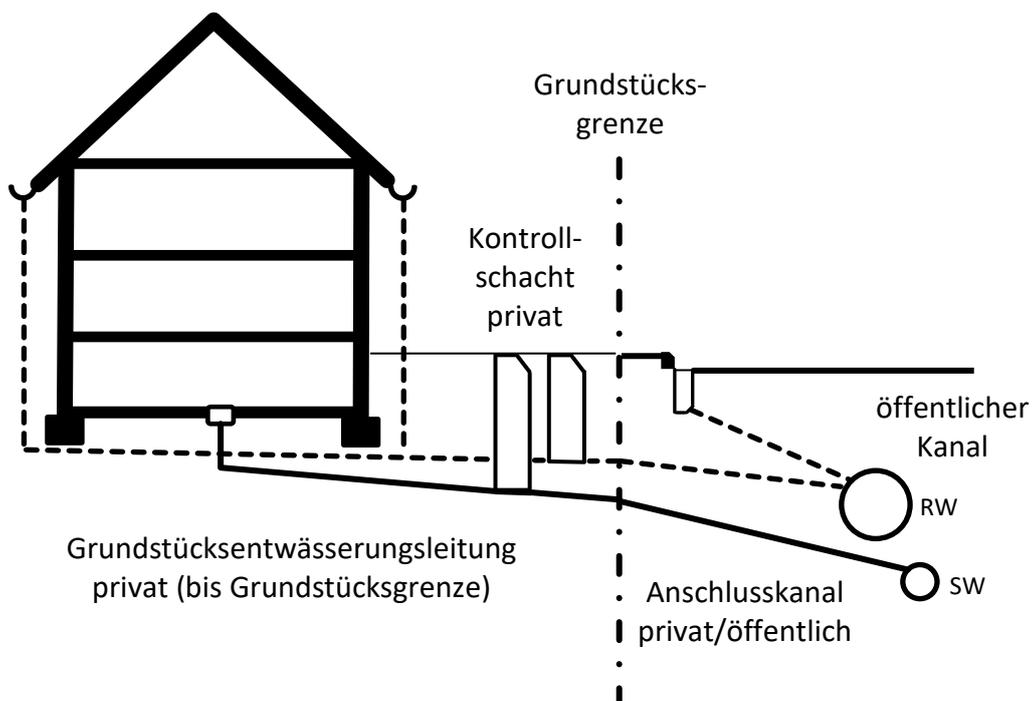
Ein integraler Ansatz zur Detektion und Sanierung von Fehleinleitungen wird hier am Beispiel eines Kanalnetzbetreibers exemplarisch beschrieben. Die Unterscheidung der jeweiligen Systemelemente der Grundstücksentwässerungsanlage (GEA) und der öffentlichen Kanalisation verdeutlicht Abb. 13. In der DIN 1986-100 „Entwässerungsanlagen für Gebäude und Grundstücke“ (DIN, 2016) sind die jeweiligen Systemelemente der Grundstücksentwässerung definiert. Dazu gehören:

- ▶ Grundleitung: Abwasserleitungen in oder unterhalb der Bodenplatte des Hauses und im Erdreich des Grundstückes außerhalb des Gebäudes bis zum Kontrollschacht auf dem Grundstück. Ist kein solcher Schacht vorhanden, reicht die Grundleitung

bis zur Grundstücksgrenze. Bei Mischsystemen ist das Schmutz- und Niederschlagswasser über getrennte Grundleitungen aus dem Gebäude herauszuführen und erst nahe der Grundstücksgrenze (vorzugsweise in einem Schacht) zusammen zu führen.

- ▶ Sammelleitung: Alternativ zur Grundleitung ist die Gebäudeentwässerung über eine Sammelleitung zu empfehlen. Diese ist nicht im Erdreich oder unter der Grundplatte verlegt. Sammelleitungen sind zugänglich innerhalb der Kellersohle angeordnet oder unter der Kellerdecke aufgehängt. Dadurch besteht dauerhaft eine Kontrollmöglichkeit innerhalb des Gebäudes.
- ▶ Anschlusskanal: Kanal von der Grundstücksgrenze oder dem (letzten) Kontrollschacht auf dem Grundstück (je nach Ortssatzung) bis zum öffentlichen Straßenkanal.

Der Hausanschluss (Sammelbegriff für Grundleitung und Anschlusskanal) ist die private Kanalleitung, die über die Grundleitung und den Anschlusskanal die privaten Abwässer des Hauses und des Grundstücks in die öffentliche Kanalisation einleitet. Grundleitungen und Anschlusskanäle innerhalb des privaten Grundstücks sind vom Grundstückseigentümer zu bauen, zu warten und instand zu halten. Die Zuständigkeiten für die Instandhaltung des Anschlusskanals von der Grundstücksgrenze bis zum Anschluss an den öffentlichen Kanal im Straßenbereich ist in den jeweiligen Satzungen individuell geregelt.



**Abb. 13:** Grundstücksentwässerungsanlage (GEA) mit Anschluss an die öffentliche Kanalisation bei einem Trennsystem

Eine Überprüfung von Hausanschlusskanälen erfolgt in der Regel in Zusammenarbeit mit qualifizierten Dienstleistern vom öffentlichen Kanal aus. Bei fehlenden Kontrollschächten auf den Privatgrundstücken bietet sich die Überprüfung der privaten Grundstücksentwässerungsleitungen vom öffentlichen Kanal aus ebenfalls an. Hier ist, bis auf begründete Ausnahmefälle, vorab eine Abstimmung mit den Grundstückseigentümern erforderlich. Die gewonnenen Daten werden vom Kanalnetzbetreiber ausgewertet und die Ergebnisse der Untersuchung dem Grundstückseigentümer zur Verfügung gestellt. Bei schadhafte Leitungen oder fehlerhaftem Anschluss wird dem Grundstückseigentümer gleichzeitig eine Sanierungsberatung angeboten, wobei sowohl die Untersuchung, die Auswertung sowie die Erstberatung durch den Gebührenhaushalt finanziert werden. Möglichkeiten zur Umlage der Kosten sind in LWG § 54 geregelt (LWG, 2016). Die Zuständigkeit der Verlegung des Anschlusskanals von der Grundstücksgrenze bis zum öffentlichen Kanal ist zu klären. Sollte eine Sanierung notwendig sein, wird darüber hinaus angeboten, dass die Sanierungsarbeiten durch eine Rahmenvertragsfirma durchgeführt werden, die der Kanalnetzbetreiber beauftragt. Der Kanalnetzbetreiber übernimmt dabei die gesamte Abwicklung der Baumaßnahme inklusive der Bau- und Qualitätsüberwachung, Abrechnung und Abnahme. Erforderlich ist eine Kostenübernahmeerklärung des Grundstückseigentümers in Höhe der zu erwartenden Kosten.

Die im Einzugsgebiet des Kanalnetzbetreibers hergestellten oder geänderten Grundstücksentwässerungen werden generell abgenommen. Nach dem Verfüllen des Baugrabens ist eine Druckprüfung verpflichtend. Darüber hinaus sollte in der Abwassersatzung festgehalten sein, dass an Anschlusskanälen und Grundstücksentwässerungsanlagen nur zugelassene Fachbetriebe arbeiten dürfen. Die Fachbetriebe müssen je nach Art der angebotenen Dienstleistungen eine jeweilige Zulassung beantragen, an Schulungsmaßnahmen teilnehmen und eine Musterbaustelle vorführen. Die Zulassung ist begrenzt auf drei Jahre. Eine Liste der zugelassenen Unternehmen ist auf der Homepage des Kanalnetzbetreibers veröffentlicht.

### **7.2.2 Konzept einer Beispielkommune zur Beseitigung von Fehlan schlüssen**

Im Idealfall genügt bei einer Fehleinleitung ein schriftlicher Hinweis mit einem Gesprächsangebot, um das Problem zu erklären und Lösungsmöglichkeiten aufzuzeigen. Erfahrungsgemäß kann ein aufwändigeres Verfahren erforderlich sein. Der Ablauf eines Verwaltungsverfahrens mit und ohne Zwangsgeldfestsetzung wird hier am Beispiel einer größeren Kommune geschildert.

Nach Feststellung eines Fehlschlusses erfolgt eine Dokumentation in Form eines Mängelberichtes. Anschließend erfolgt die Prüfung, an wen der Verwaltungsakt gerichtet wird. Dieser kann aus drei unterschiedlichen Teilen bestehen:

- ▶ Anhörung
- ▶ Aufforderung mit Zwangsgeldandrohung
- ▶ Festsetzung des Zwangsgeldes mit erneuter Zwangsgeldandrohung

Der Verwaltungsakt beginnt mit einer Anhörung (in Papierform) die dem Verantwortlichen zugeschickt wird (ggf. als Postzustellungsurkunde). In der Regel wird eine Frist von drei Wochen festgesetzt, in der sich der Verantwortliche mit der Behörde in Verbindung setzen kann. Bei erfolgter Rückmeldung wird überprüft, ob ein Zeitraum angegeben wurde, in dem der Mangel behoben werden soll. Wurde ein Zeitraum festgelegt, wird der Vorgang nach dem vereinbarten Zeitraum bzw. bei Rückmeldung einer erfolgten Mängelbeseitigung wieder vorgelegt. Der Vorgang wird anschließend überprüft.

Sollte während der Frist keine Rückmeldung erfolgt sein, wird überprüft, ob ein oder mehrere Verantwortliche (Gesamtschuldner) aus der Recherche im Katasterprogramm hervorgehen. Bei einem einzelnen Verantwortlichen wird eine Aufforderung mit Zwangsgeldandrohung mit Postzustellungsurkunde versendet. Bei mehreren Verantwortlichen wird geprüft, ob bei einem der Verantwortlichen eine besondere Verantwortung zur Entstehung des Fehlschlusses vorliegt. Sollte dies nicht der Fall sein, wird der in der Katasterauskunft an erster Stelle stehende Verantwortliche ausgewählt. Anschließend wird ebenfalls eine Aufforderung mit Zwangsgeldandrohung mit Postzustellungsurkunde versendet. Gegenüber allen weiteren Verantwortlichen werden zusätzlich Duldungsverfügungen erstellt und ebenfalls mit Postzustellungsurkunde versendet. Die Wiedervorlage erfolgt nach drei Monaten oder nach einer Rückmeldung, dass der Mangel beseitigt wurde. Bei Rückmeldung, dass der Mangel behoben wurde, erfolgt eine Kontrolle der Mängelbeseitigung.

Sollte der Mangel nach Ablauf eines angemessenen Zeitraumes noch nicht behoben sein, wird das im vorherigen Schritt angedrohte Zwangsgeld festgesetzt und eine weitere Androhung eines neuen Zwangsgeldes in doppelter Höhe festgelegt. Diese beiden Dokumente werden dem Verantwortlichen wieder mit Postzustellungsurkunde, mit einer Frist von drei Monaten, zugeschickt. Sollte der Mangel nach Ablauf dieser Frist immer noch nicht behoben sein, ist dieser Ablauf bis zu dreimal wiederholbar, danach ist mit einem anderen Zwangsmittel zu arbeiten. Letzteres war bislang noch nicht erforderlich. Die Festlegung eines angemessenen Zeitraumes für die Behebung des Mangels hängt von den örtlichen Bedingungen ab (z.B. Umfang der Maßnahme, Verfügbarkeit qualifizierter Unternehmen).

## 8 Zusammenfassung und Ausblick

Die Detektion von fehlangeschlossenen Schmutzwasserleitungen an die Regenwasserkanalisation ist ein unangenehmes Thema. Gründe dafür sind:

- ▶ Der vergleichsweise hohe Aufwand, um Fehlanschlüsse sicher zu detektieren.
- ▶ Betroffene Grundstückseigentümer werden mit einem unerwarteten Aufwand konfrontiert, der möglicherweise nennenswerte Kosten verursacht.
- ▶ Vor allem bei eingeschränkter Kooperationsbereitschaft der betroffenen Verantwortlichen für den Hausanschluss ist der Verwaltungsaufwand für Kanalnetzbetreiber und Ordnungsbehörden vergleichsweise hoch.
- ▶ Fehlanschlüsse sind häufig auf individuelle Fehler bei der Planung, Genehmigung oder Ausführung zurückzuführen, deren Aufklärung mit Unannehmlichkeiten verbunden ist.

Die Untersuchungen des Projektes DETEK-T haben gezeigt, dass zur Detektion unterschiedliche Verfahren verfügbar sind. Dabei stellt die DTS-Messung neben etablierten Methoden ein genaues Verfahren zur exakten Detektion von Temperatureffizienzen dar, die ein sicheres Indiz für Fehleinleitungen sind. Je nach Randbedingungen kann eine Kombination mit weiteren Detektionsmethoden erforderlich sein, um Untersuchungsgebiete einzugrenzen oder eine eindeutige Zuordnung eines Fehlanschlusses zu gewährleisten.

Im Rahmen der DTS-Messung sollte eine kurzfristige Überprüfung möglicher Fehleinleiter möglichst noch während der Messphase erfolgen. Die Chance der Ermittlung von Fehleinleitern wird dadurch gesteigert. Das bedeutet, dass bereits während der Messphase eine Kontaktaufnahme mit den Grundstückseigentümern erfolgen sollte, um auf dem Grundstück den Nachweis des Fehlanschlusses, beispielsweise durch Tracerzugabe in Entwässerungsgegenständen im Gebäude, führen zu können.

Der vorliegende Leitfaden enthält einen Überblick über unterschiedliche Detektionsmethoden. Die bisher in den meisten Fällen durchgeführte Nebenebelung eignet sich zwar für die Detektion von Regenwasserleitungen an die Schmutzwasserkanalisation, für die sichere Detektion von Schmutzwasserleitungen an die Regenwasserkanalisation eignet sich dieses Verfahren nur eingeschränkt. Ursache dafür sind beispielsweise unterschiedliche Arten der Entlüftung der Hausinstallation oder die Verwendung einer Abwasserhebeanlage.

Um Fehleinleitungen weitgehend auszuschließen, sind zukünftig

- ▶ eine konsequente Abnahme neuer Anschlussleitungen erforderlich und
- ▶ stadtgebietsweite Konzepte zur Detektion und Beseitigung der bestehenden Fehleinleitungen zu entwickeln und umzusetzen.

Darüber hinaus kann das Risiko des Fehlanchlusses durch Qualitätsvorgaben bei der Bauausführung deutlich vermindert werden. Die Maßnahme sollte durch qualifiziertes Personal des Kanalnetzbetreibers oder Fachunternehmen durchgeführt werden. Das hätte zudem den Vorteil, dass die Anschlüsse an den öffentlichen Kanal fachgerecht ausgeführt werden und damit auch bauliche Schäden sowie hydraulische Einschränkungen vermieden werden.

Eine wichtige Erkenntnis der Pilotprojekte zur Identifikation von Fehleinleitungen ist, dass ein Blick in einzelne Betriebsschächte oder Einleitungsstellen nicht ausreicht, um Fehleinleitungen auszuschließen, sondern dass die Beobachtung des Gesamtnetzes im Hinblick auf Fehleinleitungen fester Bestandteil des dauerhaften Netzbetriebs sein sollte. Diese Arbeiten lassen sich in die Selbstüberwachung der Netzbetreiber integrieren.

## 9 Literatur

Berger C., Falk C., Hetzel F., Pinnekamp J., Roder S. und Ruppelt J. (2016): Zustand der Kanalisation in Deutschland. Ergebnisse der DWA-Umfrage 2015. KA - Korrespondenz Abwasser, Abfall 2016.

Brown E., Caraco D. and Pitt R. (2004): Illicit Discharge Detection and Elimination - A Guidance Manual for Program Development and Technical Assessments. Center for Watershed Protection, Maryland, Alabama.

DIN (2016a) DIN 1986-100 Entwässerungsanlagen für Gebäude und Grundstücke - Teil 100: Bestimmungen in Verbindung mit DIN EN 752 und DIN EN 12056, Dezember 2016

Grüning H. und Schmitz T. (2019a) Teil 2: Systeme zur technischen Regenwasserfiltration: Kennwerte und Bemessung. In: Herausforderungen Regenwasser 2019-2020, gwf Praxiswissen, Vulkan-Verlag, Essen, ISBN: 978-3-8356-7402-8 (Print) und ISBN: 978-3-8356-7403-5 (eBook), S. 74 bis 80

Grüning H. und Schmitz T. (2019b) Teil 1: Technische Regenwasserfiltration: Systemanforderungen und Wirkmechanismen. In: Herausforderungen Regenwasser 2019-2020, gwf Praxiswissen, Vulkan-Verlag, Essen, ISBN: 978-3-8356-7402-8 (Print) und ISBN: 978-3-8356-7403-5 (eBook), S. 67 bis 73

Grüning H. und Pecher K.-H. (2020) Kanalnetzplanung und Überflutungsvorsorge. 1. Auflage 2020, ISBN: 978-3-8356-7383-0 (Print) und 978-3-8356-7384-7 (eBook), Vulkan-Verlag GmbH, Essen

Grüning H., Schmitz T., Böckmann D. und Hoppe H. (2021). Abschlussbericht zum Forschungs- und Entwicklungsprojekt Detektion von Fehleinleitungen in Trennsystemen und Reduktion der resultierenden Gewässerbelastung- DETEK-T

Hoes O.A.C., Schilperoort R.P.S., Luxemburg W.M.J., Clemens F.H.L.R. und van de Giesen N.C. (2009): Locating illicit connections in storm water sewers using fiber-optic distributed temperature sensing. Water Research Vol 43 No 20 pp 5187-5197

Hoppe H., Pecher K.H., Laschet U., Schilperoort R. (2013): Exakte Lokalisierung von Einleitungen in Entwässerungssysteme mittels verteilter Temperaturmessungen (DTS) – Grundlagenermittlung zur effizienten Sanierungsplanung. KA – Korrespondenz Abwasser, Abfall: 428 – 434

Hoppe H., Fricke K. und Rottmann T. (2015): Trennsysteme oder sanierungsbedürftige Mischsysteme? Ermittlung von Fehleinleitungen mittels DTS. 10. Fachtagung Mess- und

Regelungstechnik in abwassertechnischen Anlagen – Konzepte, Erfahrungen, Trends in Kassel

LWG (2016): Wassergesetz für das Land Nordrhein-Westfalen (Landeswassergesetz - LWG-). [https://recht.nrw.de/lmi/owa/br\\_text\\_anzeigen?v\\_id=3920070525140450679](https://recht.nrw.de/lmi/owa/br_text_anzeigen?v_id=3920070525140450679) (21.03.2019)

MKULNV (2013): Verordnung zur Selbstüberwachung von Abwasseranlagen - Selbstüberwachungsverordnung Abwasser - SÜwVO Abw. Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz, in der Fassung vom 18.05.2021

MUNLV (2004) Anforderungen an die Niederschlagsentwässerung im Trennverfahren. RdErl. d. Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz - IV-9 031 001 2104 – vom 26.5.2004

Raith K., Hoppe H., Kutsch S., Ante J und Massing Ch. (2017) Qualitätsabhängige Kanalnetzsteuerung- Konzeption und Umsetzung lokaler und stadtgebietsweiter Steuerungsstrategien. Eine SAMUWA-Publikation. <https://www.project.uni-stuttgart.de/samuwa/> (28.03.2021)

Schilperoort R., Hoppe H., de Haan C. und Langeveld J. (2013): Searching for storm water inflows in foul sewers using fibre-optic distributed temperature sensing. Water Science & Technology: 1723–1730

WHG (2009): Wasserhaushaltsgesetz vom 31. Juli 2009 (BGBl. I S. 2585), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 19. Juni 2020 (BGBl. I S. 1408) geändert worden ist