FH MÜNSTER
University of Applied Sciences

pecher
DR. PECHER AG

In Zusammenarbeit mit

ABWASSERBETRIEB WARENDORF

WSW

Abschlussbericht

Detektion von Fehleinleitungen in **T**rennsystemen und Reduktion der resultierenden Gewässerbelastung (DETEK-T)

Projektförderung durch:

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

(Förderprogramm "Ressourceneffiziente Abwasserbeseitigung NRW")

Förderbereich 6: Forschungs- und Entwicklungsprojekte zur Abwasserbeseitigung (ResA-6)

Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV)
Postfach 101052, 45610 Recklinghausen

Dezember 2021

IWARU Institut für
Wasser · Ressourcen · Umwelt
Prof. Dr.-Ing. Helmut Grüning
Stegerwaldstraße 39
48565 Steinfurt

IWARU Institut für
Infrastruktur · Wasser ·
Ressourcen · Umwelt

Projektbeteiligte

Wissenschaftliche Leitung und Bearbeitung:	
Prof. Dr.-Ing. Helmut Grüning Thorsten Schmitz M.Eng. Christian Schmidt 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 Klinkerweg 5 40699 Erkrath
Kooperierende Kommunen:	
Stadt Wuppertal Dipl.-Ing. Christian Massing Dipl.-Ing. Jens Ante	WSW Energie & Wasser AG Bromberger Straße 39 42281 Wuppertal
Stadt Warendorf Ralf Bücker Berthold Museler M.Eng. Christian Schlingmann M.Sc.	Abwasserbetrieb Warendorf Freckenhorster Straße 43 48231 Warendorf

Inhalt

Abbildungsverzeichnis ..... **III**

Tabellenverzeichnis ..... **IX**

1 Veranlassung und Zielsetzung **1**

2 Problemstellung und Untersuchungskonzept **4**

2.1 Entwässerungsverfahren und Zustand der Kanalisation in Deutschland und Nordrhein-Westfalen 4

2.2 Systematik der Trennkanalisation und Fehlanschlussproblematik 7

2.2.1 Trennkanalisation 7

2.2.2 Definition von Fehlanschlüssen und Ursachen für Schmutzwassereinleitungen in die Regenwasserkanalisation 8

2.2.3 Charakteristik und Beispiele von Schmutzwasserabflüssen in der Regenwasserkanalisation 10

2.3 Untersuchungen in Beispielkommunen und landesweite Befragung 14

2.3.1 Teilnehmende Kommunen und Projektpartner 14

2.3.2 Landesweite Befragung der Kommunen in NRW 16

3 Detektionsverfahren **18**

3.1 Visuelle Detektionsverfahren 18

3.1.1 Visuelle Inspektion von Einleitstellen und Bauwerken 18

3.1.2 Benebelung 19

3.1.3 Optische Inspektion mit Kamera 20

3.2 Indikatorverfahren 21

3.2.1 Tracer (Markierungsstoffe) 21

3.2.2 Aktive und passive Probenahme zur Analyse chemischer und biologischer Indikatoren 22

3.3 Distributed Temperature Sensing (DTS) 25

4 Untersuchung von Kabeln und Kabel-Steckverbindern 29

4.1 Kabel und Verbinder 29

4.1.1 Arten und Anforderungen 29

4.1.2 Mehrfachnutzung durch Kabelverbinder 31

4.2 Ziele und Konzept der Laboruntersuchungen 34

4.3 Einfluss mechanischer Belastungen auf das Messergebnis 35

4.3.1 Biegebelastung des Kabels 35

4.3.2 Beanspruchung auf Zug 36

4.3.3 Beanspruchung auf Torsion 36

4.3.4 Schlussfolgerungen aus den Untersuchung zur mechanischen Beanspruchung 37

4.4 Untersuchungen zum Messverhalten des Kabels 38

4.4.1 Zielsetzung der Versuche 38

4.4.2 Temperaturspezifische Sensitivität des Kabels 39

4.4.3 Bedingungen ohne Basisabfluss 43

4.4.4 Bedingungen mit Basisabfluss 45

4.4.5 Interpretation der Ergebnisse zum temperaturspezifischen Ansprechverhalten 50

4.5 Einfluss der Steckverbinder auf mögliche Signaldämpfungen 53

4.6 Einfluss der Kabellänge auf das tempertaturspezifische Ansprechverhalten 56

5 Auswahl der Testgebiete und Installation der Messtechnik 58

5.1 Testgebiete in Wuppertal 58

5.1.1 Auswahl und Eingrenzung der Testgebiete 58

5.1.2 Testgebiet 1 58

5.1.3 Testgebiet 2 63

5.1.4 Testgebiet 3 65

5.2 Testgebiet Warendorf 67

6 DTS-Messungen und Indikatorverfahren 75

6.1 Untersuchungen unter Praxisbedingungen 75

6.1.1 Untersuchungen zum Einfluss der Steckverbinder im Testgebiet 1 in Wuppertal 75

6.1.2 Sensitivitätstests im Testgebiet 1 in Wuppertal 79

6.1.3 Maßnahmen zur Detektion von Fehleinleitungen im Testgebiet 1 in Wuppertal 80

6.1.4 Maßnahmen und Ergebnisse der Detektion im Testgebiet 2 in Wuppertal .. 84

6.1.5 Maßnahmen und Ergebnisse im Testgebiet 3 in Wuppertal 89

6.2 Fehleinleiterdetektion im Testgebiet Warendorf 91

6.2.1 Ergebnisse der DTS-Messung 91

6.2.2 Ermittlung von Fehleinleitungsindikatoren durch Abflussbeprobung..... 96

6.2.3 Kontaktaufnahme und Ortstermine..... 97

7 Qualität der Dokumentation von Grundstücksentwässerungsanlagen 100

8 Erfahrungen aus weiteren Messprogrammen in Kassel und Linnich 103

8.1 Messungen in Kassel 103

8.2 Messungen in Linnich 104

9 Kosten und Eignung unterschiedlicher Detektionsmethoden 106

9.1 Kosten für visuelle Inspektion (Benebelung und Kamerabefahrung) 106

9.1.1 Erfahrungen in Wuppertal 106

9.1.2 Erfahrungen in Warendorf 106

9.2 Kosten für die DTS-Messung und Möglichkeiten der Mehrfachnutzung..... 107

9.3 Einschränkungen bei Benebelungen 109

9.4 Detektion durch visuelle Inspektion..... 115

9.5 Vergleichende Bewertung der unterschiedlichen Verfahren 115

10 Konzept zur Detektion von Fehlanschlüssen 116

11 Auswertung der landesweiten Umfrage 118

12 Abschätzung der ökologischen Auswirkungen von Fehlanschlüssen 127

13 Gesetzliche Vorgaben und Konzepte zur Beseitigung von Fehlanschlüssen.....131

13.1 Gesetzliche Vorgaben mit Bezug zu Fehlanschlüssen..... 131

13.2 Maßnahmen zur Vermeidung und Beseitigung von Fehlanschlüssen 132

13.2.1 Konzept einer Beispielkommune zur Detektion und Sanierung..... 132

13.2.2 Konzept einer Beispielkommune zur Beseitigung von Fehlanschlüssen 134

14 Zusammenfassung und Ausblick.....136

15 Literatur 139

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Altersverteilung der Kanäle in Nordrhein-Westfalen 7

Abb. 2: AFS-Peaks ohne maßgebliche Füllstandsveränderung im TRF Fleute am 13.12.16 11

Abb. 3: AFS-Peaks ohne maßgebliche Füllstandsveränderung im TRF Fleute am 16.12.16 12

Abb. 4: Hygieneartikel (links) und Biofilmbildung im Einlaufbereich (rechts) im TRF Fleute in Wuppertal 13

Abb. 5: An einer auf der Kanalsohle montierte Messsonde fixierte Hygieneartikel in einem kanalisierten Bach in Wuppertal 13

Abb. 6: Feststoff-Einträge nach Niederschlägen und Feststoff-Tagesgänge in einem kanalisierten Bachlauf (Grüning, 2005) 14

Abb. 7: Optisch erkennbare Fehleinleitungen in der Regenwasserkanalisation (oben) und in einem Regenklärbecken (unten links) sowie Fehleinleitungsindikatoren (Nudeln) im Auslauf in ein Gewässer 18

Abb. 8: Verfärbung und Ablagerungen durch Schmutzwasser im Anschlussbereich von Regenwasserkanälen 21

Abb. 9: Fehleinleiterkontrolle an einem privaten Schacht durch Tracerzugabe (Uranin) in einem Entwässerungsgegenstand im Gebäude (rechts mit Tracer) 22

Abb. 10: Ungebleichte Watte (dunkler Bereich) auf mit optischen Aufhellern gewaschenem Kleidungsstück (links) und fluoreszierendes Waschmittelpad unter 365°nm UV-Licht 24

Abb. 11: Schematische Darstellung der Reflektion des Laserlichts im Glasfaserkabel .. 26

Abb. 12: Spektrum der rückgestreuten Wellenlängen eines Laserimpulses in einer Glasfaser (verändert nach Selker et al., 2006) 26

Abb. 13: Mit DTS-Messung erfasste Temperaturdifferenz durch Zufluss in einem Abwasserkanal 27

Abb. 14: Drei Glasfaserkabel in unterschiedlicher Ausführung zum Einsatz im Rahmen von DTS-Messungen 30

Abb. 15: Detailaufnahme von untersuchten Glasfaserkabeln 31

Abb. 16: Beispiel für die untersuchten Glasfaserconnectoren mit Verbindungsmuffe (grün) 33

Abb. 17: Kabelsegment zur Verbindung an den DTS-Computer 33

Abb. 18: Teilbereich der halbtechnischen Versuchsanlage im Technikum für Wasserversorgung und Stadthydrologie 34

Abb. 19: Haltung des halbtechnischen Kanalnetzes zur Ermittlung der Temperatursensitivität 35

Abb. 20: Biegung des Glasfaserkabels mit einem Radius von 3 mm im Rahmen der Laborversuche 36

Abb. 21: Zehnfach um die Längsachse verdrehtes Kabel 37

Abb. 22: Jahrestemperaturniveau in verschiedenen Bodentiefen (Linie 1 = Februar, Linie 2 = Mai, Linie 3 = November, Linie 4 = August) (Rehau, 2013) 39

Abb. 23: Einleitung mit Basisabfluss (linkes Bild: zwei Kabel liegen auf der Kanalsohle) 41

Abb. 24: Temperaturverlauf bei einer Einleitung über 90 s (ΔT = 2 °C) ohne Basisabfluss im Bereich 250,05 m 44

Abb. 25: Temperaturverlauf bei einer Einleitung über 90 s (ΔT = 4 °C) ohne Basisabfluss im Bereich 250,05 m 44

Abb. 26: Temperaturverlauf bei einer Einleitung über 90 s (ΔT = 6 °C) ohne Basisabfluss im Bereich 250,05 m 45

Abb. 27: Temperaturverlauf bei seitlicher Einleitung im Bereich 250,05 über einen Zeitraum von 90 s (ΔT = 2 °C) m bei Basisabfluss 47

Abb. 28: Temperaturverlauf bei seitlicher Einleitung im Bereich 250,05 über einen Zeitraum von 90 s (ΔT = 4 °C) m bei Basisabfluss 48

Abb. 29: Temperaturverlauf bei seitlicher Einleitung im Bereich 250,05 über einen Zeitraum von 90 s (ΔT = 6 °C) m bei Basisabfluss 48

Abb. 30: Temperaturverlauf bei seitlicher Einleitung im Bereich 250,05 über einen Zeitraum von 90 s (ΔT = 8 °C) m bei Basisabfluss 49

Abb. 31: Temperaturverlauf bei seitlicher Einleitung im Bereich 250,05 über einen Zeitraum von 90 s (ΔT = 10 °C) m bei Basisabfluss 50

Abb. 32: Grafische Auswertung der Messung 2 mit Basisabfluss 51

Abb. 33: Grafische Auswertung der Messung 2 ohne Basisabfluss 52

Abb. 34: Dämpfungsverlauf über die Kabellänge von 1200 m mit Verbindern bei 300 m sowie 600 m und 900 m 54

Abb. 35: Farbverlaufskarte bei einer Messung mit konstanter Temperatur mit Darstellung der Messfehler durch Steckverbinder bei ca. 600 m und 900 m .. 55

Abb. 36: Detailansicht des Temperaturverlaufs im Bereich des Verbinders bei 300 m . 55

Abb. 37: Temperaturverlauf im Bereich der Einleitung bei 250,0 m 56

Abb. 38: Temperaturverlauf im Bereich der Einleitung bei 1179,6 m 57

Abb. 39: Lageplan zur DTS-Messung im Testgebiet 1 in Wuppertal 59

Abb. 40: Aufstellungsort DTS-Computer und Einbau des Glasfaserkabels im Testgebiet 1 in Wuppertal (Westen) 59

Abb. 41: Schacht an einer Kreuzung in dem die beiden Kanäle aus dem Einzugsgebiet in einem spitzen Winkel zusammen laufen 61

Abb. 42: Lagerung einer Kabeltrommel mit aufgerollten Kabelenden im Schachthals unterhalb der Abdeckung (oben) und Einbau der Kabelverbindung (unten) .. 62

Abb. 43: Lageplan Testgebiet 2 in Wuppertal 64

Abb. 44: Aufstellung des DTS-Computers in Teilgebiet 2 64

Abb. 45: Schaumbildung an der Gewässereinleitung durch Fehlanschluss 66

Abb. 46: Verlauf des Kabels im Testgebiet 3 in Wuppertal 66

Abb. 47: Informationen zu Einleitstellen in der „Collector for ArcGIS“ App zur GIS-gestützten Erfassung und Dokumentation der Einleitungsstellen 68

Abb. 48: Test-Installation der Temperatursonde (rechts im Bild) und festgestellte Hygieneartikel (roter Kreis) im Bereich einer Regenwassereinleitung an einem Regenrückhaltebecken im Testgebiet in Warendorf 69

Abb. 49: Kabelverlauf in den beiden Untersuchungsgebieten in Warendorf 70

Abb. 50: Untersuchungsgebiet A in Warendorf. Einbausituation 1 links, Einbausituation 2 rechts. 72

Abb. 51: Verlegung des Kabels in Teilbereich B (links B1 vom 06.03.18 bis 20.03.18 und 28.03.18 bis 09.04.18, mittig B2 vom 09.04.18 bis 15.06.18 sowie rechts B3 vom 28.06.18 bis 23.07.18) 73

Abb. 52: Beispiel für einen auf der Kanalsohle fixierten Wattebausch und passive Probenahmestellen (Watte) im Testgebiet in Warendorf 74

Abb. 53: Temperaturverteilung im Regenwasserkanal im Testgebiet 1 in Wuppertal .. 76

Abb. 54: Verschiebung der Lage des DTS-Kabels in den Kämpferbereich in Schacht 16 (Testgebiet 1 in Wuppertal)..... 77

Abb. 55: Durch die Kabelverbindungen beeinflusste Temperaturverteilung im Bereich der Schächte 5, 9 und 13 (Testgebiet 1 in Wuppertal)..... 78

Abb. 56: Ergebnisse DTS-Messung bei Niederschlag (Testgebet 1 in Wuppertal) 78

Abb. 57: Temperaturverlauf im Kanal während der Zugabe verschiedener Zuflüsse mit unterschiedlichen Temperaturen (Testmessungen Gebiet 1 in Wuppertal) ... 80

Abb. 58: Fehleinleitung vor Schacht 6 am 15.10.2017 um 17:32 Uhr (Testgebiet 1 Wuppertal)..... 81

Abb. 59: Temperaturverlauf bei Zugabe von erwärmtem Wasser in den Straßeneinlauf vor Schacht 6 (Testgebiet 1 Wuppertal)..... 81

Abb. 60: Tracerzugabe (Uranin) zur Detektion möglicher Fehleinleitungen über die eingestaute Sammelgrube (Testgebiet 1 Wuppertal) 82

Abb. 61: Messergebnis (24 Stunden) Testgebiet 2 in Wuppertal vom 11.10.2018..... 85

Abb. 62: Temperaturverlauf im Einflussbereich der Steckverbindung (Testgebiet 2 in Wuppertal)..... 85

Abb. 63: Fehleinleitungen Testgebiet 2 in Wuppertal am 13.10.2018..... 86

Abb. 64: Einmalige Einleitung in Höhe von Schacht 2 am 26.10.2018 (Testgebiet 2 in Wuppertal)..... 88

Abb. 65: Einmalige Einleitung oberhalb der Messung am 29.10.2018 (Testgebiet 2 in Wuppertal)..... 88

Abb. 66: Einmalige Einleitung bei 236 Metern am 31.10.2018 (Testgebiet 2 in Wuppertal)..... 89

Abb. 67: Temperaturverlauf in Testgebiet 3 in Wuppertal 90

Abb. 68: Beispiel regelmäßiger Einleitungen durch Drainagepumpen innerhalb des Testgebietes in Warendorf 92

Abb. 69: Beispiel unregelmäßiger Einleitungen im Testgebiet in Warendorf 93

Abb. 70: Häufig auftretende Einleitung mit hoher Temperatur über einen Zeitraum von bis zu einer Stunde im Testgebiet in Warendorf 94

Abb. 71: Ergebnis der DTS-Messung bei paralleler Kabelführung (Schlaufe) mit symmetrischem Temperaturverlauf 95

Abb. 72: Ergebnis der DTS-Messung an jeweils einem Tag in Teilgebiet B1 mit Darstellung der Doppelmessung durch parallele Kabelführung (Schlaufe) bei Abzweigen 95

Abb. 73: Durch die DTS-Messung detektierte Fehleinleitung im Untersuchungsgebiet in Warendorf 99

Abb. 74: Durch Tracerzugabe detektierte Fehleinleitung im Untersuchungsgebiet in Warendorf (rechtes Bild mit Tracer) 99

Abb. 75: Beispiel für die Abnahme eines privaten „Mischwasseranschlusses“ an den Schmutzwasserkanal in einem Trennsystem 100

Abb. 76: Beispiel für die Dokumentation eines Hausanschlusses mit handschriftlichen Anmerkungen 101

Abb. 77: Beispiel für die Dokumentation eines Hausanschlusses mit nachträglicher Änderung 102

Abb. 78: Messtechnik zur Detektion der Fehleinleitungen (KasselWasser und Dr. Pecher AG) 103

Abb. 79: Einleitung von Schmutzwasser in ein Gewässer in Linnich 104

Abb. 80: Ein 300 m langes Teilstück des Glasfaserkabels auf einer Kabeltrommel 107

Abb. 81: Größenordnungen der spezifischen Kosten einer DTS-Messung bei normalen Einbaubedingungen für eine Messdauer von 3 Wochen bei unterschiedlich langen Messstrecken 108

Abb. 82: Größenordnungen der spezifischen Kosten pro Hausanschluss bei einer DTS-Messung unter normalen Einbaubedingungen für eine Messdauer von 3 Wochen bei unterschiedlich langen Messstrecken 109

Abb. 83: Hauptlüftungsleitung (links) und Belüftungsventil als Ersatz für eine Hauptlüftung 110

Abb. 84: Detektion von Fehlanschlüssen durch Benebelung (Fa. Willi Preiß, Bayreuth) 111

Abb. 85: Möglichkeiten der Rückstausicherung (linke Bildhälfte durch Abwasserhebeanlage und rechte Bildhälfte durch Rückstauverschluss)..... 112

Abb. 86: Beispiel einer Rückstausicherung in der Bodenplatte (Fa. Kessel)..... 112

Abb. 87: Rückstauebene (verändert und ergänzt nach DIN EN 12056-4, 2001) 114

Abb. 88: Konzept zur Detektion von Fehlanschlüssen..... 116

Abb. 89: Einschätzung der Relevanz von Schmutzwasser in Regenwasserkanälen durch Fehleinleitungen der teilnehmenden Kommunen 125

Abb. 90: Grundstücksentwässerungsanlage (GEA) mit Anschluss an die öffentliche Kanalisation bei einem Trennsystem..... 133

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Anzahl der zentralen Regenwasserbehandlungsanlagen in Deutschland und Nordrhein-Westfalen (Destatis, 2018b) 5

Tab. 2: Eigenschaften der verschiedenen Kabeltypen 30

Tab. 3: Übliche Volumenströme (nach DIN 1988-300) und Volumen sowie Temperaturen von sanitären Entwässerungsgegenständen..... 40

Tab. 4: Prüfbedingungen für die Untersuchungen des Messverhaltens ohne Basisabfluss..... 42

Tab. 5: Versuchsbedingungen für die Untersuchung des Messverhaltens mit Basisabfluss..... 42

Tab. 6: Dokumentation der gemessenen Versuchsbedingungen 46

Tab. 7: Messbedingungen im Testgebiet 1 in Wuppertal 60

Tab. 8: Haltungsübersicht für den Regenwasserkanal im Testgebiet 1 in Wuppertal . 63

Tab. 9: Messbedingungen im Testgebiet 2 in Wuppertal 65

Tab. 10: Messbedingungen im Testgebiet 3 in Wuppertal 67

Tab. 11: Messbedingungen in Warendorf..... 71

Tab. 12: Szenarien zur Untersuchung der Temperaturempfindlichkeit (Testgebiet 1 in Wuppertal)..... 79

Tab. 13: Maximal im Kabel gemessene Temperaturen bei Zugabe verschiedener Zuflüsse mit unterschiedlichen Temperaturen (Testgebiet 1 in Wuppertal)... 79

Tab. 14: Analyseergebnisse der untersuchten Sammelgrube im Testgebiet Wuppertal 1 (Entnahme am 23.05.18 – Laboreingang am 23.05.2018) 83

Tab. 15: Analyseergebnisse der untersuchten Sammelgrube im Testgebiet Wuppertal 1 (Entnahme am 23.08.18 – Laboreingang am 23.08.2018) 83

Tab. 16: Liste der festgestellten Einleitungen im zweiten Testgebiet in Wuppertal 87

Tab. 17: Auftreten der häufigsten Einleitungen im Testgebiet 3 in Wuppertal..... 91

Tab. 18: Zuordnung detektierter Einleitungen zum Verursacher im Testgebiet in Warendorf 96

Tab. 19: Analyseergebnisse im Testgebiet in Warendorf entnommen an Schacht 5 (Entnahme am 21.08.2018 - Laboreingang am 22.08.2018)..... 97

Tab. 20: Bewertung der Detektionsmethoden (Teil 1)..... 114

Tab. 21: Bewertung der Detektionsmethoden (Teil 2)..... 115

1 Veranlassung und Zielsetzung

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. Fehlangeschlossene Grundstücksentwässerungsanlagen (GEA) und Verknüpfungen zwischen den Grundstücksentwässerungsleitungen oder auch Verknüpfungen innerhalb der öffentlichen Schmutz- und der Regenwasserkanalisation selbst, stehen nicht im Fokus fachlicher Diskussionen und öffentlicher Betrachtungen. Schmutzwassereinleitungen in die Regenwasserkanalisation gelangen quasi auf direktem Weg in das Gewässer. Sie sind unzulässig. Auf die gewässerschädigenden Wirkungen weisen u.a. Sieker et al. (2006) hin. Informationen zu diesem Thema sind nur eingeschränkt verfügbar, da Kanalnetzbetreiber verständlicherweise das Problem nur ungern öffentlich darstellen. Im Gegensatz dazu wird die Fremdwasserproblematik durch die Einleitung von Oberflächenabflüssen und Drainageabflüssen an die Schmutzwasserkanalisation vergleichsweise häufig diskutiert und in Regelwerken, wie dem Arbeitsblatt DWA-A 182 behandelt (DWA, 2012). 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. Da fehlangeschlossene Schmutzwasserleitungen an den Regenwasserkanal gegen wasserrechtliche Vorgaben verstoßen, ist der zurückhaltende Umgang mit diesem Problem nachvollziehbar.

Abflüsse 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. 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 in Trinkwassergewinnungsgebieten. Die ökologischen Vorteile der im Wasserhaushaltsgesetz prädestinierten Trennkanalisation werden durch Fehleinleitungen relativiert.

Neben der unmittelbaren Gewässerbelastung verursachen Fehleinleitungen auch Probleme in Niederschlagswasserbehandlungsanlagen. Neben Geruchsbelästigungen besteht vor allem 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 unbekannten Stellen. Eine exakte Lokalisierung dieser Fehleinleitungen mit herkömmlichen Verfahren wie Kanal-TV-Untersuchungen, Benebelungen oder Tracerzugaben ist nur eingeschränkt und mit hohem finanziellen und personellen Aufwand möglich. Die Detektion dieser Einleitungen ist eine komplexe Problemstellung, so dass davon auszugehen ist, dass es nicht nur den „einen richtigen Lösungsansatz“ gibt.

Vor diesem Hintergrund sollten im Rahmen dieses Projektes weitergehende innovative Möglichkeiten der Detektion von Fehleinleitungen untersucht werden. 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). Bislang wurde dieses Verfahren in erster Linie zur Detektion von Fremdwasser in Schmutzwasserkanälen eingesetzt. Erste vielversprechende Untersuchungen zur Erfassung von Schmutzwassereinleitungen in Regenwasserkanäle in Deutschland sind von Hoppe et al. (2015) beschrieben. Erfahrungen aus Untersuchungen in anderen Ländern (z.B. Schilperoot et al. 2014) wurden im Rahmen des Projektes ermittelt und berücksichtigt.

Ziel dieses Projektes war es, diese Problemstellungen aufzuzeigen und Lösungsansätze praxisorientiert zu entwickeln, damit Kanalnetzbetreiber aus einem Maßnahmenkatalog auswählen können. Das Untersuchungskonzept ist durch folgende Maßnahmen und Teilziele geprägt:

1) *Quantifizieren:* Ermittlung der Größenordnungen des Schmutzfrachteintrages durch Trennsysteme unter besonderer Berücksichtigung von Fehleinleitungen.

2) *Detektieren:* Untersuchung und Entwicklung von Techniken und Konzepten zur Detektion von Fehleinleitungen.

3) *Beseitigen:* Entwicklung konkreter Maßnahmen und Konzepte zur Beseitigung von Fehleinleitungen unter Berücksichtigung möglicher Hindernisse bei der praktischen Umsetzung.

4) *Vermeiden:* Dokumentation in einer Handlungsempfehlung (Leitfaden), die es den Kommunen in Zusammenarbeit mit den Behörden ermöglicht, bestehende Fehleinleitungen sukzessive zu beseitigen und künftig Fehleinleitungen zu vermeiden.

2 Problemstellung und Untersuchungskonzept

2.1 Entwässerungsverfahren und Zustand der Kanalisation in Deutschland und Nordrhein-Westfalen

Das Statistische Bundesamt (Destatis, 2018b) erhebt in einem Zyklus von drei Jahren unterschiedliche Daten zur Wasserversorgung und Abwasserentsorgung in Deutschland. Seit Dezember 2018 liegen die ausgewerteten Daten für das Jahr 2016 vor. Folgende Aufteilung der jeweiligen Kanäle wurde im Jahr 2016 ermittelt:

- 246.700 km Mischwasserkanalisation
- 214.280 km Schmutzwasserkanäle
- 133.350 km Regenwasserkanäle

Die Gesamtlänge des öffentlichen Kanalnetzes summiert sich somit auf 594.335 km. Private Hausanschlussleitungen, betriebliche Abwasserkanäle und Kanäle der Landes- und Bundesstraßen sowie Autobahnen sind hier nicht berücksichtigt. Insgesamt ist für das Kanalnetz seit 1995 ein Längenzuwachs von 176.359 km zu verzeichnen. Hierbei entfallen auf die Erweiterung des Mischwassernetzes 29.372 km, auf das Schmutzwassernetz 96.862 km und auf das Regenwassernetz 50.144 km. Die maßgeblichen Gründe für die Zunahme sind der zunehmende Ausbau bestehender Misch- und Trennsysteme sowie der Umbau vorhandener Mischsysteme in Trennsysteme. Das Statistische Bundesamt gibt an, dass 96,9 % der Einwohner an die öffentliche Kanalisation angeschlossen sind (Destatis, 2018b).

Wie Brombach und Dettmar (2016) ermittelten, waren im Jahr 2013 nur noch 54,1 % der Bevölkerung in Deutschland an Mischwasserkanalisationen angeschlossen. Im Jahr 1989 betrug dieser Wert im Bundesmittel noch 71,2 %. Diesen Werten liegt die Annahme zugrunde, dass unabhängig vom Entwässerungssystem (Misch- oder Trennkanalisation) eine ähnliche statistische Verteilung des Anschlussgrades von Einwohnern pro Meter Kanal vorliegt.

In der DWA-Umfrage 2015 zum Zustand der Kanalisation in Deutschland (Berger et al., 2016) wurde die Gesamtlänge der privaten Grundstücksentwässerungen erfragt. Aus den Antworten von 72 Kanalnetzbetreibern leiten Berger et al. ab, dass die Länge der Grundstücksentwässerungsanlagen etwa doppelt so groß ist wie die des öffentlichen Kanalnetzes. Dies würde einer Gesamtlänge der Grundstücksentwässerungsanlagen von rund 1,1 Millionen Kilometern entsprechen.

In der Erhebung des Statistischen Bundesamtes wurden ebenfalls die zentralen Regenwasserbehandlungs- und rückhalteanlagen erfasst. Wie Brombach und Dettmar (2016) bereits feststellen, werden diese Anlagen allerdings abweichend vom Arbeitsblatt DWA-A 166 (DWA, 2013) zusammengefasst. So wurden vom Statistischen Bundesamt beispielsweise Retentionsbodenfilter nicht gelistet. In Tab. 1 ist die vorhandene Anzahl der zusammengefassten Beckenarten für Deutschland und Nordrhein-Westfalen dargestellt. Die Summe der 50.809 Becken wies ein Gesamtvolumen von 56,658 Millionen Kubikmeter auf. Hoppe et al. (2019) weisen auf die wasserwirtschaftliche Bedeutung der Regenwasserbehandlung hin, zu deren aktueller Leistungsfähigkeit jedoch keine messbaren Kennzahlen vorliegen.

Tab. 1: Anzahl der zentralen Regenwasserbehandlungsanlagen in Deutschland und Nordrhein-Westfalen (Destatis, 2018b)

Einzugs-gebiet	Regenüberlaufbecken (RÜB) und Stauraumkanäle (SK) Mischsystem	Regenrückhalteanlagen (RRA) Misch- und Trennsystem	Regenklärbecken (RKB) Trennsystem
Deutschland	25.123	24.813	4.133
Nordrhein-Westfalen	2.678	5.252	1.319

Grüning und Pecher (2020) geben an, dass in Deutschland an über 70.000 Stellen mehr oder weniger effektiv behandeltes Abwasser aus der Kanalisation in ein Gewässer eingeleitet werden. Dabei handelt es sich um verdünnte bzw. in Regenbecken mechanisch behandelte Oberflächenabflüsse, die häufig mit Schmutzwasser vermischt werden. Bereits bei Regenereignissen, die längst keinem Starkregen entsprechen, können die Entwässerungssysteme das Abwasser nicht mehr komplett ableiten bzw. speichern und behandeln. Es kommt zur „Entlastung“ des Kanalnetzes. Zusätzlich erfolgen Einleitungen aus Abwasserbehandlungsanlagen und Regenüberläufen an Landes- und Bundesstraßen sowie an Bundesautobahnen. Die Anzahl der Einleitungen dieser von den Straßenverwaltungen betriebenen Systeme liegt in einer geschätzten Größenordnung von 100.000 Einleitungen. Neben den Einleitungen aus der Kanalisation gelangen auch die Einleitungen behandelter Abwässer aus über 9.000 öffentlichen Kläranlagen zzgl. der Einleitungen aus industriellen Kläranlagen und privaten Anlagen zur Abwasserbehandlung in die Gewässer. Weiterhin erfolgen zahlreiche Einleitungen durch die Entwässerung von Gleisanlagen.

Die daraus resultierenden Gewässerbelastungen sind in einem bevölkerungsreichen und dicht besiedelten Bundesland wie Nordrhein-Westfalen besonders ausgeprägt. Das Kanalnetz in Nordrhein-Westfalen (NRW) wies Stand 2016 eine Gesamtlänge von 99.172 km auf. Dabei lag folgende Aufteilung vor (Destatis, 2018a):

- Mischkanalisation: 46.056 km
- Schmutzwasserkanalisation: 29.220 km
- Regenwasserkanalisation: 23.896 km

In NRW gibt es 396 Kommunen mit insgesamt 17.533.700 Einwohnern. Der Anschlussgrad an das öffentliche Kanalisationsnetz beträgt 98,1 %. Da keine direkten Angaben zur Verteilung der Einwohner auf Trenn- und Mischkanalisationen vorhanden sind, haben Brombach und Dettmar (2016) hilfsweise aus dem Verhältnis der Längen von Misch- und Schmutzwasserkanälen die an die Mischwasserkanalisation angeschlossenen Bevölkerungsanteile errechnet. Dies geschah unter der Annahme, dass eine ähnliche statistische Verteilung des Anschlussgrades von Einwohnern pro Meter Kanalnetz vorliegt. So wurde für NRW ein Wert von 61,2 % für die an die Mischwasserkanalisation und entsprechend 38,8 % an die Trennkanalisation angeschlossene Bevölkerung ermittelt.

Vor dem Hintergrund möglicher Fehlanschlüsse kann die Altersverteilung zumindest Indizien liefern. Möglicherweise erfolgte in Zeiten mit rascher Bevölkerungsentwicklung die Ausführung der Kanalisation weniger achtsam. Eine Überprüfung der korrekten Anschlüsse der Grundstücksentwässerung wird häufig nicht durchgeführt. Diese Problematik wird durch die Umfrage bei den unterschiedlichen Kommunen deutlich (Kapitel 11). Vor diesem Hintergrund ist in Abb. 1 die Altersverteilung des Kanalnetzes in NRW (Stand 2013) dargestellt. Es ist zu erkennen, dass rund 32 % des Kanalnetzbestandes bereits vor 1971 gebaut wurde. Von fast 14 % ist das Baujahr völlig unbekannt.

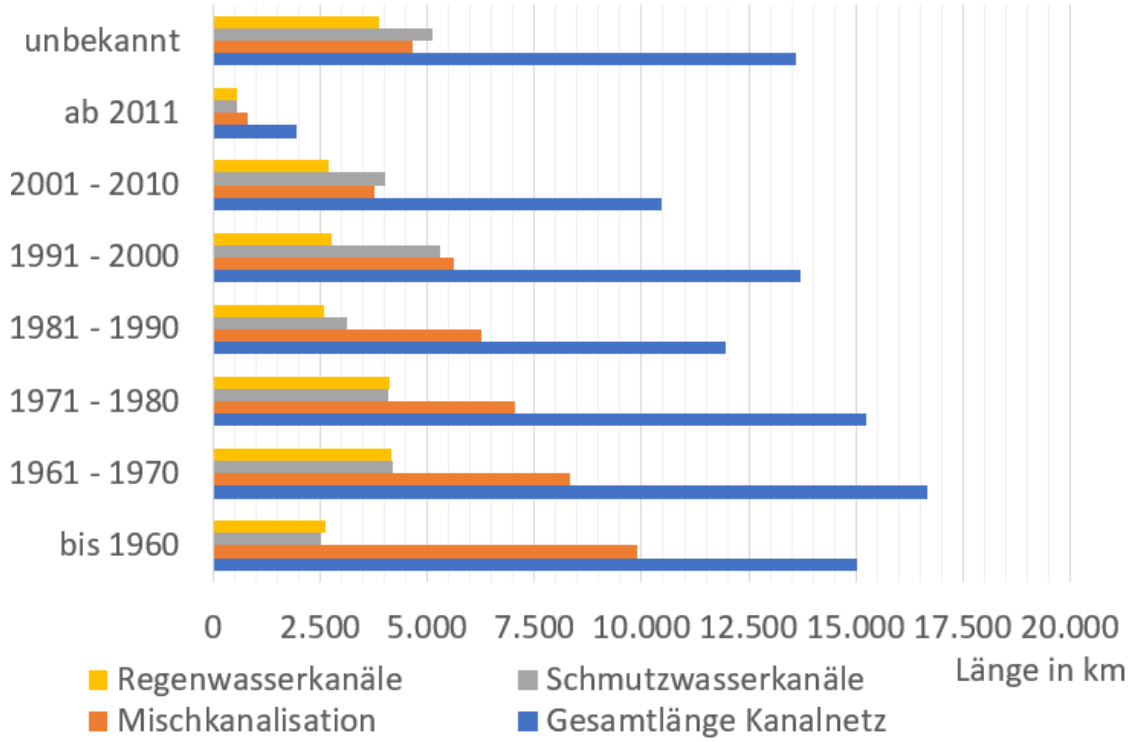


Abb. 1: Altersverteilung der Kanäle in Nordrhein-Westfalen

2.2 Systematik der Trennkanalisation und Fehlanschlussproblematik

2.2.1 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. Bei regelkonformer Ausführung liegt der kleinere Schmutzwasserkanal im Straßenquerschnitt tiefer als der Regenwasserkanal. 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. In NRW ist der Runderlass Anforderungen an die Niederschlagsentwässerung im Trennverfahren (Trennerlass) (MUNLV, 2004) eine wesentliche Grundlage zur Umsetzung von Maßnahmen zur Regenwasserbehandlung. Ausgehend von seinen Herkunftsbereichen wird das Niederschlagswasser gem. Trennerlass in eine der drei Kategorien „unbelastet/schwach belastet/stark belastet“ eingestuft. Unbelastetes bzw. unverschmutztes Nie-

derschlagswasser der Kategorie I kann demnach ohne Vorbehandlung in oberirdische Gewässer eingeleitet werden. Schwach belastetes bzw. gering verschmutztes Niederschlagswasser der Kategorie II bedarf einer Behandlung entsprechend den Vorgaben im Trennerlass. Stark belastetes bzw. verschmutztes Niederschlagswasser der Kategorie III muss grundsätzlich gesammelt, abgeleitet und einer Abwasserbehandlung bzw. der zentralen Kläranlage zugeführt werden (MUNLV, 2004). Die Behandlung des Niederschlagswassers kann sowohl zentral, beispielsweise in Regenklärbecken und Retentionsbodenfiltern oder an dezentralen Standorten in kompakten Anlagen mit vergleichbarer Wirkung stattfinden. Im künftigen Arbeitsblatt DWA-A 102 wird dieser Ansatz in das bundesweit geltende Regelwerk als Stand der Technik eingehen.

Je nach Parameter weisen Misch- und Trennsystem 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 das die Rückstaugefahr in Gebäuden durch Niederschlagsabflüsse deutlich vermindert wird. Ein Nachteil von Trennsystemen sind die im Rahmen dieses Projektes untersuchten Fehleinleitungen, die unter anderem dadurch entstehen, dass Schmutzwasser und Regenwasser bereits im Bereich der nicht-öffentlichen Kanalisation auf den Grundstücken auf zwei Kanalnetze aufgeteilt werden müssen.

2.2.2 Definition von Fehlanschlüssen 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 werden diese Fehlanschlüsse 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 steht dazu:

> *„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:

- Drainagewasserleitungen 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, sofern es den nach § 7a des Wasserhaushaltsgesetzes (WHG) zu stellenden Anforderungen an Inhaltsstoffe und denen des wasserrechtlichen Bescheides entspricht.
- Anorganisch schwach belastetes oder behandeltes Abwasser aus Gewerbe- und Industriebetrieben, sofern es den nach § 7a WHG zu stellenden Anforderungen an Inhaltsstoffe und denen des wasserrechtlichen Bescheides entspricht.
- Leckagen im Trinkwassernetze 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.
- Verschmutze 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 Fehlanschlüsse können beispielsweise durch nachträglich durchgeführte An- oder Umbauten verursacht werden.

2.2.3 Charakteristik und Beispiele von Schmutzwasserabflüssen in der Regenwasserkanalisation

Fehleinleitungen sind in ihrem zeitlichen und räumlichen Auftreten bisher nur schwer erfassbar. Sie können kontinuierlich oder temporär auftreten. Im Vergleich zum gesamten Schmutzwasserabfluss sind die Volumenströme in der Regel gering.

Der wahrscheinlich häufigste Fall von Fehleinleitungen sind fehlangeschlossene Schmutzwasserleitungen (private Grundstücksleitungen) an den Regenwasserkanal und Verknüpfungen von Regen- und Schmutzwassernetzen („Spülschächte“). Die Fehleinleitungen können entweder direkt oder indirekt in die Regenwasserkanäle gelangen. Direkte Einleitungen kommen beispielsweise bei Übergängen von Schmutz- in Trennsysteme vor, weil die Kanäle „vertauscht“ wurden, oder durch den Anschluss von privaten Schmutzwasserleitungen an den öffentlichen Regenwasserkanal. Direkte Einleitungen führen in der Regel zu kontinuierlichen oder intermittierenden Abflüssen. Mit indirektem Eintrag sind an dieser Stelle Zuflüsse gemeint, die nicht durch klassische Anschlüsse entstehen, wie beispielsweise Einleitungen über Straßenabläufe oder Infiltrationen durch undichte Rohrverbindungen. Indirekte Einleitungen verursachen, abgesehen von Grundwasserinfiltration, in der Regel transitorische Abflüsse.

Fehleinleitungen sind z. T. durch Hygieneartikel im Bereich von Gewässereinleitungen oder in Niederschlagswasserbehandlungsanlagen sichtbar. Bei den üblichen Besichtigungen im

Rahmen der Eigenkontrolle und Selbstüberwachungen bleiben diese oft unentdeckt. Beispiele für detektierte Fehleinleitungen in Niederschlagswasserbehandlungsanlagen veranschaulichen Abb. 2 bis Abb. 5. Im Rahmen eines Untersuchungsprogrammes an einem Technischen Regenwasserfilter (TRF Fleute) in Wuppertal erfolgte eine kontinuierliche Überwachung der Abflusszusammensetzung mit Mehrparametersonden (Grüning et al., 2017). Der TRF Fleute ist ein Regenwasserfilter im zentralen Maßstab. Die angeschlossene befestigte Fläche umfasst ca. 17 ha. Ein maßgeblicher Parameter zum Nachweis der Wirkung des Filters waren dabei Äquivalenzmessungen der Abflitrierbaren Stoffe (AFS). Beispiele der Messdaten zeigen Abb. 2 und Abb. 3. Auffällig waren ausgeprägte AFS-Konzentrationsspitzen, obwohl keine Niederschläge und somit auch keine Oberflächenabflüsse registriert wurden. Deutlich erkennbar sind ausgeprägte AFS-Konzentrationen von bis zu 400 mg/l bei konstantem Füllstand. Systembedingt steigt der Füllstand korrespondierend zum Zufluss an. Es ist zu vermuten, dass die hohen Stoffkonzentrationen ohne nennenswerten Zufluss durch Fehleinleitungen zustande kamen.

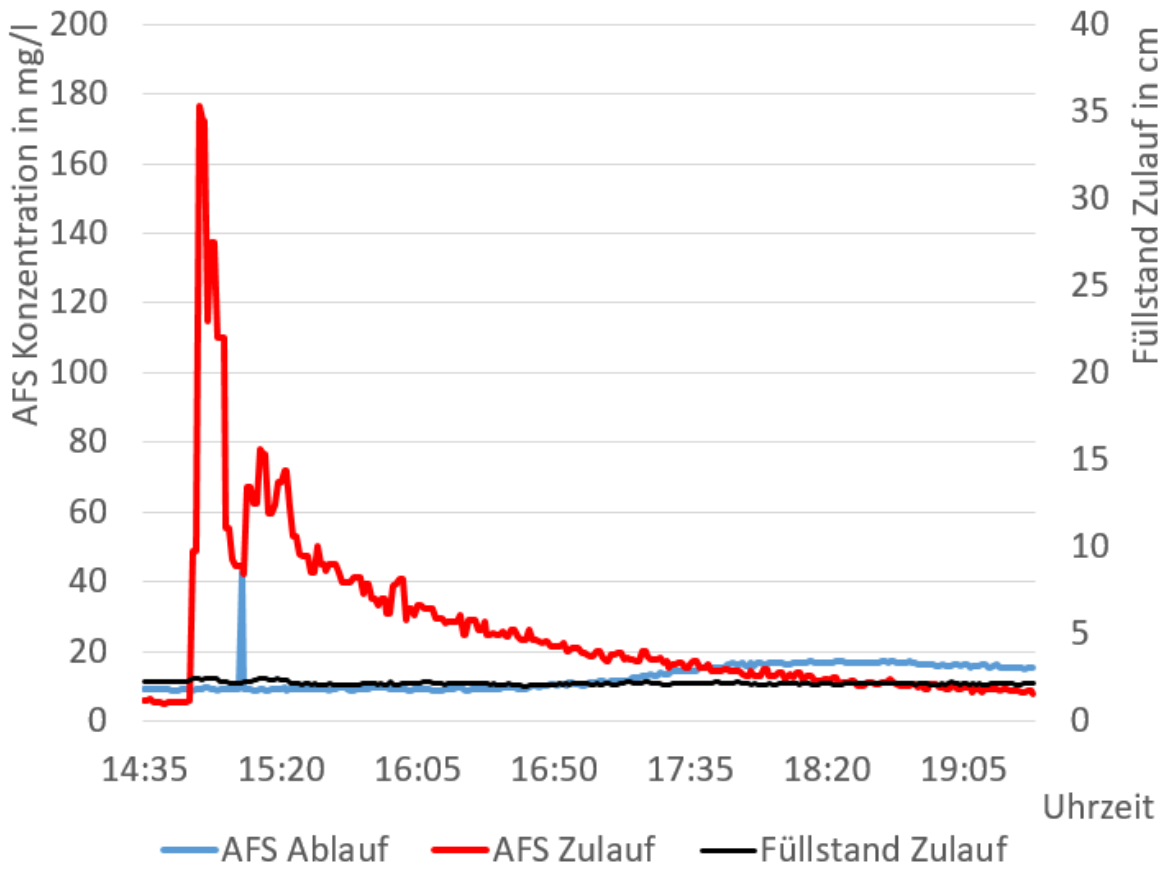


Abb. 2: AFS-Peaks ohne maßgebliche Füllstandsveränderung im TRF Fleute am 13.12.16

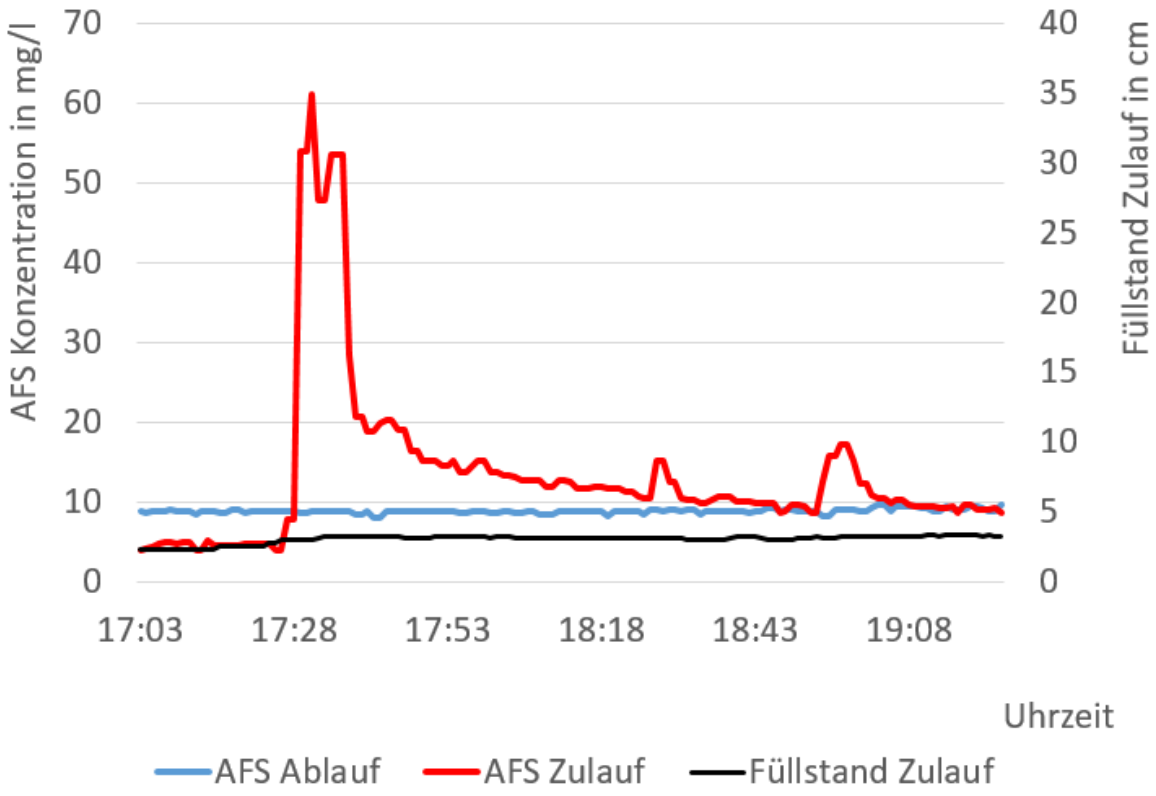


Abb. 3: AFS-Peaks ohne maßgebliche Füllstandsveränderung im TRF Fleute am 16.12.16

Abb. 4 zeigt Merkmale einer Schmutzwassereinleitung im Einlaufbereich des TRF Fleute. Daraufhin wurden Maßnahmen eingeleitet, um die Fehleinleitungen zu detektieren und zu beseitigen. Im Rahmen dieser Untersuchung stellte sich heraus, dass die Schmutzwasserleitungen eines Gastronomiebetriebes und eines Mehrfamilienhauses mit einer Apotheke im Erdgeschoss an den Regenwasserkanal angeschlossen waren. Die nach erfolgtem Umschluss durchgeführten visuellen Kontrollen belegten seitdem einen deutlichen Rückgang von Schmutzwasserinhaltsstoffen. Eine Garantie, dass keine Fehleinleiter mehr vorliegen besteht dennoch nicht.

In Abb. 5 sind Hygieneartikel zu erkennen, die an einer Photometersonde in einem kanalisierten Bach in Wuppertal eindeutige Hinweise auf Fehleinleitungen geben. Durch eine fest installierte Kamera konnten in diesem Bauwerk bereits Fehleinleitungen, die zu starker Schaumbildung führten, detektiert werden.

Abb. 4: Hygieneartikel (links) und Biofilmbildung im Einlaufbereich (rechts) im TRF Fleute in Wuppertal

Abb. 5: An einer auf der Kanalsohle montierte Messsonde fixierte Hygieneartikel in einem kanalisierten Bach in Wuppertal

In Abb. 6 sind Messdaten aus einem kanalisierten Bachlauf in Wuppertal über einen Zeitraum von 7 Tagen dargestellt. Gemessen wurden in diesem Fall Trübungen, die mit AFS-Konzentrationen korreliert worden sind (Hoppe et al., 2011). Deutlich werden drei durch Niederschläge verursachte Spülstöße (First Flush). Diese entstehen, wenn Stoffe von Oberfläche abgespült und ggf. abgelagerte Stoffe von der Kanalsohle remobilisiert werden. Darüber hinaus, sind jedoch ausgeprägte Tagesgänge der AFS-Konzentration zu erkennen. Da

in dem kanalisierten Bachlauf neben dem natürlichen Abfluss ausschließlich genehmigte Niederschlagswassereinleitungen abgeleitet werden, sind natürliche Schwankungen der Feststoffkonzentration im Tagesverlauf nicht zu erklären. In diesen Fällen ist davon auszugehen, dass es sich bei den erhöhten AFS-Konzentrationen im Laufe der einzelnen Tage um Fehleinleitungen handelt.

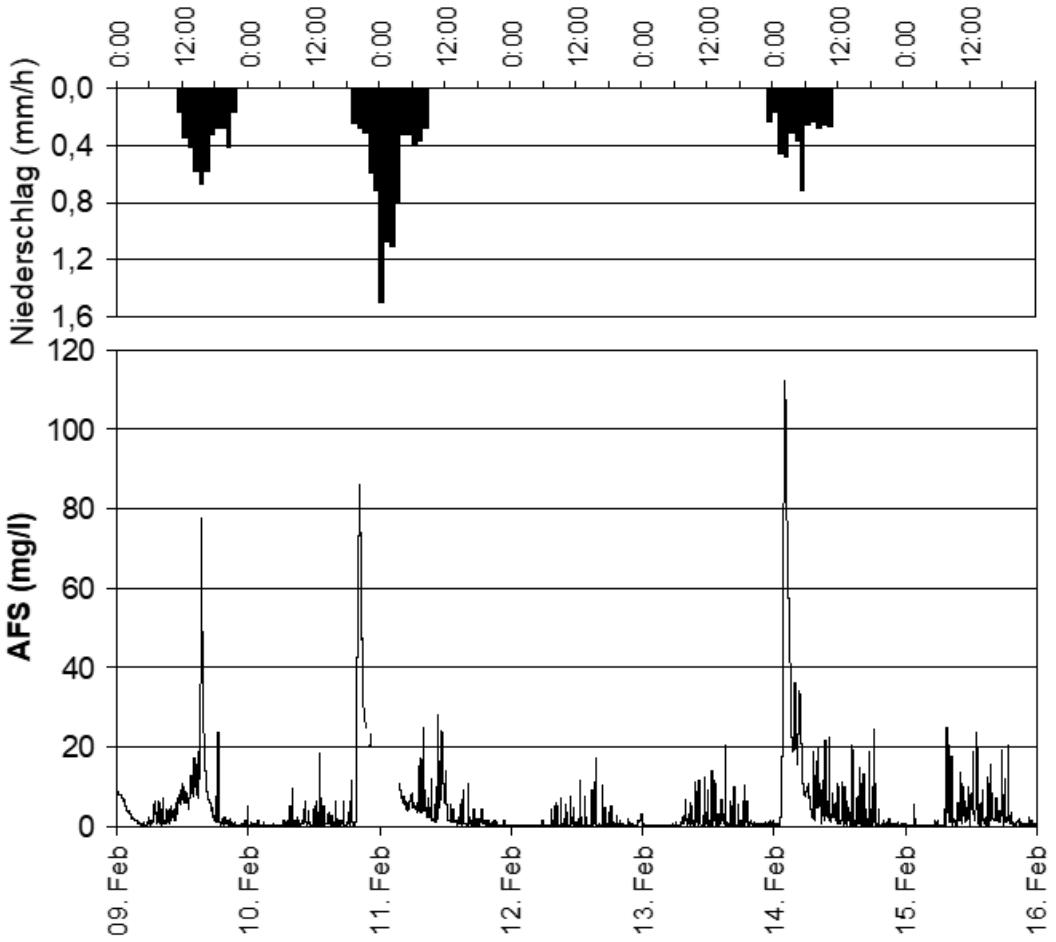


Abb. 6: Feststoff-Einträge nach Niederschlägen und Feststoff-Tagesgänge in einem kanalisierten Bachlauf (Grüning, 2005)

2.3 Untersuchungen in Beispielkommunen und landesweite Befragung

2.3.1 Teilnehmende Kommunen und Projektpartner

Die Städte Wuppertal und Warendorf unterstützen die Untersuchungen als Projektpartner. In ausgewählten Bereichen der Regenwasserkanalisation der beiden Städte wurden Möglichkeiten der Detektion von Fehleinleitungen mit der DTS-Messung untersucht.

Die beiden Kommunen wurden aufgrund ihrer Struktur sowie Erfahrungen bezüglich Fehleinleitungen ausgewählt. Während in Warendorf hauptsächlich durch ländliche Strukturen mit 38.059 Einwohnern (Stand 2015) auf 177 km² Fläche geprägt ist (warendorf.de, 2018), charakterisiert Wuppertal mit 361.264 Einwohnern (Stand 31.12.2018) auf 168 km² die Struktur einer Großstadt (wuppertal.de, 2018).

In Warendorf durchfließt die Ems das Stadtgebiet von Ost nach West. Das Kanalnetz der Stadt Warendorf weist eine Gesamtlänge von 248 km auf. Davon sind rund 39 % als Trennsystem ausgeführt. Das Kanalnetz teilt sich auf in:

- Schmutzwasserkanäle: 57 km
- Regenwasserkanäle: 47 km
- Mischwasserkanäle: 144 km

Dem Abwasserbetrieb sind einschließlich der Einleitungen aus Straßenentwässerungen im bebauten Bereich 113 Einleitungen bekannt, wovon 69 vom Abwasserbetrieb verwaltet werden. 46 dieser Einleitungen stammen aus Wohn- und Gewerbegebieten. Systematische Untersuchungen von Fehleinleitungen erfolgten vor Beginn des Projektes DETKT-T in Warendorf nicht, da keine Auffälligkeiten im Rahmen der Routineuntersuchungen beobachtet wurden (Selbstüberwachung). **Die Untersuchungen im Projekt sollten daher zeigen, ob die Inaugenscheinnahme im Rahmen der Selbstüberwachung eine ausreichende Kontrolle hinsichtlich von Fehleinleitungen darstellt und die Strategie des Netzbetreibers ggf. anzupassen ist**. Dies trifft auch auf viele andere Netzbetreiber in NRW zu. Da es im Rahmen des Projektes nicht möglich war, ein gesamtes Stadtgebiet in Warendorf durch eine DTS-Messung abzudecken, mussten auf der Basis von Vorabuntersuchungen ausgewählte Teilgebiete auf mögliche Fehleinleitungen untersucht werden. Die genaue Vorgehensweise ist in Kapitel 5 beschrieben.

In Wuppertal durchfließt die Wupper das Stadtgebiet, wobei zahlreiche, teilweise kanalisierte Bäche in die Wupper einleiten. Wuppertal wird zu rund 86 % im Trennsystem entwässert, wobei sich das Kanalnetz wie folgt aufteilt:

- Schmutzwasserkanäle: 689 km
- Regenwasserkanäle: 651 km
- Mischwasserkanäle: 95 km

Zudem sind im gesamten Wuppertaler Stadtgebiet 724 öffentliche Regenwassereinleitstellen dokumentiert.

Beim Kanalbetrieb der WSW AG hat eine Kolonne die Aufgabe, Fehleinleitungen zu detektieren. Aus diesem Grund waren in der gesamten Stadt bereits Gebiete mit vorhandenen Fehleinleitungen bekannt. Da es in Wuppertal 724 Einleitstellen von Regenwasserkanälen in Gewässer gibt und eine einmalige Inaugenscheinnahme keine zufriedenstellenden Ergebnisse lieferte, konnten im Rahmen dieses Projektes nicht alle Einleitstellen in Wuppertal geprüft werden. An das öffentliche Kanalnetz in Wuppertal sind 61100 Gebäude angeschlossen.

In den vergangenen 10 Jahren wurden fast 8000 Anschlüsse überprüft. In der Regel wird die Kolonne in Wuppertal durch Ablagerungen von Fäkalien an Regenwasserfiltern, Bürgerbeschwerden aufgrund von Geruch und eigenen Untersuchungen mit Tracern, Benebelung und Kameras auf Fehleinleitungen aufmerksam. Im Rahmen der bisherigen Überprüfungen wurden ca. 660 Fehlanschlüsse ermittelt. Eine genaue Differenzierung, ob dabei Schmutzwasserleitungen an die Regenwasserkanalisation oder Regenwasserleitungen an die Schmutzwasserkanalisation angeschlossen wurde, liegt allerdings nicht vor. Die Untersuchung der Fehleinleitungen zählt zu den ständigen Aufgaben des Kanalbetriebs in Wuppertal. Die bisherigen Zahlen belegen eine Fehlanschlussquote von fast 9 % der untersuchten Anschlüsse und über 1 % der gesamten Anschlüsse.

Ursprünglich waren zwei Messungen in Wuppertal und eine Messung in Warendorf vorgesehen. Da in dem ausgewählten Untersuchungsgebiet in Warendorf eine sehr große Kanalstrecke abzudecken war, das Kabel hierzu mehrmals verlegt werden musste und eine Vergleichsmessung mit einem durchgehenden Kabel durchgeführt wurde, erfolgte eine Aufteilung der Untersuchungen in Warendorf in drei Teilmessungen.

Da im Laufe des Projektes in Wuppertal in einem weiteren Gebiet, in dem hauptsächlich Industriebetriebe angesiedelt sind, wiederholt erhebliche Schaumbildung beobachtet wurden, wurde in Wuppertal eine weitere Messung in diesem Industriegebiet durchgeführt. Die DTS-Messungen erfolgten mit den vorher unter Laborbedingungen in der halbtechnischen Versuchsanlage der FH Münster getesteten Glasfaserkabel inklusive Steckverbindungen.

2.3.2 Landesweite Befragung der Kommunen in NRW

Die Einleitung von Schmutzwasser in die Regenwasserkanalisation stellt eine unzulässige Gewässerbelastung dar. Vor diesem Hintergrund wird die Fehlanschlussproblematik nur ungern öffentlich diskutiert. Im Zuge betrieblicher Maßnahmen oder aufgrund von Anwohnerbeschwerden können Fehleinleitungen in erster Linie zufällig ermittelt werden. Im Rah-

men einer Fragebogenaktion sollten Eindrücke zur Problematik und Sensibilität der Kanalnetzbetreiber in NRW erhoben werden. Dazu wurde ein Fragebogen entwickelt und nach vorheriger Kontaktaufnahme an alle Kommunen in Nordrhein-Westfalen versendet. Die Auswertung der erhobenen Daten erfolgte zum Schutz der Gemeinden anonymisiert. Der Fragebogen ist als Anhang dem Bericht beigefügt. Die Ergebnisse der Auswertung werden in Kapitel 11 beschrieben.

In erster Linie sollten folgende Informationen durch die Fragebogenaktion erhoben werden:

- Bestehen Fehleinleitungen bzw. werden Fehleinleitungen als Problem wahrgenommen?
- Werden Fehleinleitungen systematisch detektiert und saniert?
- Werden Neuanschlüsse von Grundstücksentwässerungsanlagen kontrolliert?

3 Detektionsverfahren

3.1 Visuelle Detektionsverfahren

3.1.1 Visuelle Inspektion von Einleitstellen 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 erste Hinweise auf Fehleinleitungen liefern. Dabei ist auf Indikatoren von Fehleinleitungen, wie beispielsweise Hygieneartikel, Schaum, Gerüche, Fäkalien oder Ölfilme zu achten (Abb. 7).

Abb. 7: Optisch erkennbare Fehleinleitungen in der Regenwasserkanalisation (oben) und in einem Regenklärbecken (unten links) sowie Fehleinleitungsindikatoren (Nudeln) im Auslauf in ein Gewässer

Im Rahmen der Untersuchungen in diesem Projekt wurde die Erfahrung gemacht, dass eine einmalige Begehung dieser Stellen nicht ausreicht, um Fehleinleitungen auszuschließen. Auch eine stichprobenartige Öffnung von Betriebsschächten zur kurzfristigen 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. Um aussagekräftige Ergebnisse zu erzielen, ist es sinnvoll die optische Inspektion an Tagen nach Niederschlagsereignissen durchzuführen. Hierzu ist eine Sensibilisierung des Betriebspersonal notwendig, mit dem Ziel, dass die Mitarbeiter auf Anzeichen von Fehleinleitungen achten. Idealerweise kann die optische Inspektion im Rahmen von Wartungs- bzw. Kontrollarbeiten an Anlagen erfolgen und die Ergebnisse der Inspektion dokumentiert werden.

3.1.2 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 ist besonders sinnvoll, wenn Regenwasserkanäle an den Schmutzwasserkanal angeschlossen sind, weil dann bei Benebelung des öffentlichen Schmutzwasserkanals der Nebel an Entlüftungen, Dachrinnen, Hofabläufen und Schächten austritt.

Wie in Kapitel 9.3 erläutert, sollte der Nebel, in den Fällen in denen Schmutzwasser an den Regenwasserkanal angeschlossen ist, über die Dachentlüftung entweichen und Fehleinleitungen erkennbar sein. Einschränkungen des Verfahrens sind in Kapitel 9.3 beschrieben. Nicht normgerecht eingebaute Rückschlagklappen in Schmutzwasserleitungen (fäkalienhaltiges Abwasser) sind im Zustand ohne Durchfluss geschlossen. Der Nebel kann dann möglicherweise gar nicht erst in die Gebäude eindringen. Bei Gebäuden, die über Hebeanlagen entwässert werden, kann der Nebel ebenfalls nicht in die Entwässerungsleitungen der Gebäude vordringen. Dachentlüftungen sind aus dem öffentlichen Raum heraus auch nicht immer gut sichtbar.

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 Benebelungen stattfinden. Zusätzlich sollte vorab die Feuerwehr informiert werden, um so Einsätze aufgrund

von Nebelmeldungen in den Wohnräumen zu vermeiden. Die Vorabinformation der Anwohner kann, ähnlich wie bei Traceruntersuchungen dazu führen, dass bei bekannten oder sogar bewusst vorgenommenen Fehlanschlüssen das Austreten des Nebels an bestimmten Stellen verhindert werden kann und so die Fehleinleitungen ebenfalls nicht erkennbar sind.

3.1.3 Optische Inspektion mit Kamera

Die optische Inspektion mit einer Kamera ist ein wesentlicher Bestandteil der Überprüfung des Zustands von Kanalisationsstrecken mit Nennweiten, die eine Begehbarkeit 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 Fehlanschlüssen geben. Beispiele illustrieren die in Abb. 8 exemplarisch dargestellten Fotodokumentationen. Hier sind Trübungen und Verfärbungen an den Verbindungspunkten der privaten Anschlüsse sichtbar. Somit besteht zwar eine Möglichkeit zur Detektion einzelner Fehleinleitungen durch die Kamerabefahrung, allerdings ist eine flächendeckende Detektion nicht gewährleistet. Der Erfolg einer Detektion durch Sichtkontrollen an den Betriebsschächten unterliegt dem Zufall. Die Untersuchungen in Kanalstrecken mit nachgewiesenen Fehleinleitungen in den untersuchten Gebieten belegen, dass diese Art der Kontrolle nur in Ausnahmefällen erfolgreich ist.

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 und die Untersuchung im Rahmen der Selbstüberwachung mit durchgeführt werden kann. Hier können kleine Rohrdurchmesser oder Verläufe mit ungünstigen Winkeln dazu führen, dass die Kamera nicht eingeführt werden kann.

Abb. 8: Verfärbung und Ablagerungen durch Schmutzwasser im Anschlussbereich von Regenwasserkanälen

3.2 Indikatorverfahren

3.2.1 Tracer (Markierungsstoffe)

Tracer sind leicht nachweisbare 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 eingesetzt werden 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 Haushal-

ten notwendig ist. Um Fehleinleitungen sicher ausschließen zu können, ist eine Tracerzugabe in alle Entwässerungsanlagen erforderlich, da Fehlanschlüsse innerhalb der Grundstücksentwässerung möglich sind. Dies setzt voraus das 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.

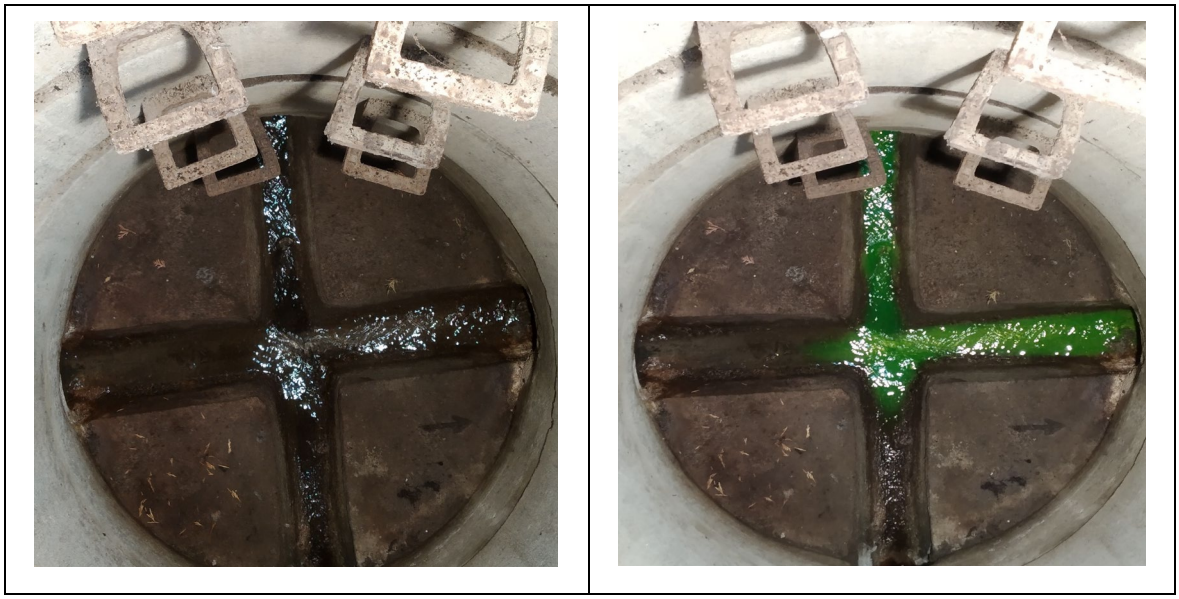


Abb. 9: Fehleinleiterkontrolle an einem privaten Schacht durch Tracerzugabe (Uranin) in einem Entwässerungsgegenstand im Gebäude (rechts mit Tracer)

3.2.2 Aktive und passive Probenahme zur Analyse chemischer und biologischer Indikatoren

Werden bestimmte Indikatoren für Schmutzwasser in Regenwasserkanälen nachgewiesen, ist die Wahrscheinlichkeit für Fehleinleitungen hoch. Bei diesen Indikatoren wird zwischen chemischen und biologischen Parametern unterschieden. Einen Überblick zu verschiedenen Indikatorparametern geben Panasiuk et al. (2015) oder Brown et al. (2004). Diese Indikatorparameter können ein konservatives oder nicht-konservatives Verhalten aufweisen. Bei konservativen Parametern ändert sich die Konzentration nur durch Verdünnung. Bei nicht-konservativen Parametern führen biologische, chemische und physikalische Prozesse innerhalb der Kanalisation zu Änderungen der stofflichen Eigenschaften. Diese Parameter eignen sich nur eingeschränkt zur Fehleinleitungsdetektion.

Zu den maßgeblichen biologischen Indikatoren zählen Parameter die in erster Linie aufgrund menschlicher Ausscheidungen in der Kanalisation nachweisbar sind. Zu den zur Fehleinleitungsdetektion untersuchten Parameter zählen in erster Linie fäkale Indikatorbakterien (z.B. E.coli, Enterokokken). Im Allgemeinen sind mikrobiologische Parameter nichtkonservativ, denn 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). Um eine sichere Detektion zu gewährleisten, schlagen Irvine et al. (2011) vor, erst bei Überschreitungen von 12.000 KBE/100 ml von Fehleinleitungen auszugehen.

Die Bestimmung chemischer Indikatoren beruht auf der chemischen Analyse von Parametern, die Anzeichen für häusliches Schmutzwasser darstellen. Hierzu zählen vor allem Stoffe, die in möglichst vielen Haushalten auftreten und bereits in sehr kleinen Konzentrationen messbar sind. Voraussetzung ist ein eindeutiger anthropogener Einfluss oder die Kenntnis der Basiskonzentration des Stoffes im Grund- oder Niederschlagswasser. Hinweise zu Fehleinleitungen liefern beispielsweise Ammoniak oder eine entsprechende Leitfähigkeit des Abflusses. Beide Parameter, sind mit vergleichsweise geringem Aufwand nachzuweisen, sind jedoch sowohl im Abwasser als auch im Regenwasser enthalten, so dass mögliche Ursachen genauer zu untersuchen sind (Schilperoort et al., 2006). Zu Stoffen, die fast ausschließlich im häuslichen Schmutzwasser zu finden sind, zählen:

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

Neben den vergleichsweisen hohen Kosten für die Analyse, stellt die Möglichkeit der repräsentativen Probenahme ein Problem bei dieser Untersuchung dar. Aufgrund des diskontinuierlichen Auftretens der Fehleinleitungen reichen Stichproben nicht aus, da in Zeiträumen ohne Fehleinleitungen die oben genannten Indikatorparameter in der Regel nicht mehr aufzufinden sind. Somit müsste die Probenahme im Zeitpunkt der Einleitungen erfolgen und die Analyse zeitnah durchgeführt werden. Hier kann eine passive Probenahme hilfreich sein. Im Gegensatz zur aktiven Probenahme durch Schöpfproben oder mit Probenahmegeräten wird bei der passiven Probenahme ein Passivsammler im Wasserkörper angeordnet. Dieser reichert Stoffe über einen bestimmten Zeitraum an. Dabei ist der Verteilungskoeffizient zwischen der Wasser- und der Sammlerphase die treibende Kraft. Bestimmte Chemikalien diffundieren aus dem Wasser in den Passivsammler und reichern sich

dort an. Diese Stoffe können später, beispielsweise mit einem Lösemittel, aus dem Passivsammler extrahiert werden, um anschließend die Stoffkonzentrationen zu analysieren. Das Verfahren ermöglicht den Nachweis von Stoffen, die wegen ihrer niedrigen Konzentration im Wasser schwer zu bestimmen wären. Mit Bezug zur Fehleinleiterdetektion ist ein besonderer Vorteil, dass temporäre Einträge während des Sammelns ebenfalls erfasst werden können.

Zur Untersuchung mikrobiologischer Parameter erfolgen beispielsweise Sielhautuntersuchungen. Weiterhin werden auch Aufwuchsflächen beispielsweise aus Filz an der Kanalsohle angebracht, um hier eine Fixierung von Indikatorparametern zu untersuchen.

Im Rahmen der Untersuchungen zur Detektion von Fehleinleitungen wurde ungebleichte Watte als Passivsammler im Abwasserstrom fixiert. Die anschließende Analyse basiert dabei auf dem Messprinzip der Lumineszenz optischer Aufheller in Waschmitteln. Hierzu werden auf der Kanalsohle an entsprechender Stelle im Netz ein Wattepad (ungebleichte Watte) befestigt. Kommt die Watte mit den in diversen Waschmitteln enthaltenen Aufhellern in Berührung, lumineszieret diese unter UV-Licht mit einer Wellenlänge von 365 nm. Wie auf der linken Seite von Abb. 10 zu sehen ist, lumineszieret 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.

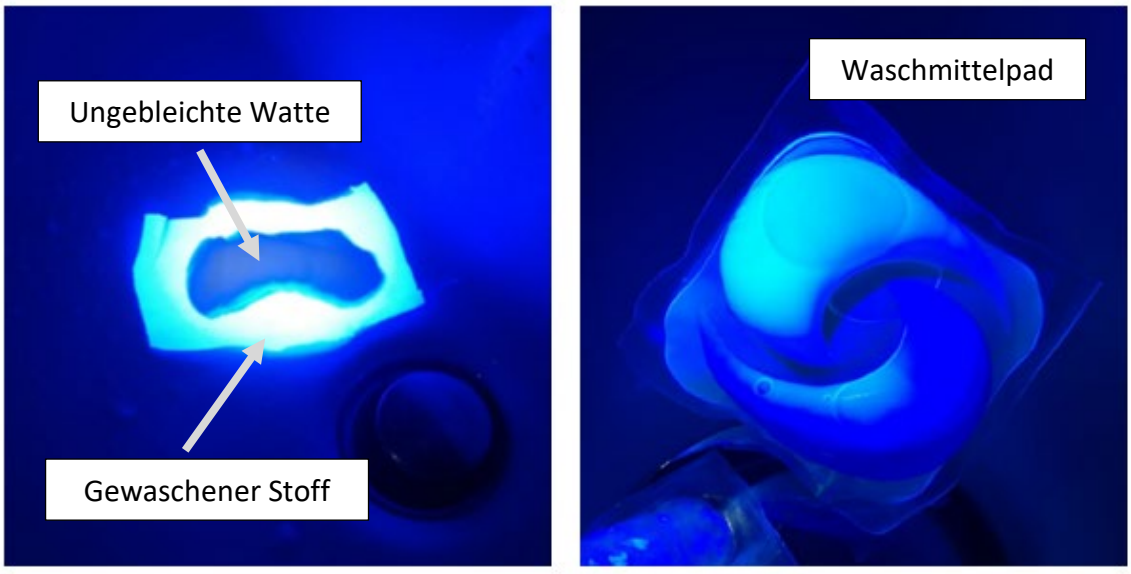


Abb. 10: Ungebleichte Watte (dunkler Bereich) auf mit optischen Aufhellern gewaschenem Kleidungsstück (links) und fluoreszierendes Waschmittelpad unter 365°nm UV-Licht

Die im Sohlbereich des Kanals fixierte Watte kann nach einigen Tagen wieder entnommen und untersucht werden. Die Untersuchung mit Hilfe der UV-Lampe kann unmittelbar vor Ort erfolgen. Das Licht wird grundsätzlich gut sichtbar von der Watte reflektiert. UV-Licht weist aber auch einen Anteil sichtbaren Lichts auf, sodass Fehlinterpretationen nicht völlig auszuschließen sind. Daher sollte ein unmittelbarer Vergleich mit einer Negativprobe erfolgen, um Fehlinterpretationen auszuschließen.

3.3 Distributed Temperature Sensing (DTS)

Bei der faseroptischen Temperaturmessung (englisch ***d****istributed* ***t****emperature* ***s****ensing*) 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). Das Prinzip wird als faseroptisches Raman-Rückstreuverfahren bezeichnet (Raman, 1928). 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 Lichtimpuls in die Faser veranschaulicht Abb. 11. Temperaturänderungen induzieren Gitterschwingungen im Molekülverband des Quarzglases. 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 die temperaturabhängige Lichtstreuung (Raman-Streuung), die gegenüber dem einfallenden Licht spektral um den Betrag der Resonanzfrequenz der Gitterschwingung verschoben ist. Die Verschiebung zu geringerer Energie wird als Stokes-Band bezeichnet und die Verschiebung zu höherer Energie als Anti-Stokes-Band.

Die Intensität und spektrale Zusammensetzung des rückgestreuten Lichts ist abhängig von den Molekülen der Faser und deren Schwingungen. Hierbei wird zwischen elastischer und nichtelastischer Streuung unterschieden. Bei der Raman-Streuung handelt es sich um eine nichtelastische Streuung. Dies bedeutet, dass die Wellenlänge des rückgestreuten Lichtes im Vergleich zum eingebrachten Licht spektral verschoben wird. Die spektrale Verschiebung entspricht dem Betrag der Resonanzfrequenz der Gitterschwingungen. Diese Ver-

schiebung findet sowohl zu geringerer Energie (Stokes-Streuung) als auch zu höherer Energie (Anti-Stokes-Streuung) statt (Abb. 12). Wirken nun Temperaturänderungen auf die Fasern des Lichtwellenleiters, werden Gitterschwingungen in der molekularen Struktur des Quarzglases induziert. Infolge der Dämpfung des Lichtes in den Quarzglasfasern durch Streuung kann der Ort einer äußeren physikalischen Einwirkung festgestellt werden. Dadurch ist der Lichtwellenleiter als linearer Sensor geeignet.

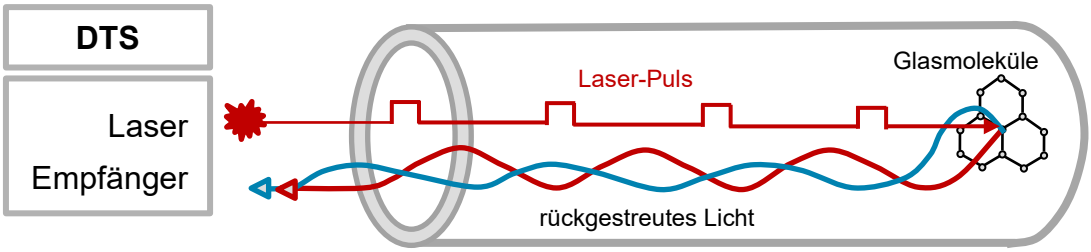


Abb. 11: Schematische Darstellung der Reflektion des Laserlichts im Glasfaserkabel

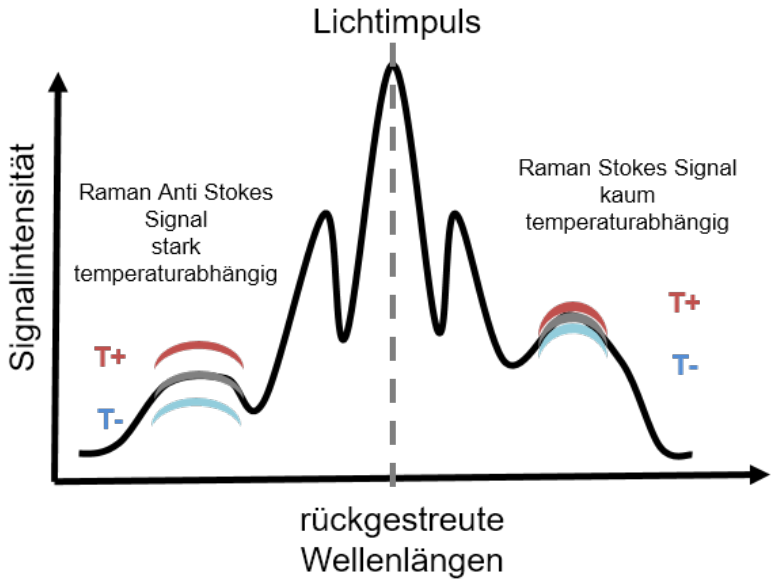


Abb. 12: Spektrum der rückgestreuten Wellenlängen eines Laserimpulses in einer Glasfaser (verändert nach Selker et al., 2006)

Zur Durchführung der Messung wird ein Auswertegerät mit Frequenzgenerator, Laserquelle, optischem Modul, Empfänger- und Mikroprozessoreinheit (Laser-Computer) sowie ein LWL-Kabel (Lichtwellenleiter) aus Quarzglasfasern als linienförmiger Temperatursensor

benötigt. Die Technologie wird beispielsweise zur Detektion von Bränden oder zur Überwachung von Leckagen an Dämmen und Deichen eingesetzt. Der Einsatz zur Detektion von Fehleinleitungen in Abwasserkanälen wurde ebenfalls bereits in den Niederlanden erprobt (Schilperoort et al., 2013). Vorteil dieser Methode ist, die Detektion von Fehleinleitungen unabhängig von der Kooperationsbereitschaft möglicher Fehleinleiter (z. B. Anwohner oder Gewerbebetriebe). Mit der DTS-Messung ist eine Technologie verfügbar, mit der Fehleinleitungen sicher und in einem adäquaten Kosten- und Nutzenverhältnis zu lokalisieren sind. Im Rahmen des Projektes wurden Anwendungsmöglichkeiten und monetäre Aspekte untersucht.

Zur Ermittlung von Fehleinleitungen wird das Glasfaserkabel möglichst auf der Kanalsohle verlegt und verbleibt in der Regel für drei bis vier Wochen im Kanal. Durch die Auswertung eines Lasersignals lassen sich durch die Einleitungen verursachte Temperaturdifferenzen mit einer hohen zeitlichen (1 Minute bis 30 Sekunden) und räumlichen (1 Meter und weniger) Auflösung exakt bestimmen. In der Regel weisen Fremdwasserzuflüsse und Fehleinleitungen aufgrund der Herkunft des Wassers eine deutlich abweichende Temperatur gegenüber der Umgebungsluft bzw. dem teilweise vorhandenen Basisabfluss auf. Es muss gewährleistet sein, dass zu detektierende Zuflüsse das Kabel erreichen. Einen detektierten Zufluss mit abweichender Temperatur vom Basisabfluss veranschaulicht Abb. 13. Der wärmere Zufluss im Bereich der Einleitung bei Kabelmeter 30,3 wird erfasst. Es zeigt sich die Ausbreitung der Temperaturfahne in Fließrichtung.

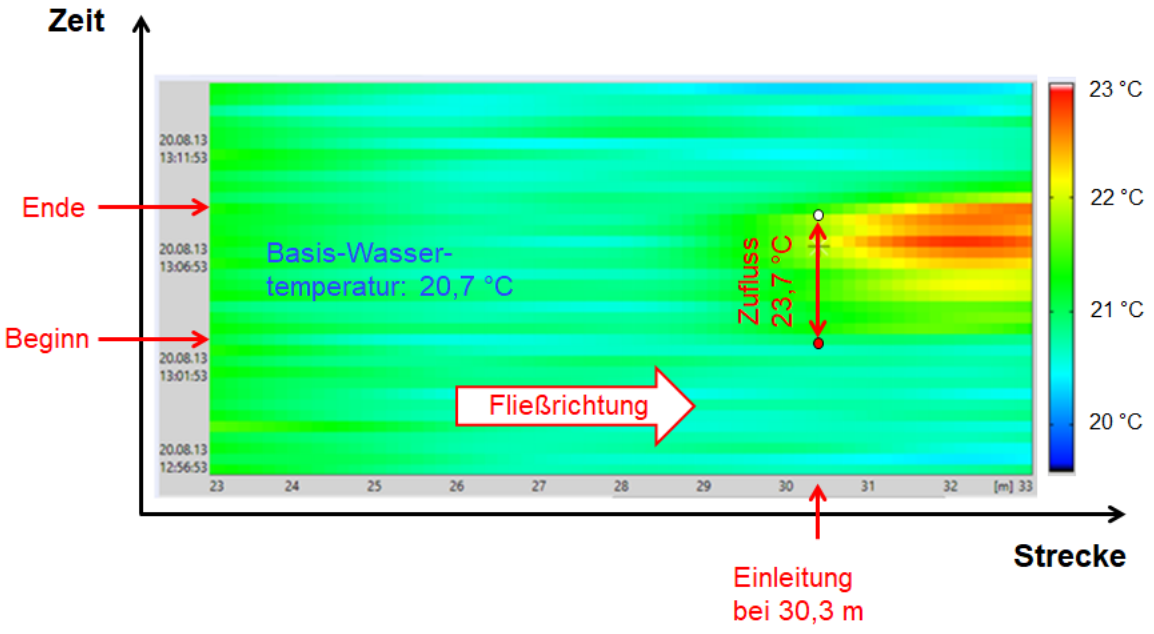


Abb. 13: Mit DTS-Messung erfasste Temperaturdifferenz durch Zufluss in einem Abwasserkanal

Da die Kabelpreise bei einer Messung den größten Anteil der Kosten ausmachen, war die Optimierung des Kabeleinsatzes einer der Untersuchungsschwerpunkte des Projektes. Bislang wurden die zur DTS-Messung genutzten Glasfaserkabel in Längen bis zu 2 km verwendet. Kabellängen dieser Größenordnung lassen sich nur schwer ein- und wieder ausbauen. Das liegt an der zunehmenden Reibung zwischen dem Kabel und der Kanalwand, insbesondere an Umlenkungen. Beim Ausbau führen Verzopfungen am Kabel zu einer Zunahme des Gewichtes. Außerdem bleiben die verzopften Kabelabschnitte im Kanal hängen. Das Kabel kann dann nur stückweise und nicht zerstörungsfrei ausgebaut werden.

Mittlerweile besteht die Möglichkeit, die Glasfaserkabel in kleinere Teilabschnitte zu unterteilen und diese mit einer Schraubverbindung zu verbinden. Hierdurch wird der Einbau des Glasfaserkabels in das Kanalnetz deutlich vereinfacht. Die Verbindungsstücke werden jeweils so platziert, dass sie auf Schachthöhe liegen und so in der Regel vor Regenwasser geschützt sind. Allerdings erschweren die Verbindungen aufgrund der Dämpfung und ggf. Störsignalen die Auswertung.

Im Rahmen dieses Projektes sollten auch Gebiete untersucht werden, in denen zur Detektion und Elimination bereits „herkömmliche“ Methoden (Benebelung, Inspektion, Tracer) eingesetzt wurden, um zu überprüfen ob, bei dieser Methode Fehleinleitungen übersehen wurden.

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.).

4 Untersuchung von Kabeln und Kabel-Steckverbindern

4.1 Kabel und Verbinder

4.1.1 Arten und Anforderungen

Bei der DTS-Messung ist das Kabel der Sensor. Die Wahl des Kabels hat daher erheblichen Einfluss auf die Durchführung der Messung und die Qualität der Messdaten. Die Kabel sind für die jeweiligen Zwecke von unterschiedlichen Anbietern erhältlich. Konkret müssen bei der Wahl des Sensors folgende Punkte gegeneinander abgewogen werden:

- Messgenauigkeit
- Ansprechverhalten
- Stabilität/Resistenz
- Flexibilität
- Kosten

Die fünf genannten Punkte konkurrieren teilweise miteinander. So ist ein dickeres Kabel tendenziell robuster, aber gleichzeitig auch unflexibel und damit schwieriger zu verlegen. Außerdem weisen dickere Kabel ein verzögertes Messverhalten auf, da die höhere Wärmekapazität zu einer langsameren Erwärmung führt. Ein dünneres Kabel zeigt ein tendenziell besseres Ansprechverhalten, ist aber gleichzeitig weniger haltbar. Es sind aber auch haltbare, dünne Kabel erhältlich, die durch eine metallische Armierung auch ein potenziell besseres Ansprechverhalten aufweisen (durch die gute Wärmeleitfähigkeit der Armierung). Diese sind jedoch teurer, sodass hier Kosten und Nutzen abgewogen werden müssen. Die Kabel machen einen wesentlichen Anteil der Kosten aus. Neben dem Preis für die Kabel selbst, beeinflusst die Handhabbarkeit beim Einbau die Arbeitszeit. Durch eine mehrfache Verwendung des Kabels können die Kosten deutlich reduziert werden.

Drei verschiedene Kabeltypen zeigt Abb. 14. Die drei hier exemplarisch dargestellten Kabel unterscheiden sich deutlich voneinander. Kabeltyp 1 ist ein äußerst robustes und vergleichsweise dickes Kabel. Die Glasfaser ist dreifach ummantelt (Außenmantel, Stahlwellmantel und Innenmantel). Kabeltyp 2 besteht aus einem Außenmantel und einer Schicht aus Glasvrowings als Schutz gegen Nagetierverbiss. Kabeltyp 3 verfügt unter dem Außenmantel über dünne Drähte als Armierung. Die Glasfasern selbst liegen in einem dünnen Stahlmantel.

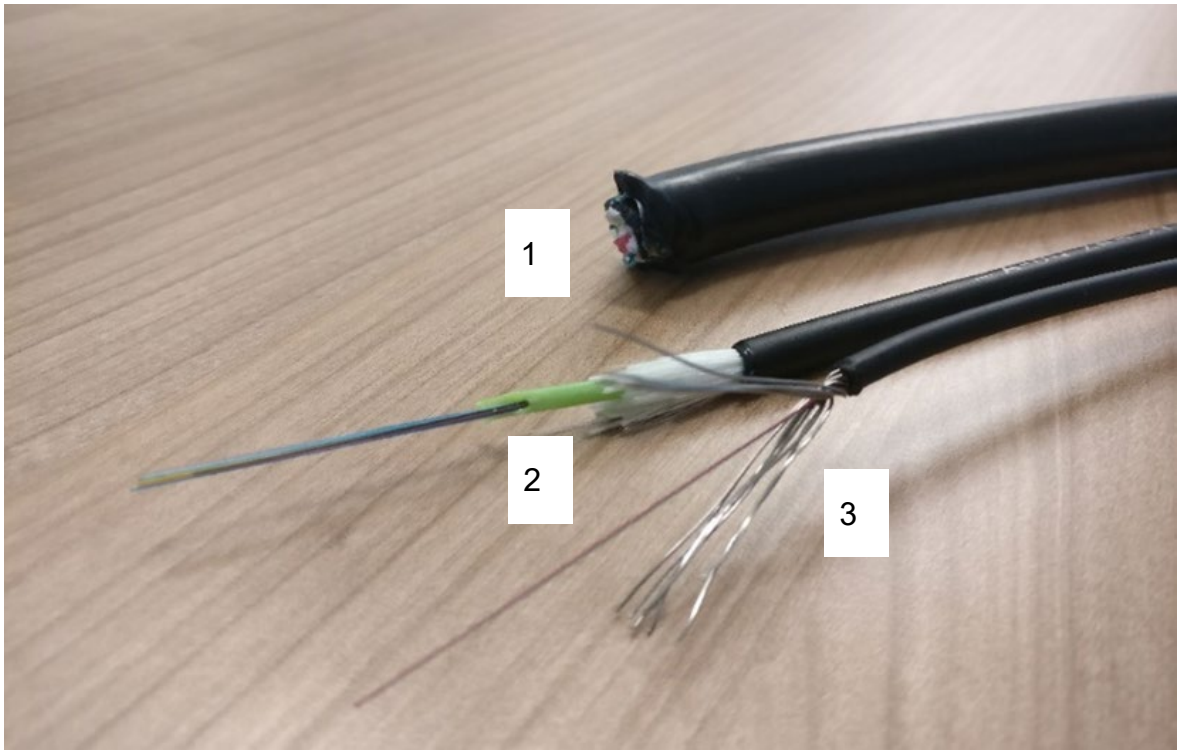


Abb. 14: Drei Glasfaserkabel in unterschiedlicher Ausführung zum Einsatz im Rahmen von DTS-Messungen

Die Eigenschaften der drei Kabeltypen sind in Tab. 2 vergleichend gegenübergestellt. Die jeweiligen Kabeltypen weisen abhängig vom Aufbau und Material unterschiedliche Vor- und Nachteile auf.

Tab. 2: Eigenschaften der verschiedenen Kabeltypen

Typ	Ansprechverhalten	Messverhalten	Stabilität	Flexibilität	Kosten
1	-	o	++	--	o
2	+	+	o	++	-
3	++	++	+	+	++

-- sehr gering/schlecht o durchschnittlich ++ sehr hoch/gut

Basierend auf dem Vergleich der unterschiedlichen Kabeltypen wurde für das Projekt ein Kabel mit Glasvrowings als Armierung (Kabeltyp 2) gewählt. Dieser Kabeltyp zeichnet sich

durch ein gutes Messverhalten bei durchschnittlicher Stabilität und verhältnismäßig geringen Kosten aus. Die hohe Flexibilität begünstigt jedoch gleichzeitig den mehrmaligen Einbau, da es sich leichter verlegen und auf- und abrollen lässt. Abb. 15 zeigt zwei exemplarische Kabeltypen im Detail. Das Kabel ist metallfrei und sowohl für den Innen- und Außeneinsatz geeignet, wobei die Glasarmierung des Kabels dem Nagetierschutz dient. Das Kabel ist auch für die direkte Steckermontage geeignet, ist halogenfrei, selbstverlöschend sowie längs- und querwasserdicht. Der Kabelmantel hat einen Durchmesser von rd. 5 mm.

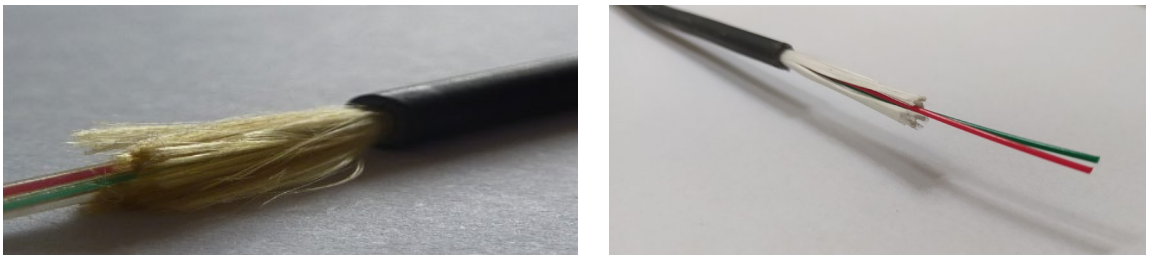


Abb. 15: Detailaufnahme von untersuchten Glasfaserkabeln

4.1.2 Mehrfachnutzung durch Kabelverbinder

Bei bisherigen Messungen wurden für DTS-Messungen nur durchgehende Kabel eingesetzt. Die mögliche Kabellänge von 2.000 m führt beim Einbau zu Problemen. Bei Kabellängen von mehreren Hundert Metern nehmen die Reibungskräfte beim Einbau deutlich zu, so dass der manuelle Einzug immer schwieriger wird und zudem hohe Zugkräfte das Kabel beanspruchen. Beim Ausbau müssen diese langen Kabelstrecken häufig zerschnitten werden, um das Kabel aus dem Kanal zu entfernen. Bei kürzeren Kabelstrecken wird der Ein- und Ausbau deutlich vereinfacht und zudem ist eine Mehrfachverwendung und damit eine Reduktion der Kosten möglich.

Ein Ziel des Projektes, war die Untersuchung geeigneter Kabel-Stecker-Kombination, um die eingesetzten Glasfaserkabel in kürzere Teilstücke unterteilen zu können. Da durch die Verbinder eine Beeinflussung der Messergebnisse möglich ist, wurde der Einfluss von Verbindungselementen untersucht. Die Verbinder ermöglichen den wiederholten Einsatz kürzerer Kabelabschnitte. Vor diesem Hintergrund wurde das Kabel in vier Segmente mit einer Länge von jeweils 300 m unterteilt. Mit Hilfe von Steckverbindern wurden die jeweiligen Segmente zu einem Kabelstrang mit einer Gesamtlänge von 1.200 m verbunden.

Zu Beginn des Projektes erfolgte ein Austausch mit der niederländischen Firma Partners4UrbanWater (Nijmegen), die bereits DTS-Messungen in den Niederlanden durchgeführt hatte. In gemeinsamen Workshops wurden geeignete Kabelarten und Anforderungen bei der Verbindung von Kabelsegmenten erörtert. Im Vergleich zu Anwendungen in den Niederlanden bestehen systembedingte Unterschiede zum Betrieb von Regenwassernetzen in Deutschland. In den niederländischen Kanalnetzen liegt vielfach ein dauerhafter Einstau im Kanal vor. Um bei hohen Füllständen auch kleine Zuflüsse detektieren zu können wird das Kabel schwimmend verlegt. Gleichzeitig sind die Niederlande durch die flache Topografie geprägt, woraus geringere Fließgeschwindigkeiten und entsprechend geringe Schleppspannungen resultieren. In Deutschland ist diese Art der Kabelverlegung hingegen nicht geeignet. Regenwasserkanäle sollten grundsätzlich nicht dauerhaft eingestaut sein. In Städten wie Wuppertal mit hohen topografischen Veränderungen kommt es zu hohen Fließgeschwindigkeiten, die eine Fixierung des Kabels auf der Kanalsohle erfordern.

Die eingesetzten Verbinder müssen sich durch Wasserdichtheit nach IP 68 auszeichnen. Aufgrund der Bedingungen in der Kanalisation wurde jeder Steckverbindung durch eine Verbindungsmuffe zusätzlich geschützt. Abb. 16 zeigt die verwendeten Verbinder (Connectoren).

Entlang des Kabels entsteht aufgrund der großen Länge ein Signalverlust. Der Verlust wird durch die Steckverbindungen verstärkt. Aus diesem Grund wurden zwei Kabelteile in die Versuchsanlage eingezogen und die Temperaturversuche gleichzeitig am ersten und letzten Teilstück des Glasfaserkabels durchgeführt. Dadurch konnten untersucht werden, in welchem Umfang die relativ großen lokalen Signalverluste an den Steckverbindungen im Verlauf des Kabels zu einer Verschlechterung der Messergebnisse führen.

Die Kabelstrecke war insgesamt 1.200 m lang und wurde in 300 m-Segmente unterteilt. Der Anschluss des Glasfaserkabels an den DTS-Computer erfolgt ebenfalls durch eine Steckverbindung (Abb. 17). Aufgrund von Rückstreuungseffekten werden die letzten Meter des Kabels nicht zur Messung verwendet.

Abb. 16: Beispiel für die untersuchten Glasfaserconnectoren mit Verbindungsmuffe (grün)

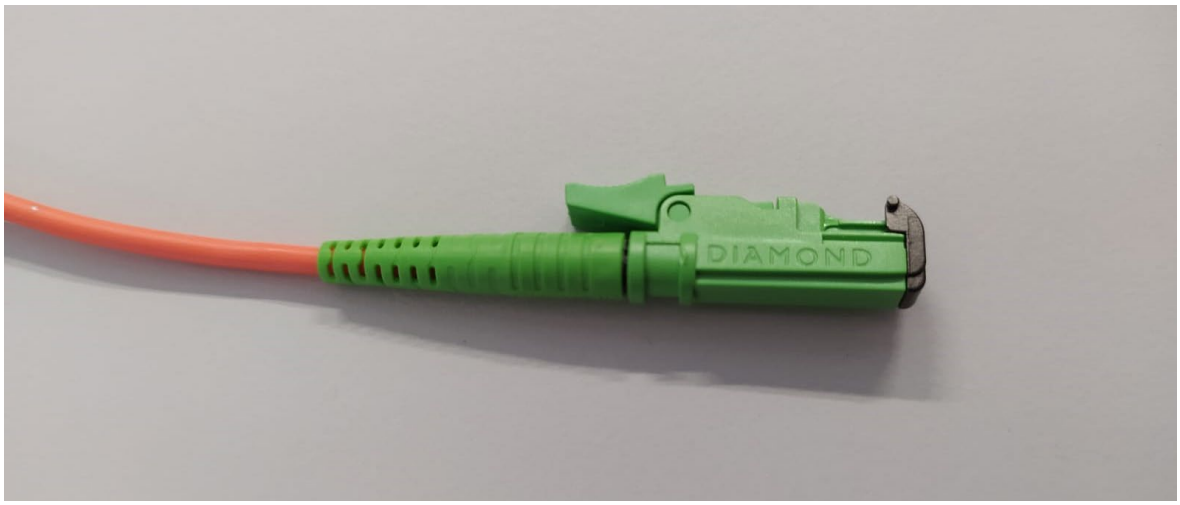


Abb. 17: Kabelsegment zur Verbindung an den DTS-Computer

Zu Projektbeginn war geplant mehrere Kabel-Steckverbindungskombinationen auf ihre Tauglichkeit im Feld zu überprüfen. Da es sich bei dieser Messung allerdings um eine ungewöhnliche Kombination aus Geräteanschlüssen und Kabel handelt, die üblicherweise bei Glasfaserkabeln nicht verwendet wird (Haupteinsatzgebiet ist Telekommunikation), wäre Entwicklungsarbeit der Firmen nötig gewesen. Da für die Messungen nur verhältnismäßig kurze Kabelstrecken und geringe Stückzahlen an Steckverbindungen nötig waren, die im

Optimalfall auch noch wiederverwendet werden sollten, war nur eine geringe Anzahl von Anbietern daran interessiert, an der Entwicklung von Verbindungstechniken beizutragen.

4.2 Ziele und Konzept der Laboruntersuchungen

Ziel umfangreicher Laborversuche war die Ermittlung des Ansprechverhaltens des Kabels als Sensor der DTS-Messtechnik. Untersucht wurden minimal benötigte Temperaturunterschiede sowie minimale Durchflüsse zur Detektion. Darüber hinaus sollte das Verhalten der Kabel und Verbindungen unter mechanischer Belastung untersucht werden. Aufgrund der mechanischen Belastung (Biegung, Zug und Dehnung sowie Torsion) der Kabel bzw. Faser kann es unter Berücksichtigung des in Kapitel 3.3 erläuterten Messprinzips zu Änderungen der Molekülstruktur im Glasfaserkabel kommen. Da die Stellen an denen das Kabel umgelenkt bzw. aufgewickelt ist bekannt sind, wurde im halbtechnischen Kanalnetz im Technikum der FH Münster überprüft, ob diese Schadstellen bei der Messung von tatsächlichen Temperaturänderungen unterschieden werden können und somit spätere „false positive"-Messungen im Feld ausgeschlossen werden können. Alle Labormessungen wurden in der halbtechnischen Versuchsanlage im Technikum für Wasserversorgung und Stadthydrologie durchgeführt (Abb. 18 und Abb. 19). Die Leitungen der Anlage haben einen lichten Rohrdurchmesser von 150 mm und eine gesamte Rohrlänge von etwa 30 m.

Abb. 18: Teilbereich der halbtechnischen Versuchsanlage im Technikum für Wasserversorgung und Stadthydrologie

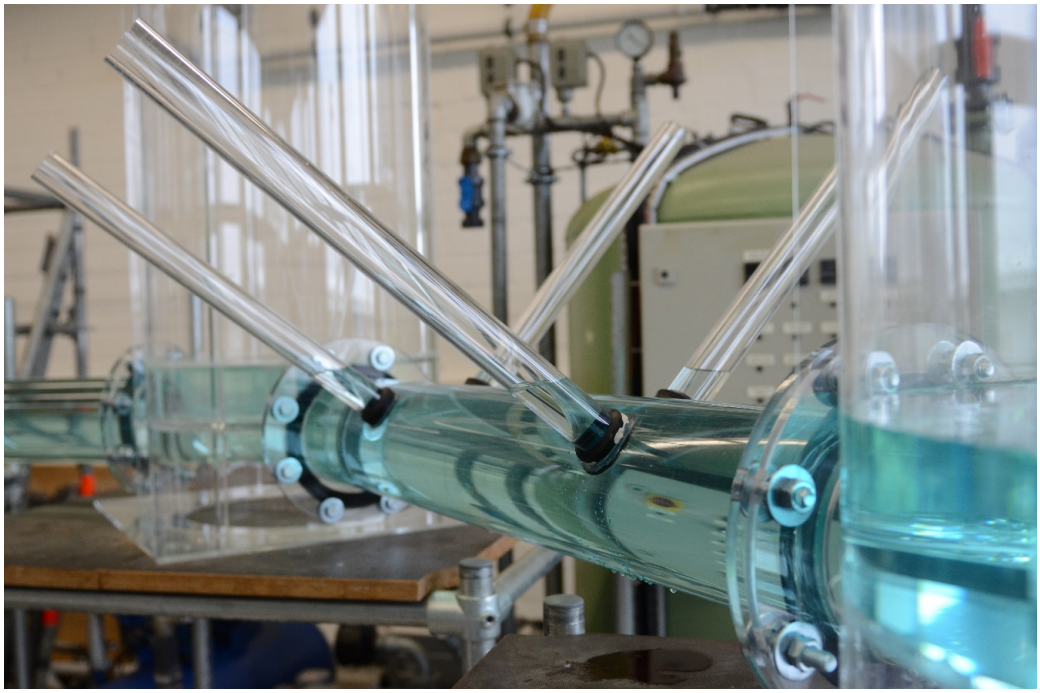


Abb. 19: Haltung des halbtechnischen Kanalnetzes zur Ermittlung der Temperatursensitivität

4.3 Einfluss mechanischer Belastungen auf das Messergebnis

4.3.1 Biegebelastung des Kabels

Der Biegeversuch sollte zeigen, unter welchen Bedingungen das Kabel beschädigt wird und ob hohe Biegebelastungen zu Fehlmessungen führen. Hierzu wurde das Kabel unter Zug (etwa 100 N) um einen runden Prüfkörper gelegt. Vor, während und nach dem Biegevorgang, wurde eine Messung durchgeführt, um aus den Messdaten das Risiko einer „false positive“ Messung ableiten zu können.

Dazu wurde der Radius beginnend bei 50 mm fortwährend bis auf 3 mm verkleinert. Eine Zerstörung des Kabels oder eine Beschädigung der Faser war weder visuell erkennbar, noch anhand der Messdaten zu erkennen. Zum Erreichen des Biegeradius von 3 mm war bereits ein erheblicher Kraftaufwand notwendig, sodass eine noch engere Biegung in der Praxis ausgeschlossen werden kann. Abb. 20 zeigt die Biegung um den kleinesten Radius. Auf Messungen mit kleineren Radien wurde daher verzichtet.

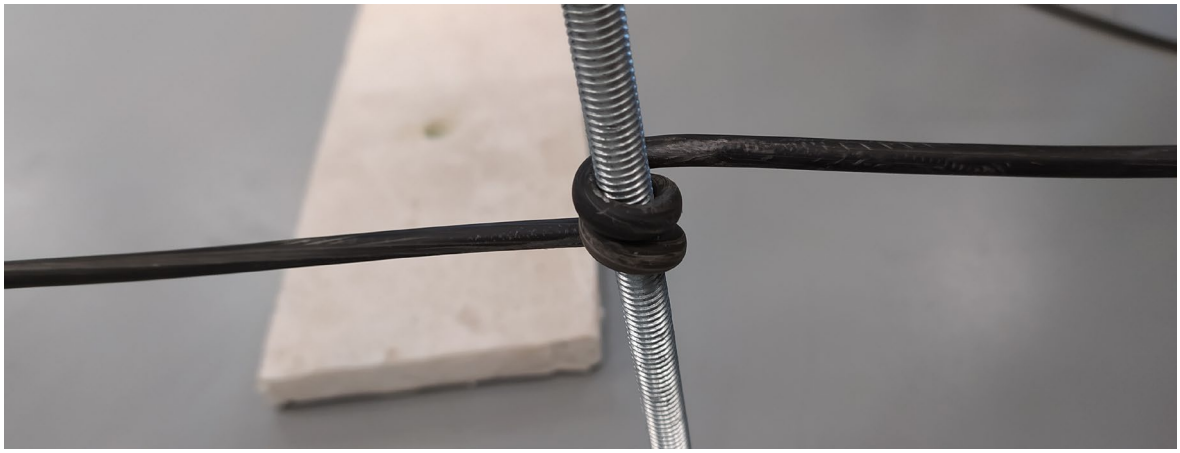


Abb. 20: Biegung des Glasfaserkabels mit einem Radius von 3 mm im Rahmen der Laborversuche

4.3.2 Beanspruchung auf Zug

Die Verlegung des Kabels in der Kanalisation erfolgt mit einem Kamerawagen oder einem Zugseil. Hierbei kommt es mit zunehmender Kabellänge und steigender Zahl an Umlenkungen zu einer zunehmenden Zugbelastung des Kabels. Weiterhin kommt es zu einer Zugbelastung des verlegten Kabels während der Messung durch das umströmende Wasser. Verzopfungen um das Kabel können die Krafteinwirkung erheblich steigern. Daher muss sichergestellt sein, dass diese Zugbelastung nicht zu Fehlmessungen führt.

Im Versuch wurde das Kabel hängend installiert und auf einer Länge von 5 Metern mit einer Zugkraft von ca. 1000 N belastet. Diese Zugbelastung führte zu einer Dehnung um etwa 3 cm.

Durch den Zugversuch wurde das Kabel nicht (visuell erkennbar) beschädigt. Während der Messung konnte keine signifikante Messabweichung festgestellt werden. Eine „false-positive“ Messung in Folge einer Zugbelastung kann daher weitgehend ausgeschlossen werden.

4.3.3 Beanspruchung auf Torsion

Das Kabel wird auf einer Kabeltrommel gelagert und transportiert. Beim Ein- und Ausbauvorgang kann eine Torsion des Kabels auch bei hoher Sorgfalt nicht ausgeschlossen werden. Es wurde untersucht, ob eine Verdrehung des Kabels beim Einbau die Messergebnisse beeinträchtigt.

In dem durchgeführten Torsionsversuch wurde das Kabel auf einer Länge von ca. 10 m unter Zugspannung (ca. 50 N) verdreht. Das Kabel wurde dabei zehnmal um die Längsachse verdreht (Abb. 21). Die Qualität der Messergebnisse wurde dadurch nicht beeinträchtigt.

Abb. 21: Zehnfach um die Längsachse verdrehtes Kabel

4.3.4 Schlussfolgerungen aus den Untersuchung zur mechanischen Beanspruchung

Bei dem untersuchten Kabel zeigen sich nach den Tests auf Biegebeanspruchung, Zug- und Torsion keine Einschränkungen der Messqualität. Zwar waren bei der grafischen Auswertung der Messungen leichte Temperaturveränderungen während der Messungen zu erkennen. Diese Einflüsse waren jedoch so klein, dass eine Fehldeutung ausgeschlossen werden kann.

Kurzzeitige hohe Belastungen, wie sie beim regulären Ein- und Ausbau oder im Messbetrieb auftreten, werden damit sehr wahrscheinlich keine Konsequenzen auf die Messung haben. Lediglich optische Beeinträchtigungen am Kabel selber konnten festgestellt werden. So hat der Biegeversuch dazu geführt, dass irreversible Bögen am Kabel zu sehen waren. Dies würde in der Praxis dazu führen, dass sich das Kabel nicht so gut aufrollen lässt oder während der Messung nicht optimal auf der Sohle aufliegt. Daher sollte versucht werden, die Biegeradien beim Verlegen möglichst groß zu halten. Jedoch muss auch beachtet werden, dass die im Rahmen der durchgeführten Untersuchungen aufgebrachten Belastungen, die Bedingungen im normalen Betrieb deutlich übersteigen.

Es wird dennoch im Rahmen der Qualitätssicherung empfohlen vor und nach dem Einbau der Kabel in der Praxis Testmessungen durchzuführen, um den einwandfreien Einbau zu dokumentieren.

4.4 Untersuchungen zum Messverhalten des Kabels

4.4.1 Zielsetzung der Versuche

Ziel der Untersuchungen war es, die Grenzen der Messtechnik vor dem Hintergrund der typischen Anforderungen zur Detektion von Fehleinleitungen zu untersuchen. Neben Eignungstests zur grundsätzlichen Detektierbarkeit, sollte auch untersucht werden, wie genau die Lokalisierung einer Einleitung möglich ist. Vorab war zu klären, mit welcher Temperaturdifferenzen durch Fehleinleitung in der Kanalisation üblicherweise zu rechnen ist.

Folgende Faktoren beeinflussen die Parameter „Temperatur“ und „Volumenstrom“ sowie „Zeitraum“ der Einleitung selbst und der Bedingungen im Bereich der Messung im öffentlichen Kanal, in den eingeleitet wird:

- Art des Abwasseranfalls (z.B. Dusche, Toilettenspülung, Waschmaschine etc.)
- Fließstrecke zum öffentlichen Schmutzwasserkanal (Messstelle)
- Gefälle der Anschlussleitung und des öffentlichen Kanals (Einfluss auf Fließgeschwindigkeit)
- Material (spezifische Wärmekapazität, Wärmeleitfähigkeit) der Anschlussleitung und des öffentlichen Kanals
- Dimension der Anschlussleitung und des öffentlichen Kanals
- Temperatur des umgebenden Untergrunds abhängig von Tiefe und Witterung
- Temperatur der Kanalatmosphäre (ohne Basisabfluss)
- Basisabfluss (Temperatur, Volumenstrom etc.)

Diese Einflussfaktoren variieren stark, so dass eine allgemeine Festlegung typischer Temperaturen schwierig ist. Eine detektierte Einleitung zeigt zunächst einmal die Temperaturdifferenz. In Abhängigkeit von der Ausbreitungsgeschwindigkeit und der Strecke der Ausbreitung sind zusätzlich Rückschlüsse auf das eingeleitete Volumen möglich. So kann grundsätzlich davon ausgegangen werden, dass je größer das eingeleitete Volumen, desto länger auch die Messstrecke auf der die Erwärmung sichtbar wird.

Den hohen Einfluss hat der Basisabfluss. Liegt kein Basisabfluss im Kanal vor, so kann der Charakter der Einleitung bereits anhand der Einleittemperatur abgeschätzt werden. Je länger dann die Ausbreitungsfahne der Temperaturmessung, desto größer ist hier folglich das eingeleitete Volumen. Die Geschwindigkeit der Abkühlung entlang der Strecke könnte zur weiteren Abschätzung des Volumens genutzt werden.

Fließt Drainagewasser und/oder Fremdwasser im Kanal, so ist für die Detektierbarkeit der Fehleinleitung nicht die mögliche Temperatur-Differenz an der Einleitung entscheidend,

sondern die resultierende Mischtemperatur von Basisabfluss und Einleitung an der Einleitstelle. Da auch hier theoretisch ein großes Spektrum an Konstellationen und resultierenden Mischtemperaturen möglich sind, wurden verschiedene Szenarien festgelegt und untersucht. Die Betrachtung erfolgte hierbei sowohl mit Bezug auf die gemessene Temperaturdifferenz als auch auf die Lokalisierung der Einleitstelle. Weiterhin wird versucht, aus der Ausbreitungsfahne der Temperaturdifferenz einen Rückschluss auf das zugeflossene Volumen zu ziehen.

Für die angenommenen Temperaturdifferenzen wird davon ausgegangen, dass der Basisabfluss bzw. auch die Atmosphäre eines trockenen Kanals in der Regel Temperaturen um etwa 10 °C aufweisen. Abb. 22 zeigt Bodentemperaturen in Abhängigkeit von Bodentiefe und Jahreszeit. Grundsätzlich lässt sich aus der Grafik ableiten, dass die kältere Jahreszeit günstiger für eine DTS-Messung ist, da hier von der Bodentemperatur die größeren Temperaturdifferenzen gegenüber der Einleitung zu erwarten sind.

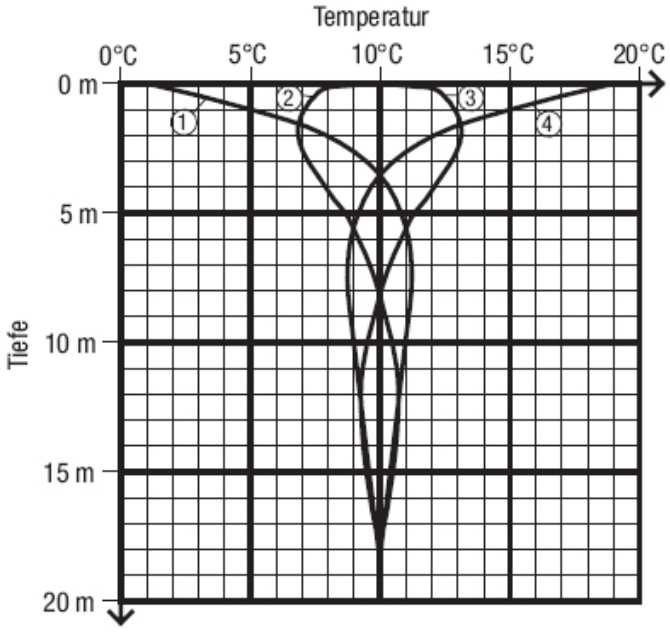


Abb. 22: Jahrestemperaturniveau in verschiedenen Bodentiefen (Linie 1 = Februar, Linie 2 = Mai, Linie 3 = November, Linie 4 = August) (Rehau, 2013)

4.4.2 Temperaturspezifische Sensitivität des Kabels

Maßgeblich für die grundsätzliche Detektierbarkeit sind die Größe und Dauer der resultierenden Temperaturänderung. In Kapitel 4.3.1 sind Einflussfaktoren auf diese beiden Parameter genannt. Daher ist es nicht möglich, ein typisches Abflussgeschehen zu prüfen, sondern es wurde versucht, eine Bandbreite möglicher Szenarien abzuprüfen, um Ergebnisse

aus Feldmessungen möglichst exakt einordnen zu können. Grundsätzlich wurde in zwei Szenarien unterschieden:

- Der öffentliche Kanal führt zum Zeitpunkt der Einleitung kein Wasser. Das Kabel misst die durch die Kanalatmosphäre und die Kanalsohle beeinflusste Umgebungstemperatur.
- Im öffentlichen Kanal liegt ein Basisabfluss vor. Der Basisabfluss entsteht beispielsweise durch Drainageeinleitungen oder infiltriertes Grundwasser.

Zunächst wurden die Messungen ohne Basisabfluss durchgeführt. Den Messungen ohne Basisabfluss liegt die Überlegung zugrunde, dass ein Mindestdurchfluss für Armaturen wie an Waschtischen oder Spülbecken von 0,07 l/s gegeben sein muss (DIN 1988-300). Für alle anderen Wasserentnahmestellen liegt ein höherer Mindestabfluss vor. Tab. 3 gibt einen Überblick. Der Mindestabfluss kann jedoch nur bedingt für die Untersuchung herangezogen werden, da dieser beispielsweise im Fall eines gefüllten Spülbeckens oder einer gefüllten Badewanne nicht dem tabellierten Zufluss entspricht.

Tab. 3: Übliche Volumenströme (nach DIN 1988-300) und Volumen sowie Temperaturen von sanitären Entwässerungsgegenständen

Entwässerungs-gegenstand	Volumen-strom in l/s	Typisches Volumen in l	Typische Temperatur in °C
Toilettenspülung	-	3 - 9	10 - 20 °C
Waschtisch	0,07	-	10 - 60 °C
Dusche	0,15	etwa 40	37 °C
Badewanne	0,15 (Zufluss)	etwa 120	37 °C
Spülmaschine	-	7 - 13	50 - 70 °C
Waschmaschine	-	45 - 70	30 - 90 °C

Eine Toilettenspülung hat i.d.R. ein Volumen von 6 l. Dieses wird zwar innerhalb weniger Sekunden freigesetzt, erfährt jedoch über die Fließstrecke zur Einleitung eine Verzögerung, so dass sich die Abflusswelle abflacht. In der Laboranlage wurde die Fließzeit einer 6 l-Spülung untersucht. Hiernach wurde eine Abflusszeit der „Toilettenspülung“ von 90 s für die Untersuchung in der Laboranlage festgelegt.

Der Volumenstrom der Toilettenspülung liegt damit bei ca. 0,07 l/s und repräsentiert so auch gleichzeitig den kleinesten Mindestabfluss von Waschtischen und Spülbecken. Das untersuchte Szenario ist somit die am schwersten zu erfassende Einleitung (Tab. 2). Es wird davon ausgegangen, dass für alle anderen Szenarien schon wegen der höheren Temperaturdifferenz eine deutlich bessere Messbarkeit gegeben ist.

Nach dem Start einer einzelnen Untersuchung wurde zunächst über einen Zeitraum von 60 s ohne Einleitung gemessen. Nach Ablauf dieser Zeit wurde über einen Zeitraum von 90 s eingeleitet. Abb. 23 zeigt eine Detailaufnahme von einer Einleitung bei Basisabfluss im Kanal.

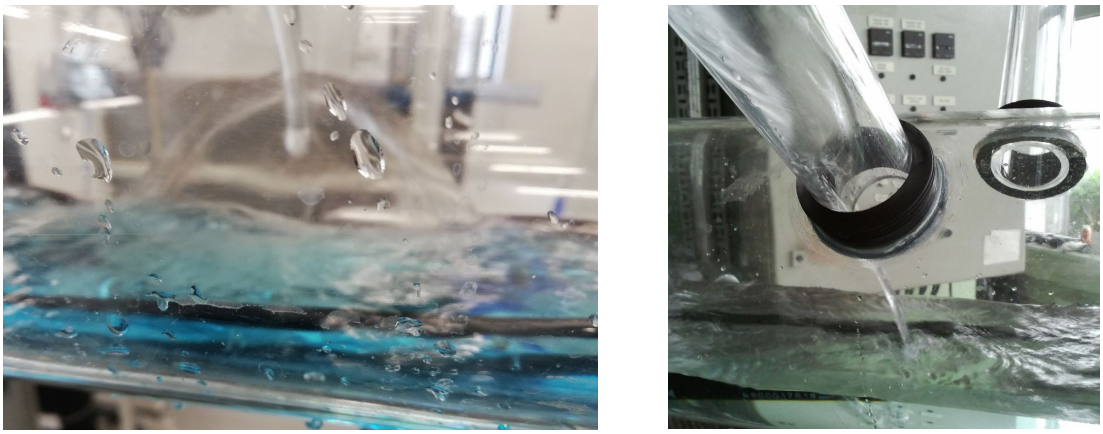


Abb. 23: Einleitung mit Basisabfluss (linkes Bild: zwei Kabel liegen auf der Kanalsohle)

Eine typische Temperatur-Differenz zwischen dem Abfluss im Kanal und der Einleitung war für hierbei nicht festzustellen. Das am schwierigsten zu detektierende Szenario ist die Toilettenspülung. Hier kann sich das Wasser im Spülkasten über Nacht oder im Tagesverlauf aufgrund der Temperatur im Gebäude auf etwa 20 °C erwärmen. Die Leitung und die Umgebungstemperatur hat in Abhängigkeit von Jahreszeit und Tiefenlage eine Temperatur von etwa 10 °C (Abb. 22). Dies würde zu einer Temperaturdifferenz zwischen Einleitungsabfluss und Kanalabfluss von 10 °C führen. Auf der Fließstrecke zum Regenwasserkanal kühlt sich der Abfluss in der Regel ab. Die Größenordnung der Abkühlung hängt stark von den örtlichen Bedingungen ab. Um ein breites Spektrum darzustellen, wurden daher Prüfbedingungen entsprechend Tab. 4 festgelegt. Der seitliche Zufluss wurde in Kämpferhöhe eingeleitet. Das Kabel war im Solbereich verlegt.

Tab. 4: Prüfbedingungen für die Untersuchungen des Messverhaltens ohne Basisabfluss

Nr. der Messung	Zufluss in l/min	Messzeitraum bis zum Start der Einleitung in s	Dauer der Einleitung in s	Differenz zur Umgebungstemperatur in °C
1	4	60	90	2
2				4
3				6

Für die Messungen mit Basisabfluss wurden andere Prüfbedingungen festgelegt. Hier spielt der Basisabfluss eine maßgebende Rolle. Dieser wurde für die Untersuchungen auf den fünffachen Volumenstrom des Zuflusses festgelegt. Die geprüften Temperaturdifferenzen zwischen Basisabfluss und Einleitung, die Volumenströme, sowie die theoretisch resultierenden Temperatur im Abfluss nach der Durchmischung von Einleitungs- und Basisabfluss enthält Tab. 5. Angegeben ist die durch Mischungsrechnung ermittelte theoretische Temperatursteigerung. Die Temperaturdifferenz zwischen Zufluss und Basisabfluss wird von 2 °C bis auf 10 °C gesteigert.

Tab. 5: Versuchsbedingungen für die Untersuchung des Messverhaltens <u>mit</u> Basisabfluss

Nr. der Messung	Basis-abfluss in l/min	Zu-fluss in l/min	Messzeitraum bis zum Start der Einleitung in s	Dauer der Einleitung in s	Temp.-Differenz in °C	berechnete Temperatur-steigerung in °C
1	20	4	60	90	2	0,33
2					4	0,66
3					6	0,99
4					8	1,33
5					10	1,66

Für die Untersuchungen sowohl ohne und mit Basisabfluss wurde ein etwa 18 m langes Teilstück des insgesamt 1200 m langen Kabels in die Versuchsanlage eingebaut. Die Einleitung erfolgt im Abstand von 250,0 m zum DTS-Computer (Station 250 m). Der über die Kabelstrecke ermittelte Temperaturverlauf sollte im Abstand von jeweils einem Meter über

eine Strecke von 4 m nach der Einleitung erfasst werden. Die Temperaturerfassung des DTS-Systems erfolgte in einem Abstand von jeweils 0,15 m. Die nächsten Messpunkte im Bereich der Einleitung lagen auf einer Kabelstrecke zwischen 249,9 m und von 250,05 m. Somit wurden die Temperaturen an folgenden Messpunkten (Stationen) erfasst:

- 250,05 m (249,9 m + 0,15 m) in unmittelbarer Nähe zur Einleitung bei 250,05 m
- 251,10 m (nächste Messstelle zu 251,0 m)
- 252,00 m
- 253,05 m (nächste Messstelle zu 253,0 m)
- 253,95 m (nächste Messstelle zu 254,0 m)

4.4.3 Bedingungen ohne Basisabfluss

Bei den Messungen ohne Basisabfluss wurde das Kabel im Sohlbereich verlegt. In diesem Fall misst das Kabel eine Temperatur die in etwa der Lufttemperatur der Kanalatmosphäre entspricht. Für die Versuchsdurchführung wurde die Raumtemperatur außerhalb der Versuchsanlage aus Acrylglas in unmittelbarer Nähe zur Einleitung mit einem Temperaturfühler (PT 100) erfasst.

Die erste Messung wurde bei einer Raumtemperatur (außerhalb des Kanals) von 21,6 °C durchgeführt. Die mit dem auf der Kanalsohle verlegten Kabel ermittelte Ausgangstemperatur schwankt in einem Bereich von 22 °C bis 22,5 °C. Damit entspricht die Differenz der mit dem Kabel ermittelten Temperatur zur Raumtemperatur 0,4 bis 0,9 °C.

Das zufließende Wasser wurde auf 23,6 °C erwärmt (ΔT = 2 °C). Über einen Zeitraum von 90 Sekunden wurden 4 l/min eingeleitet. Abb. 24 zeigt den Temperaturverlauf über den Zeitraum der Messung im Bereich der Einleitungsstelle (bei 250,05 m) sowie für vier stromabwärts im Abstand von ca. 1 m liegende Messpunkte. Die mit dem DTS-System gemessene Temperaturdifferenz lag im Maximum bei 1,8 °C. Mit zunehmender Entfernung vom Einleitungspunkt nahm die Temperatur zu und erreichte nach ca. 4 m (Station 253,95) ein Maximum. Im weiteren Streckenverlauf nahm die Temperatur dann wieder ab.

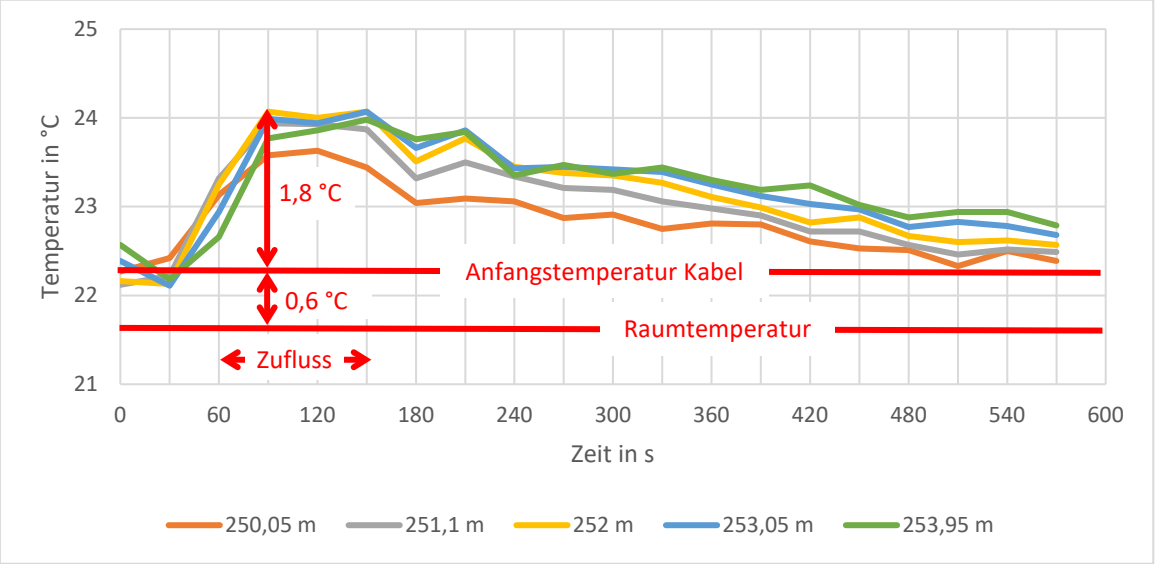


Abb. 24: Temperaturverlauf bei einer Einleitung über 90 s (ΔT = 2 °C) ohne Basisabfluss im Bereich 250,05 m

Die zweite Messung wurde bei einer Raumtemperatur von 23,0 °C und mit einer Zuflusstemperatur von 27 °C durchgeführt (ΔT = 4 °C). Über einen Zeitraum von 90 Sekunden wurden 4 l/min eingeleitet. Abb. 25 zeigt den Temperaturverlauf über den Zeitraum der Messung für die Stelle der Einleitung sowie für die vier stromabwärts liegenden Messpunkte. Die gemessene Temperaturdifferenz lag im Maximum bei 3,6 °C. Die Abweichung der unter Anfangsbedingungen mit dem Kabel erfassten Temperatur zur Raumtemperatur lag bei etwa 0,8 °C.

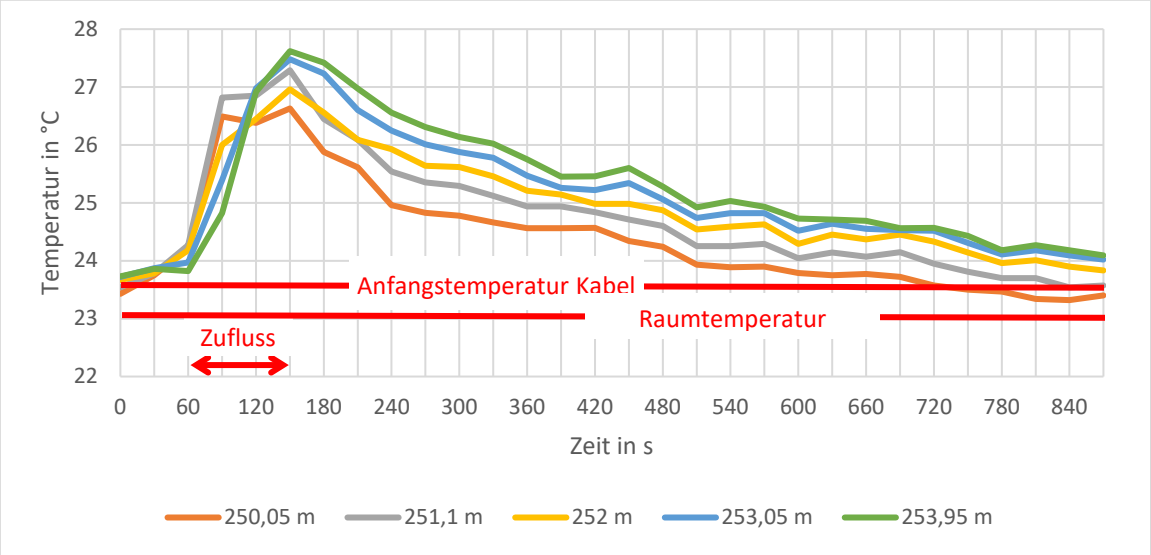


Abb. 25: Temperaturverlauf bei einer Einleitung über 90 s (ΔT = 4 °C) ohne Basisabfluss im Bereich 250,05 m

Die dritte Messung wurde bei einer Raumtemperatur von 23,2 °C und einer Zuflusstemperatur von 29,2 °C durchgeführt (ΔT = 6 °C). Der Zufluss wurde auf 4 l/min eingestellt und erfolgte über einen Zeitraum von 90 Sekunden. Abb. 26 zeigt den Temperaturverlauf über die Zeit der Messung für die Stelle der Einleitung sowie für vier stromabwärts liegende Messpunkte. Die maximal gemessene Temperaturdifferenz lag bei 5,5 °C etwa 2 m hinter der Einleitung. Die Abweichung der unter Anfangsbedingungen mit dem Kabel erfassten Temperatur zur Raumtemperatur lag bei etwa 1,2 °C.

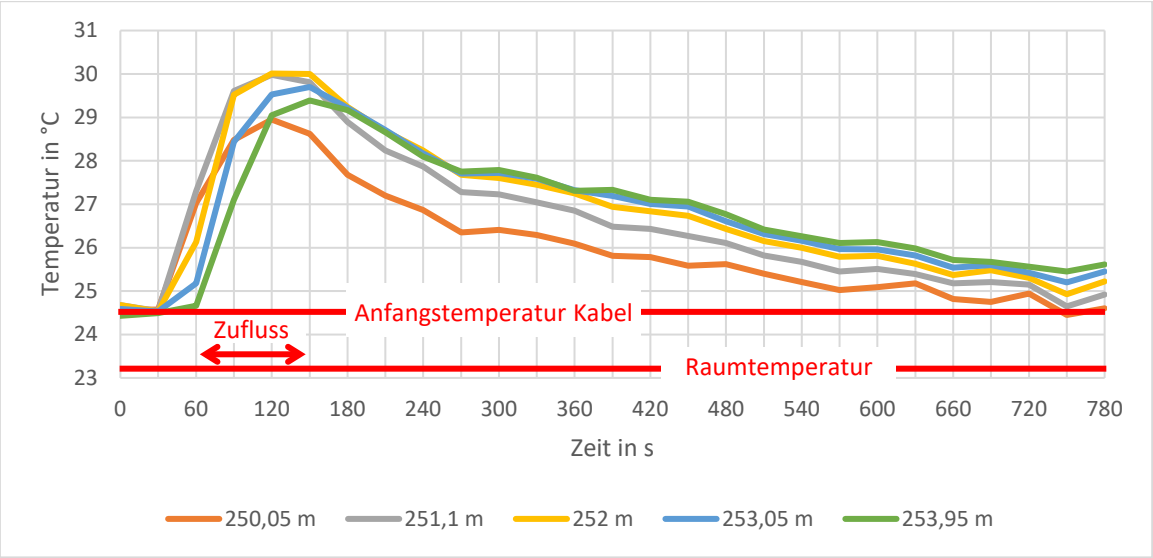


Abb. 26: Temperaturverlauf bei einer Einleitung über 90 s (ΔT = 6 °C) ohne Basisabfluss im Bereich 250,05 m

4.4.4 Bedingungen mit Basisabfluss

Für die Versuche wurde ein Basisabfluss von 20 l/min angestrebt. Aufgrund der eingeschränkten Regelbarkeit der Kreiselpumpe schwankten die Abflüsse zwischen 17,8 l/min und 20,1 l/min. Die gemessenen Versuchsbedingungen und die daraus resultierende theoretische sowie die gemessene Temperaturerhöhung für die fünf Versuchsdurchgänge sind in Tab. 6 dargestellt. Wie oben beschrieben, erfolgte die Einleitung im Bereich der Kabellänge von 250,05 m. Die Temperatur wurde neben dem Einleitungsbereich an vier weiteren unterhalb liegenden Messpunkten in einem Abstand von ca. 1 m gemessen.

Tab. 6: Dokumentation der gemessenen Versuchsbedingungen

Versuchs-durchgang	Basisabfluss in l/min	Einleitung in l/min	ΔT Basisab-fluss und Einleitung in °C	Theoretische Temperatur-erhöhung in °C	Maximal gemessene Temperatur-erhöhung in °C
Messung 1	17,8	4,0	2,0	0,37	-
Messung 2	18,0	4,0	4,0	0,72	0,5
Messung 3	19,8	4,0	6,0	1,10	0,6
Messung 4	20,1	4,0	8,0	1,32	0,9
Messung 5	19,3	4,0	10,0	1,72	1,4

Bei der ersten Messung wurde ein Basisabfluss 17,8 l/min mit einer Temperatur von 20,0 °C abgeleitet. Die mit dem Kabel gemessene Temperatur lag um mehr als 1 °C darüber. Der seitliche Zufluss wurde auf 22,0 °C erwärmt (ΔT = 2 °C). Die Einleitung von 4 l/min erfolgte nach einer Vorlaufzeit von 60 s über einen Zeitraum von 90 s. Die resultierende theoretische Temperaturerhöhung des Gesamtabflusses lag bei 0,37 °C.

Abb. 27 zeigt den Temperaturverlauf für diese Messung. Während der Einleitungsphase von 90 s konnte keine eindeutig quantifizierbare Temperaturerhöhung ermittelt werden.

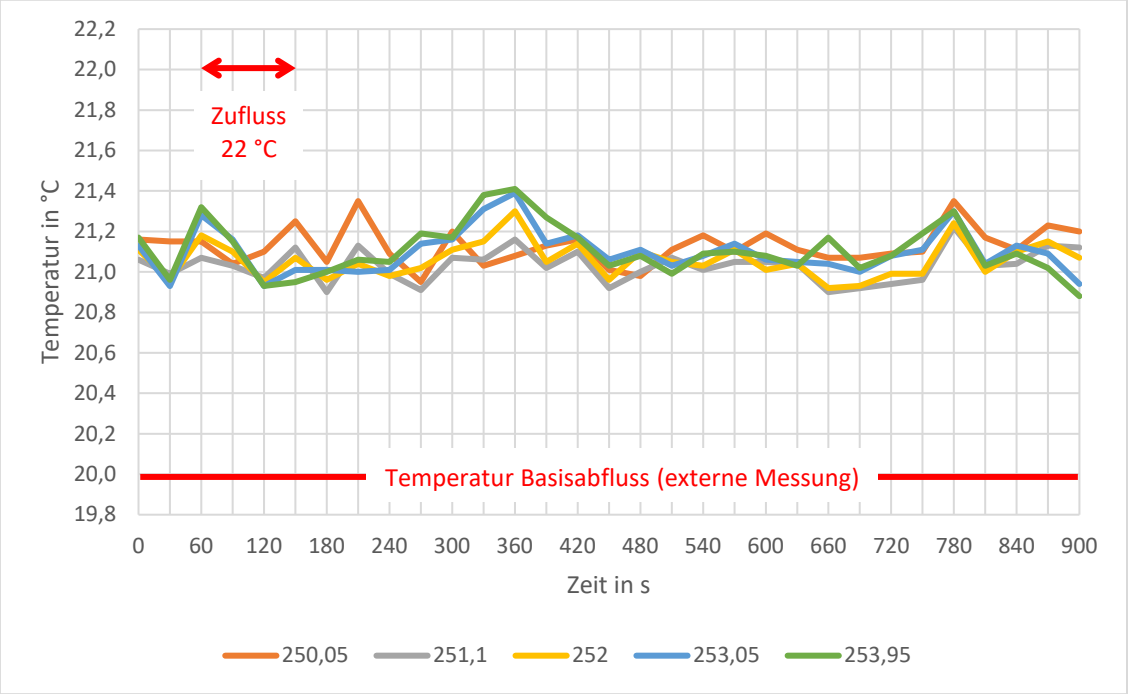


Abb. 27: Temperaturverlauf bei seitlicher Einleitung im Bereich 250,05 über einen Zeitraum von 90 s (ΔT = 2 °C) m bei Basisabfluss

Bei der zweiten Messung lag der Basisabfluss bei 18 l/min und hatte eine Temperatur von 20,5 °C. Die Temperatur der Einleitung wurde auf 24,5 °C (ΔT = 4 °C) eingestellt. Der Volumenstrom von 4 l/min wurde nach einer Vorlaufzeit von 60 s über einen Zeitraum von 90 s eingeleitet. Die resultierende rechnerische Temperaturerhöhung des Gesamtabflusses lag bei 0,72 °C. Abb. 28 zeigt den Temperaturverlauf für diese Messung. Als Folge der Einleitung wurde eine maximale Temperaturerhöhung von ca. 0,5 °C gemessen. Der Temperaturausschlag war ab ca. 3 m hinter der Einleitung am höchsten. Im weiteren Streckenverlauf nahm die Temperatur dann wieder ab.

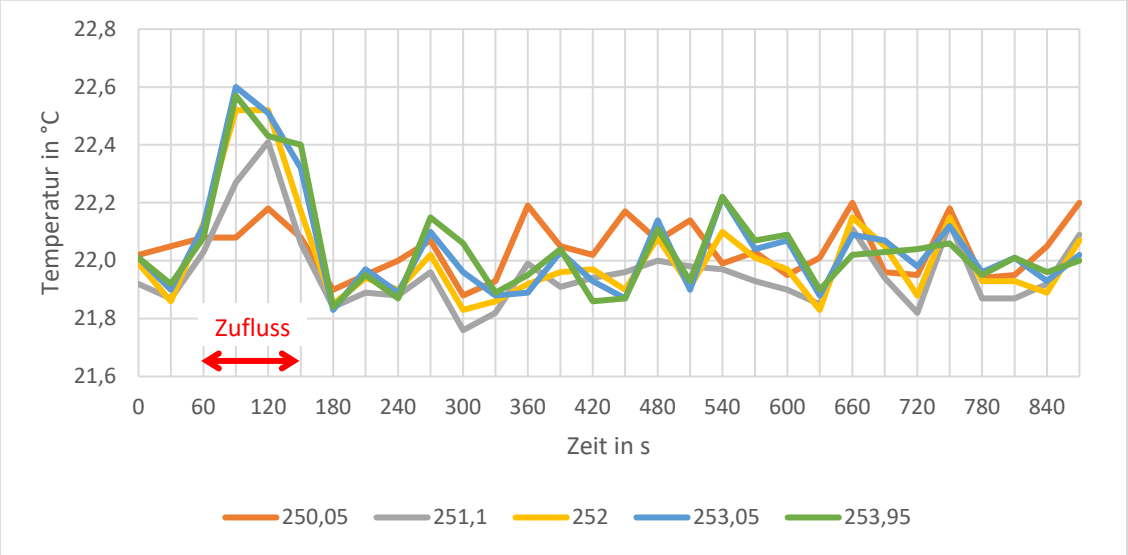


Abb. 28: Temperaturverlauf bei seitlicher Einleitung im Bereich 250,05 über einen Zeitraum von 90 s (ΔT = 4 °C) m bei Basisabfluss

Bei der dritten Messung wurde ein Basisabfluss 19,8 l/min mit einer Temperatur von 21,2 °C abgeleitet. Die Temperatur der Einleitung wurde auf 27,2 °C eingestellt (ΔT = 6 °C). Der Volumenstrom von 4 l/min wurde nach einer Vorlaufzeit von 60 s über einen Zeitraum von 90 s eingeleitet. Die resultierende theoretische Temperaturerhöhung des Gesamtabflusses lag bei ca. 1,1 °C. Abb. 29 zeigt den Temperaturverlauf für diese Messung. Die maximale ermittelte Temperaturdifferenz lag bei ca. 0,6 °C. Der maximale Temperaturausschlag war 3 m und 4 m hinter der Einleitstelle zu erkennen.

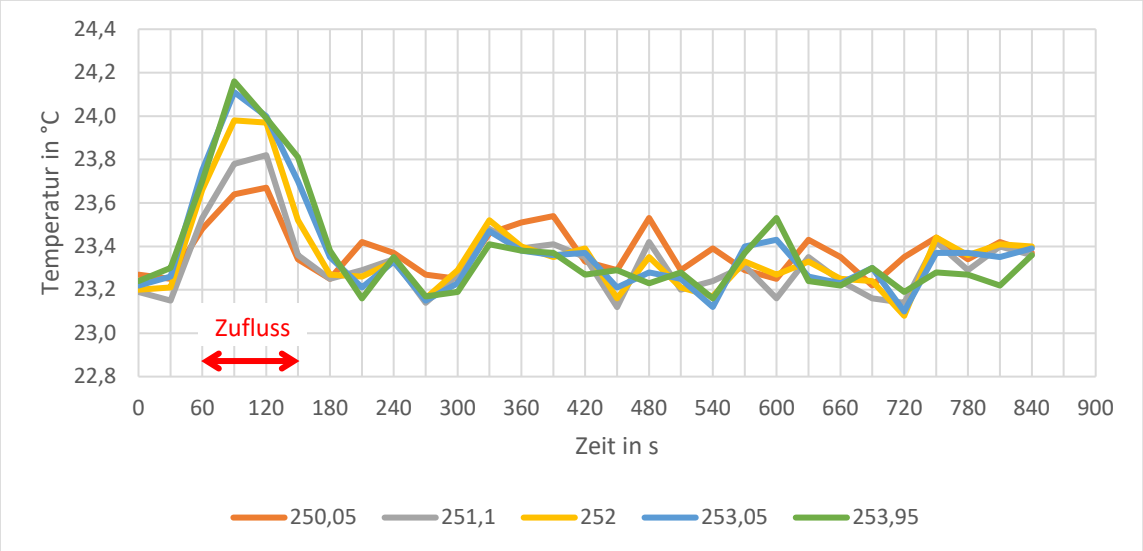


Abb. 29: Temperaturverlauf bei seitlicher Einleitung im Bereich 250,05 über einen Zeitraum von 90 s (ΔT = 6 °C) m bei Basisabfluss

Bei der vierten Messung wurde ein Basisabfluss 20,1 l/min mit einer Temperatur von 21,6 °C abgeleitet. Die Temperatur der Einleitung wurde auf 29,6 °C eingestellt (ΔT = 8 °C). Es wurde ein Volumenstrom von 4 l/min nach einer Vorlaufzeit von 60 s über einen Zeitraum von 90 s eingeleitet. Die resultierende theoretische Temperaturerhöhung des Gesamtabflusses lag bei 1,32 °C. Abb. 30 zeigt den Temperaturverlauf für diese Messung. Als Folge der Einleitung wurde eine maximale Temperaturerhöhung von ca. 0,9 °C gemessen. Der Temperaturausschlag war 4 m hinter der Einleitung am höchsten.

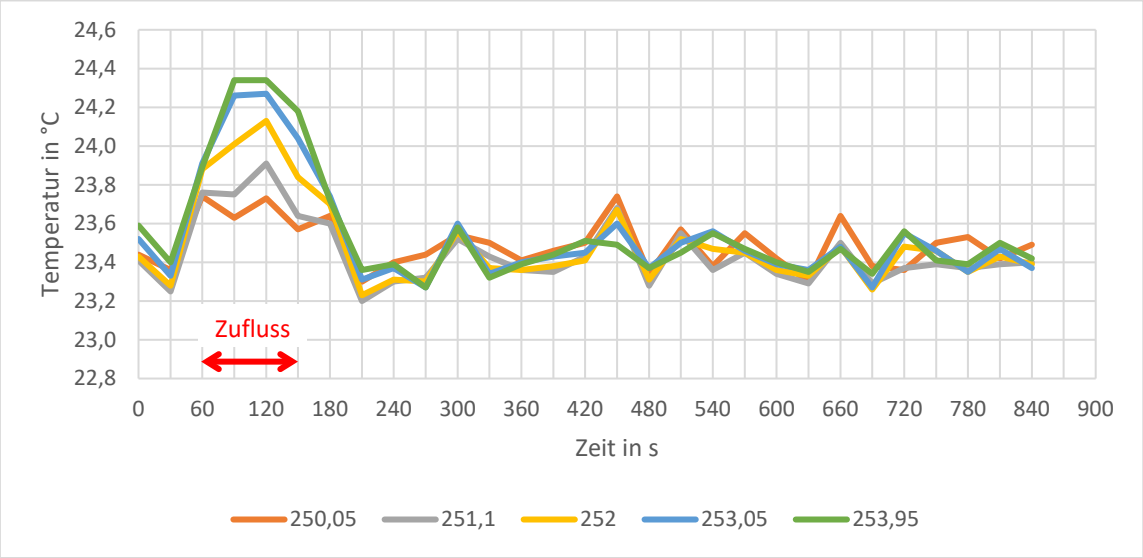


Abb. 30: Temperaturverlauf bei seitlicher Einleitung im Bereich 250,05 über einen Zeitraum von 90 s (ΔT = 8 °C) m bei Basisabfluss

Bei der vierten Messung wurde ein Basisabfluss 19,3 l/min mit einer Temperatur von 22,3 °C abgeleitet. Die Temperatur der Einleitung wurde auf 32,3 °C eingestellt (ΔT = 10 °C). Der Volumenstrom von 4 l/min und wurde nach einer Vorlaufzeit von 60 s über einen Zeitraum von 90 s eingeleitet. Die resultierende theoretische Temperaturerhöhung des Gesamtabflusses lag bei 1,72 °C. Abb. 31 zeigt den Temperaturverlauf für diese Messung. Als Folge der Einleitung wurde eine maximale Temperaturerhöhung von ca. 1,4 °C gemessen. Der Temperaturausschlag war ca. 3 m und 4 m hinter der Einleitung am höchsten.

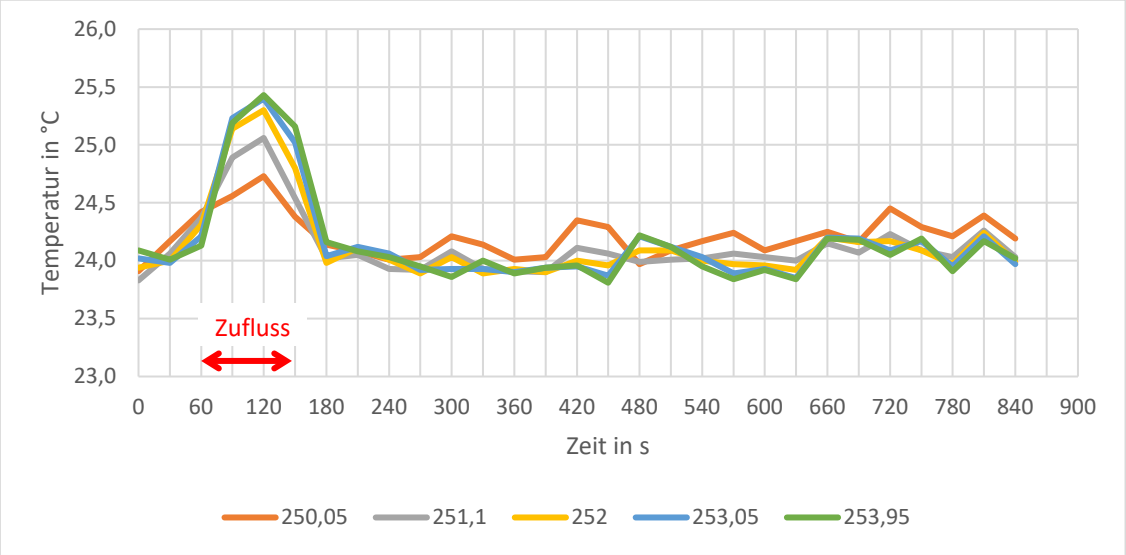


Abb. 31: Temperaturverlauf bei seitlicher Einleitung im Bereich 250,05 über einen Zeitraum von 90 s (ΔT = 10 °C) m bei Basisabfluss

4.4.5 Interpretation der Ergebnisse zum temperaturspezifischen Ansprechverhalten

Bei allen Messungen konnte durchgängig eine Abweichung zwischen der mit dem Kabel gemessenen Temperatur und der Umgebungstemperatur festgestellt werden. Die mit dem Kabel gemessene Temperatur lag in der Regel um 0,6 bis 1,2 °C über der mit einem externen Temperaturfühler ermittelten Umgebungstemperatur. Diese Abweichung ließe sich durch eine Off-set-Kalibrierung deutlich reduzieren. Da die exakte Erfassung der Temperatur jedoch für diese Untersuchungen nicht relevant war, wurde auf eine Kalibrierung verzichtet.

Bei der Messung ohne Basisabfluss lag die mit dem Kabel gemessene Temperatur tendenziell unter der vorhandenen Temperaturdifferenz zwischen der Zuleitung und der Umgebungstemperatur. Die Abweichung nahm mit steigender Temperaturerhöhung zu. So zeigte sich bei einer erwarteten Temperaturänderung von ΔT = 2 °C ein gemessener maximaler Temperaturausschlag von 1,8 °C. und bei ΔT = 6 °C ein gemessener Temperaturausschlag von 5,5 °C. Die Abweichungen von 0,2 °C bis 0,5 °C sind vermutlich nicht auf systembedingte Messfehler, sondern maßgeblich auf Energieverluste im System zurückzuführen. So erwärmt das Wasser zunächst die Rohrleitung sowie die Umgebungsluft und das Kabelmaterial selbst.

Bei der Messung mit Basisabfluss wurden ebenfalls geringere Temperaturen gemessen, als berechnet. Es wurde jedoch kein eindeutiges Muster der Abweichungen zwischen der be-

rechneten und der gemessenen Temperaturänderung deutlich. Die Messdifferenz lag zwischen 0,22 °C und 0,5 °C (Tab. 5). Insgesamt zeigt sich, dass auch bei konstanter Temperatur die Messwerte eine hohe Varianz aufweisen. Abb. 32 veranschaulicht diesen Sachverhalt. Die Temperatur schwankte um etwa 0,2 °C um den Messwert. Gleichzeitig ist die hier theoretisch ermittelte resultierende Temperaturerhöhung von 0,37 °C nicht zu erkennen. Wird vorausgesetzt, dass auch bei dieser Messung die Verluste im System zu einer geringeren gemessenen Temperatur von mindestens 0,2 °C führen, so liegt die verbleibende zu messende Temperaturerhöhung bei 0,17 °C. Eine so geringe Temperaturerhöhung wäre jedoch bedingt durch Schwankungsbreite um den Messwert auch nicht auszuwerten.

Bereits Messung 2, mit einer theoretisch resultierenden Temperaturerhöhung von 1,1 °C, zeigt dagegen eine sehr gute Detektierbarkeit. Sowohl in den Messdaten als auch in der grafischen Auswertung ist die Einleitung gut zu erkennen. Abb. 30 zeigt die grafische Auswertung von Messung 2 (mit Basisabfluss).

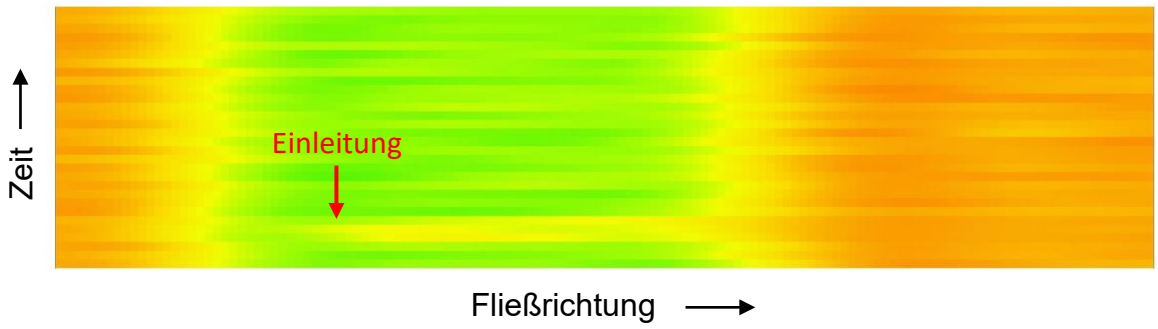


Abb. 32: Grafische Auswertung der Messung 2 mit Basisabfluss

Temperaturdifferenzen von über 0,7 °C werden unter Praxisbedingungen sehr wahrscheinlich gut auszuwerten sein. Die Detektierung hängt auch vom Aufwand bei der Auswertung ab. Mit höherer räumlicher und zeitlicher Auflösung sind die Temperaturänderungen genauer zu erkennen, aber auch der Aufwand nimmt proportional zu. Je deutlicher die Temperaturdifferenz, um so einfacher ist grundsätzlich die Detektierbarkeit.

Die Messungen ohne Basisabfluss zeigen Temperaturdifferenzen, die eine Einleitung deutlich erkennen lassen. Abb. 33 zeigt die Messung bei einem im Vergleich zur Umgebungstemperatur um 4 °C wärmeren Zufluss ohne Basisabfluss (Messung 2), der deutlich zu erkennen ist. Bei Basisabflüssen, beispielsweise durch Fremdwasser, die im ähnlichen Temperaturbereich wie die Einleitungen liegen, werden die Messungen erschwert. Allerdings zeigen die Untersuchungen, dass bereits geringe Temperaturabweichungen sicher erfasst

werden können. Die Messergebnisse und die grafische Auswertung veranschaulichen ebenfalls, dass maximale Temperatursteigerungen erst um eine gewisse Strecke hinter der Einleitung zu erkennen sind. Diese Strecke kann einige Zentimeter bis wenige Meter lang sein

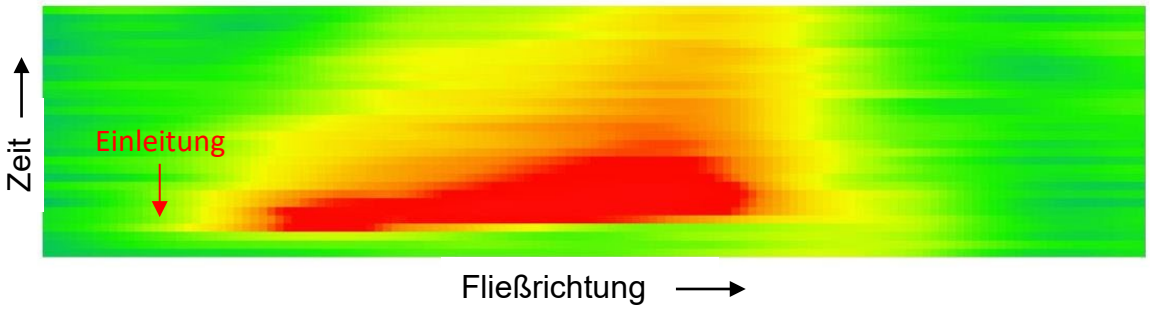


Abb. 33: Grafische Auswertung der Messung 2 ohne Basisabfluss

Bei der Lokalisierbarkeit der Einleitung zeigte sich durchgängig über alle Messungen, dass die maximale Temperaturerhöhung nicht unmittelbar direkt an der Einleitung zu messen ist. Das Temperaturmaximum stellte sich in einem Abschnitt von ca. 2 m bis 4 m nach der Einleitung ein. Dies ist auf verschiedene Gründe zurückzuführen. Zum einen ist die Messung keine Punktmessung, sondern eine zusammengefasste Messung für einen Abschnitt von 15 cm. Das bedeutet, dass auch ein Stück vor und hinter dem Messpunkt zur Temperatur am Messpunkt selbst beiträgt. Weiterhin werden das Kabel und die Rohrstrecke selbst erwärmt. Das Material gibt die Wärme zudem auch weiter. Daher ist davon auszugehen, dass Wärme stromaufwärts von der Einleitung aus, entlang des Kabels abgeführt wird und so auch im unmittelbaren Einleitungsbereich nicht mit dem Temperaturmaximum zu rechnen ist. Den wohl größten Einfluss hat vermutlich die Temperaturverteilung des Abflusses entlang der Strecke. Das Kabel liegt auf der Sohle und die Einleitung wird von oben zu geführt. Um die Temperaturänderung überhaupt messen zu können, muss die Einleitung zunächst mit dem Basisabfluss vermischt werden. Mit zunehmender Durchmischung ist daher zunächst mit einem Temperaturanstieg zu rechnen. Mit weiter zunehmender Strecke dann jedoch mit einer Abkühlung des Abflusses durch Wärmeverluste an die Umgebung.

Diese Verschiebung ist bei der Auswertung zu berücksichtigen. Es ist davon auszugehen, dass sich in Abhängigkeit von Fließgeschwindigkeit und Basisabfluss das Temperaturmaximum noch weiter nach hinten verschiebt.

Insgesamt zeigen die Untersuchungsergebnisse eine gute Detektierbarkeit von Zuflüssen. Voraussetzung ist jedoch, dass die resultierende Temperaturerhöhung durch die Einleitung

über der Schwankungsbreite der Messung (etwa 0,2 °C) liegt. Für typische Einleitszenarien wird dies in der Regel der Fall sein. Lediglich Einleitungen die nur aus einer Kaltwasserquelle stammen oder eine entsprechend lange Fließstrecke durchlaufen, würden möglicherweise nicht detektiert werden. Alle anderen Szenarien sind, abhängig vom Aufwand bei der Auswertung, gut detektierbar.

4.5 Einfluss der Steckverbinder auf mögliche Signaldämpfungen

Die Aufteilung der Messstrecke in mehrere Kabelstücke vereinfacht den Einsatz der Messtechnik im Kanalsystem deutlich. Jede weitere Verbindung führt jedoch auch immer zu einer Abschwächung des Messsignals (Dämpfung). Daher ist die Qualität der Verbindung ausschlaggebend für die Umsetzbarkeit. Der Einfluss und die Möglichkeiten der Steckverbinder sollten im Rahmen dieser Untersuchung quantifiziert werden.

Im unmittelbaren Bereich der Verbindung ist der „Messfehler“ so groß, dass hier eine Messung nicht stattfinden kann. Hier ist ein entsprechend langes Kabelsegment vor und hinter der Verbindung nicht zur Messung geeignet. Die Länge der fehlerbehafteten Strecke in Abhängigkeit von der Güte der Verbindung soll in dieser Untersuchung ebenfalls betrachtet werden.

Abb. 34 zeigt den Verlauf der Signaldämpfung über eine Messstrecke von 1200 m. Das Kabel ist in vier Teilstücke unterteilt. Diese sind im Abstand von 300 m mit einem Verbinder gekoppelt (300 m, 600 m, 900 m).

Die Messung verdeutlicht, dass die Güte der Verbindungen sehr unterschiedlich ist. Gerade der erste Verbinder zeigt einen massiven Ausschlag in der Dämpfungskurve. Die zweite Verbindung ist so gut hergestellt worden, dass hier auf den ersten Blick praktisch kein Verlust durch die Verbindung erkennbar ist. Die erste Verbindung führte zu einer Dämpfung des Signals von etwa 0,2 dB, dass entspricht dem gleichen Signalverlust einer Messtrecke von etwa 120 m. Dieser Verlust kann aber insgesamt als gering bewertet werden.

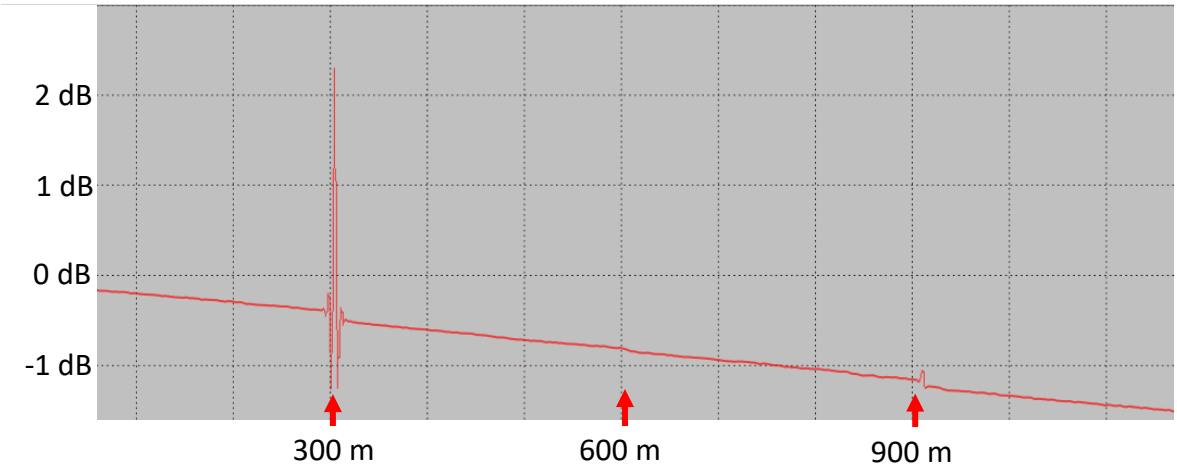


Abb. 34: Dämpfungsverlauf über die Kabellänge von 1200 m mit Verbindern bei 300 m sowie 600 m und 900 m

Die Verbindung führt nicht nur zu einer Signaldämpfung, sondern auch zu einem Messfehler im unmittelbaren Bereich der Verbindung. In diesem Bereich können die Daten der Messung nicht ausgewertet werden. Abb. 35 zeigt die Auswertung einer Messung mit drei Steckverbinder (wie oben beschrieben). Es sind deutliche Verfärbungen und damit Temperaturabweichungen, im Bereich der Steckverbinder bei 300 m und bei etwa 900 m zu sehen. Bereits in dieser Darstellung wird deutlich, dass der Messfehler durch die Verbindung mit der schlechtesten Güte den größten Temperaturausschlag zeigt und gleichzeitig auch über die größte Distanz zu erkennen ist. Abb. 36 zeigt den Einfluss des Verbinders bei 300 m detailliert. Durch den Verbinder im Bereich 300 m (Kabellänge) wird der Messbereich von 290 m bis etwa 320 m durch die Verbindung beeinflusst. Damit sind 30 m, also 10 % der Länge des Kabelabschnitts, für die Messung nicht zu nutzen. Bei dem zweiten Verbinder (600 m) werden etwa 5 m der Messstrecke beeinflusst. An der dritten Verbindungsstelle bei 900 m ist eine Kabelstrecke von etwa 20 m nicht für die Messung zu nutzen.

Eine Messung mit Steckverbindern ist grundsätzlich möglich. Jedoch muss berücksichtigt werden, dass die nutzbare Kabellänge durch jeden Verbinder um etwa 10 % reduziert wird. Gleichzeitig führt jeder Connector zu einer Signalabschwächung, die aber maßgeblich von der Güte der Verbindung abhängt. Die Verbindung ist daher unbedingt qualitativ sehr hochwertig auszuführen. Je länger die gewählte Messstrecke ist, desto weniger Verbindungsstücke sollten vorgesehen werden.

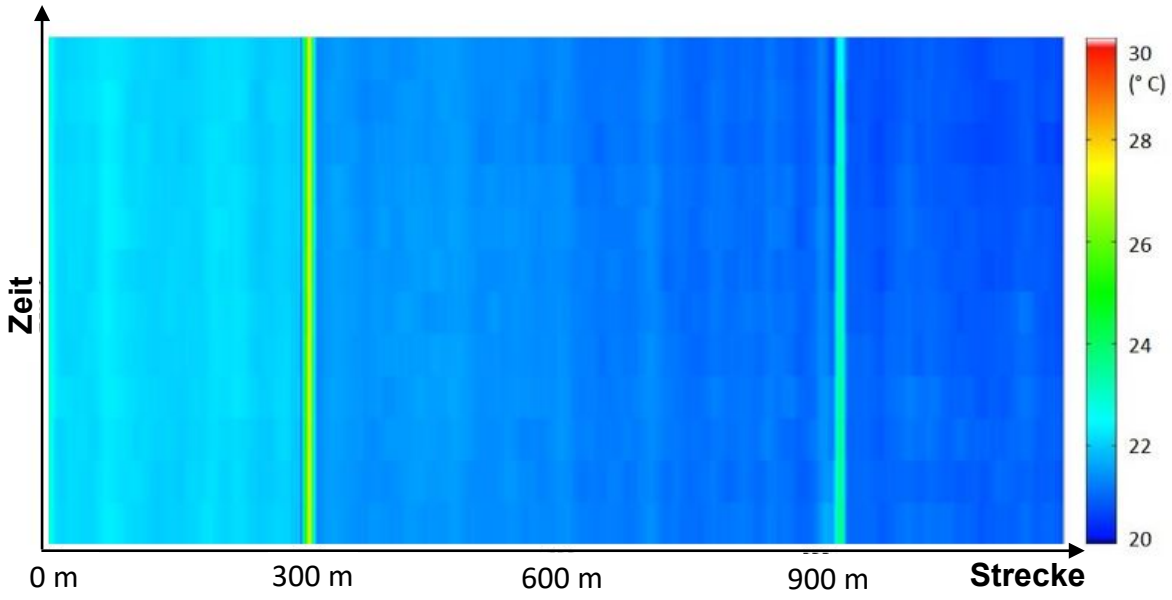


Abb. 35: Farbverlaufskarte bei einer Messung mit konstanter Temperatur mit Darstellung der Messfehler durch Steckverbinder bei ca. 600 m und 900 m

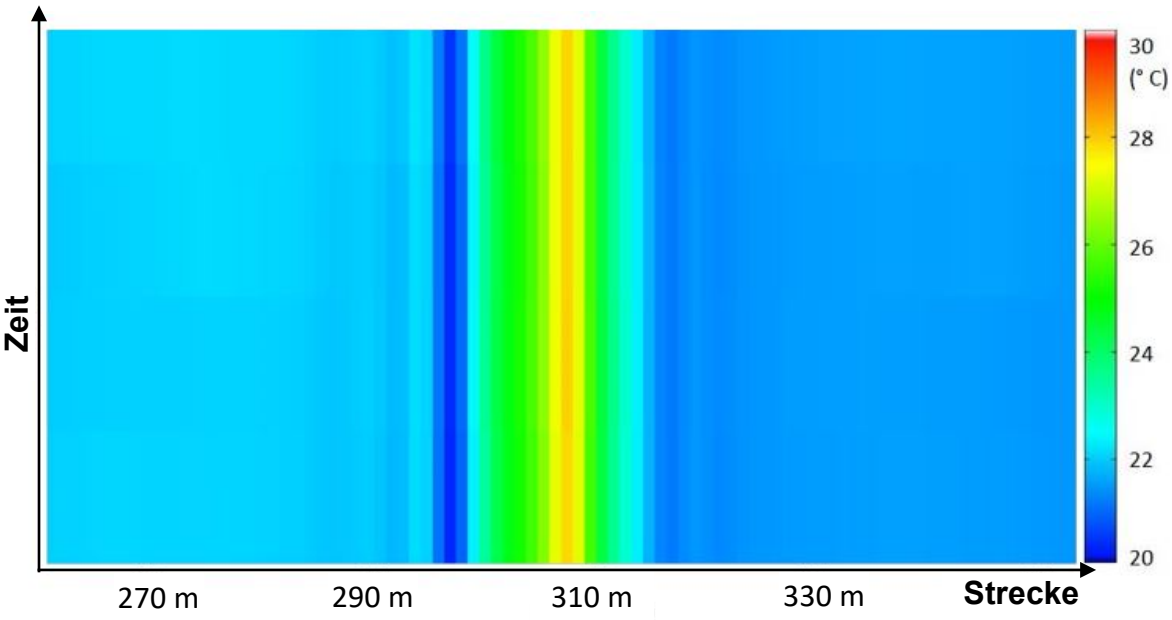


Abb. 36: Detailansicht des Temperaturverlaufs im Bereich des Verbinders bei 300 m

Alle drei Verbindungen (insgesamt sechs Spleißverbindungen, da zwei pro Stecker) wurden von der gleichen Firma mit dem gleichen Gerät durchgeführt. Dies zeigt, dass auch unter gleichbleibenden Bedingungen eine unterschiedliche Qualität der Verbindung möglich ist.

Der Kabelabschnitt um die Verbindung kann in der notwendigen Länge im Kanal aufgewickelt werden. Dieser Bereich wird bei der Messung dann nicht berücksichtigt. Daher sollte

im Vorfeld einer Messung die Qualität jeder einzelnen Verbindung geprüft und so die optimale Anordnung im Kanalnetz geplant werden.

4.6 Einfluss der Kabellänge auf das tempertaturspezifische Ansprechverhalten

Mit steigender Kabellänge erhöht sich die Dämpfung des Messsignals. Ebenso führen Verbindungen der Kabel mit dem Messgerät, sowie der Kabelstücke untereinander zu Signalverlusten. Um einen Einfluss auf die Sensitivität über die Strecke zu erhalten, wurde das Testkabel parallel in die Teststrecke eingezogen. Einmal erfolgt die Einleitung nach einer Kabellänge von 250 m und einmal bei 1179,6 m. Zwischen den jeweiligen Teststücken lagen zwei Verbinder und ca. 600 m Glasfaserkabel.

Abb. 37 und Abb. 38 zeigen exemplarisch den Temperaturverlauf einer Einleitung bei Basisabfluss an den beiden Einleitungen. Rechnerische wurde eine Temperaturänderung durch die Einleitung von 1,7 °C ermittelt. An der ersten Messstelle wurde eine Temperaturänderung von maximal ca. 1,5 °C gemessen und auch an der zweiten Messstelle konnte dieselbe Temperaturänderung ermittelt werden. Auch hinsichtlich der Änderungen über die Strecke und über die Zeit zeigten beide Messabschnitte einen nahezu identischen Temperaturverlauf.

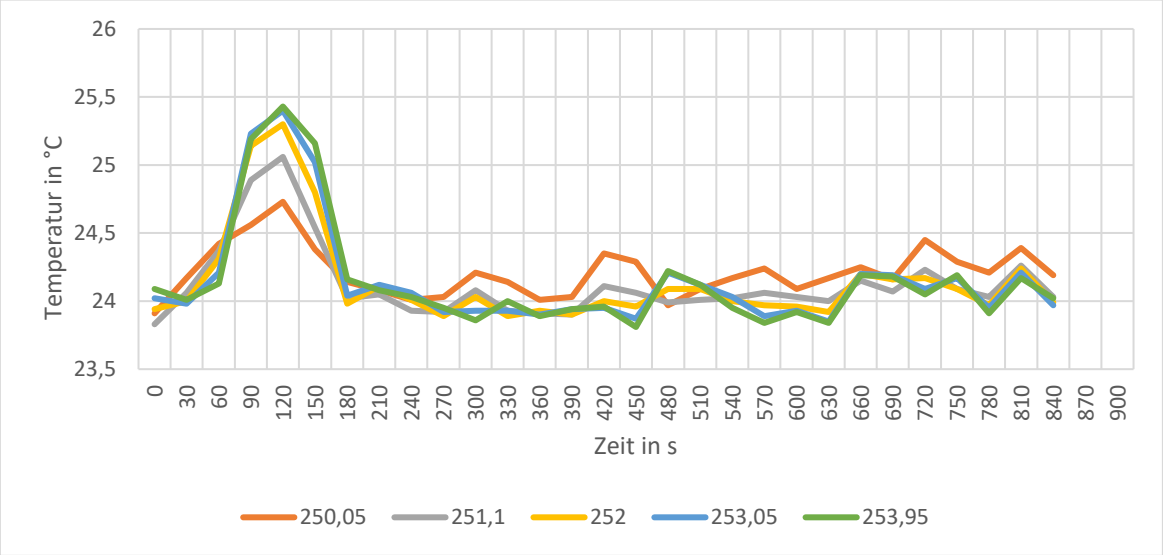


Abb. 37: Temperaturverlauf im Bereich der Einleitung bei 250,0 m

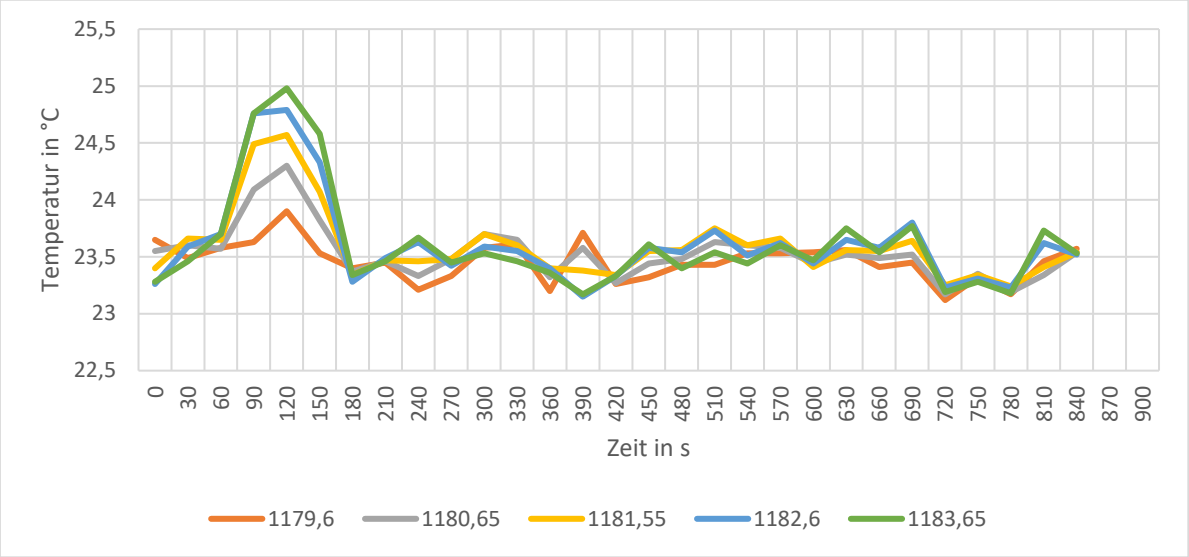


Abb. 38: Temperaturverlauf im Bereich der Einleitung bei 1179,6 m

Der Vergleich wurde auch für Messungen ohne Basisabfluss sowie für weitere resultierende Temperaturänderungen durchgeführt. Insgesamt zeigen die Messungen die Tendenz, dass die Messung auf dem hinteren Kabel etwas weniger sensitiv ist und die Temperaturänderung bei kleinen Differenzen unterschätzt wird. Dieser Zusammenhang lässt sich jedoch nicht objektiv quantifizieren, da bereits die grundsätzliche Schwankungsbreite der Messwerte das Bild verzerrt.

5 Auswahl der Testgebiete und Installation der Messtechnik

5.1 Testgebiete in Wuppertal

5.1.1 Auswahl und Eingrenzung der Testgebiete

Die Auswahl der Testgebiete in Wuppertal erfolgte in Abstimmung mit dem Kanalbetrieb der WSW Energie & Wasser AG. Durch kontinuierliche Untersuchungen im Rahmen der betrieblichen Maßnahmen waren bereits problematische Gebiete bekannt. Die genaue Herkunft der Fehleinleitungen war in unterschiedlichen Bereichen durch bisher eingesetzte Detektionsmethoden jedoch nicht zu ermitteln. Aus insgesamt fünf Gebieten wurden zwei Gebiete für die Untersuchungen ausgewählt. Aufgrund akut auftretender Probleme in einem Gewerbegebiet, wurde auch dieses Gebiet im weiteren Projektverlauf zusätzlich in das Messprogramm aufgenommen.

5.1.2 Testgebiet 1

Im Testgebiet 1 wird das Schmutzwasser in einem Drucksystem entwässert. Das Regenwasser aus dem Einzugsgebiet wird über einen dezentral angeordneten Filterschacht behandelt und anschließend in ein Gewässer eingeleitet. An der Einleitungsstelle wurden in der Vergangenheit wiederholt Hinweise auf Schmutzwassereinleitungen festgestellt (graue Ablagerungen, Geruch). Die bisherigen Recherchen des Kanalbetriebs, die üblicherweise aus optischen Inspektionen und im Abflussquerschnitt fixierte Fanghaken bestehen, blieben erfolglos.

Die Messstrecke lag in einem Wohngebiet mit lockerer Bebauung durch Ein- und Mehrparteienhäuser (Abb. 39). Der untersuchte Regenwasserkanal umfasst zwei Kanalstränge, die in einem Verbindungsschacht (Schacht Nr. 13) in einem spitzen Winkel zusammentreffen und durch einen weiterführenden Kanal an einen Filterschacht angeschlossen sind. Auf einer Länge von rund 828 m werden gemäß den Planunterlagen der WSW die Niederschlagsabflüsse der Dach- und Hofflächen von 29 Häusern in den Kanal eingeleitet. Es gab keine abzweigenden Kanalstränge und nur wenige Knicke entlang der Messstrecke. Mit dem einfachen Verlauf des Kanals, aber der Schwierigkeit des spitzen Winkels im Verbindungsschacht beim Kabeleinzug, eignete sich das Gebiet gut für einen ersten Einsatz der zu verbindenden Teilkabel.

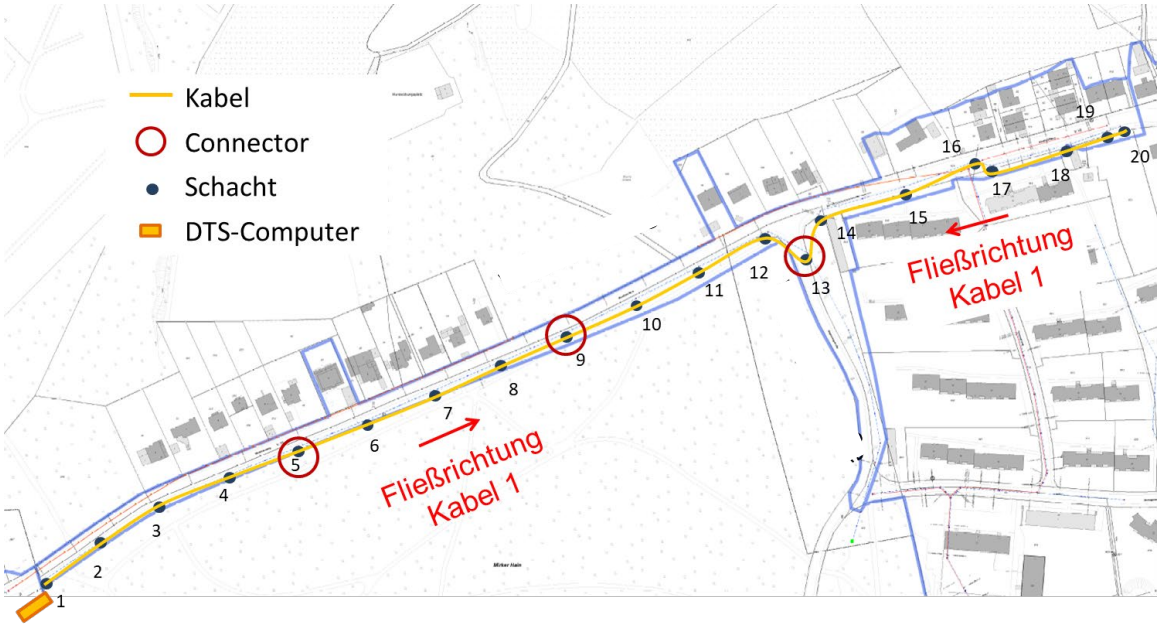


Abb. 39: Lageplan zur DTS-Messung im Testgebiet 1 in Wuppertal

Der DTS-Computer wurde am westlichen Endschacht der Messstrecke aufgebaut, da hier eine direkte Stromversorgung über einen Schaltkasten möglich war (Abb. 40 links). Vom DTS-Computer zum ersten Schacht erfolgte die Verlegung des Kabels unterhalb der Gehwegplatten (Abb. 40 rechts). Auf der gesamten Messstrecke wurden vier Kabelsegmente mit einer Länge von je 300 m verlegt.

Abb. 40: Aufstellungsort DTS-Computer und Einbau des Glasfaserkabels im Testgebiet 1 in Wuppertal (Westen)

Im Umkreis des Einzugsgebiets waren zwei Niederschlagsschreiber im Abstand von je ca. 1,8 km zum Gebiet vorhanden. Die Niederschlagsdaten sind zur Plausibilisierung der durch Niederschlagsabflüsse ausgelösten Temperaturunterschiede im Messzeitraum relevant. Während des Untersuchungszeitraumes wurde eine Niederschlagssumme von 71,6 mm und 75,2 mm gemessen. Die Niederschlagsdaten wurden mit den detektierten Temperaturunterschieden abgeglichen.

Einen Überblick über den Zeitraum der Messung, die verwendeten Kabellängen und den Arbeitsaufwand zur Einrichtung der Messstrecke liefert Tab. 7. Die Messungen wurden im Herbst 2017 über einen Zeitraum von fünf Wochen durchgeführt.

Tab. 7: Messbedingungen im Testgebiet 1 in Wuppertal

Zeitraum der Messung	12.10.2017 bis 16.11.2017 (5 Wochen)
Länge der Messstrecke	828 m
Kabellänge	4 mal 300 m (1200 m)
Arbeitsaufwand zur Einrichtung der Messstelle vor Ort (Kanalbetrieb der WSW sowie Projektmitarbeiter der FH Münster und der Dr. Pecher AG)	15 Stunden

Nach der Vorbereitung der Kabelabschnitte, erfolgte die Einrichtung der Messstrecke vor Ort vom 10.10.2017 bis 12.10.2017. In einem ersten Schritt wurde ein Zugseil in den Kanal eingespült, da bei einem direkten Einspülen der Glasfaserkabel nicht ausgeschlossen werden kann, dass diese sich im Kanal verdrehen bzw. verfangen. Dabei besteht das Risiko eines Kabelbruchs. Der Kabeleinzug wurde anschließend in vier Abschnitten durchgeführt. Aufgrund der Unterteilung konnte jedes Teilkabel mit der Fließrichtung eingezogen und anschließend mit den anderen Teilen verbunden werden. Bei diesem Vorgehen war auch der spitze Winkel im Verbindungsschacht der beiden Kanalstränge (Abb. 41) unproblematisch, da an dieser Stelle die Kabelenden des dritten und vierten Abschnitts aufeinander trafen und mittels Steckverbinder verbunden werden konnten.

Abb. 41: Schacht an einer Kreuzung in dem die beiden Kanäle aus dem Einzugsgebiet in einem spitzen Winkel zusammen laufen

Die Verbindung von zwei Kabelenden erfolgte jeweils innerhalb eines Schachtes. Auf diese Weise war es möglich, die Stecker vor eindringender Nässe weitgehend zu schützen, indem die Kabel im Schacht nach oben geführt und direkt unterhalb der Schachtabdeckung verbunden wurden. Zusätzlich konnte an diesen Stellen die „überschüssige“ Kabellänge der Teilstücke aufgerollt und ebenfalls im Schachthals unter der Abdeckung untergebracht werden (Abb. 42). Das Aufrollen des Kabels über eine Länge von mehreren Metern hat den Vorteil, dass mögliche Störungen durch die Verbindung keinen Einfluss auf das Messergebnis haben, wenn sich der betroffene Kabelabschnitt innerhalb eines Schachtes befindet. Die Kabelverbindungen sind so auch vor eindringendem Wasser geschützt.

Abb. 42: Lagerung einer Kabeltrommel mit aufgerollten Kabelenden im Schachthals unterhalb der Abdeckung (oben) und Einbau der Kabelverbindung (unten)

Zur Ermittlung der genauen Lage der Schächte entlang des Kabels erfolgte eine Längenkalibrierung. Die kalibrierten Kabellängen sind in Tab. 8 den Haltungslängen gegenübergestellt. Außerdem sind Informationen über Haltungsdimensionen, Stutzen sowie angeschlossene Gebäude und die Anzahl der Einwohner je Haltung aufgeführt.

Tab. 8: Haltungsübersicht für den Regenwasserkanal im Testgebiet 1 in Wuppertal

Haltung	Haltungslänge (in m)	∑ Haltungslänge (in m)	∑ Kabellänge (in m)	DN (in mm)	Anzahl Stutzen	Anzahl Häuser	Anzahl Einwohner (20.09.2017)
1	50,2	50,2	148	300	3	0	0
2	48,59	98,79	197	300	2	1	6
3	50,13	148,92	247	300	1	1	3
4	49,86	198,78	297	300	1	2	9
5	49,27	248,05	450	300	3	3	21
6	50,8	298,85	501	400	1	2	8
7	50,02	348,87	551	400	3	3	4
8	49,88	398,75	602	500	1	0	0
9	52,09	450,84	770	500	2	0	0
10	48,04	498,88	819	600	2	0	0
11	52,99	551,87	872	600	2	2	11
12	31,22	583,09	904	600	0	0	0
13	30,23	613,32	949	300	3	2	7
14	59,7	673,02	1010	300	4	1	0
15	49,78	722,8	1060	300	1	1	0
16	14,5	737,3	1076	300	2	2	5
17	52,04	789,34	1128	300	2	3	6
18	29,21	818,55	1157	300	2	4	6
19	9,63	828,18	1167	200	1	2	14

5.1.3 Testgebiet 2

Das zweite Messgebiet in Wuppertal ist durch eine Bebauung von Mehrparteienhäusern mit Wohn- und Gewerbenutzung gekennzeichnet (Abb. 43). In diesem Gebiet lagen mehrere Beschwerden von Anwohnern aufgrund von Geruchsbelästigungen aus dem Endschacht vor. Fehlanschlüsse konnten bislang jedoch nicht nachgewiesen werden. Der untersuchte Kanalstrang besteht aus zwei Haltungen und hat eine Länge von rund 351 m, mit 27 Hausanschlüssen und insgesamt 266 angeschlossenen Einwohnern.

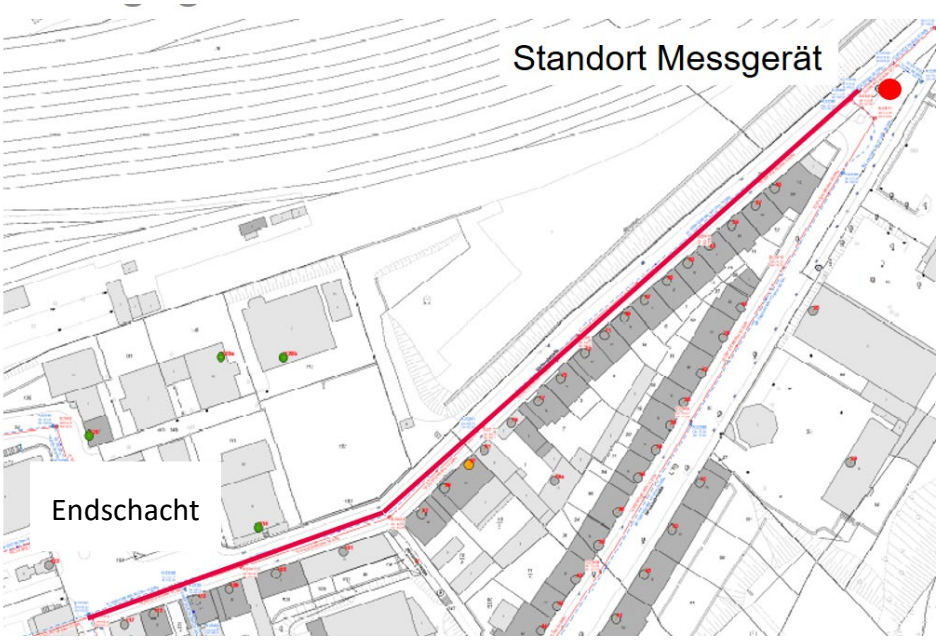


Abb. 43: Lageplan Testgebiet 2 in Wuppertal

Die Einrichtung der Messtrecke im zweiten Testgebiet in Wuppertal erfolgte am 11.10.2018. Der Computer wurde am oberen Ende des Kanals auf einer Verkehrsinsel platziert, da hier sowohl ein Stromanschluss als auch der erste Schacht der Messstrecke in unmittelbarer Nähe vorhanden waren (Abb. 44). So war es möglich, das Glasfaserkabel vom Schaltschrank aus durch die Schachtabdeckung in den Kanal zu verlegen.

Abb. 44: Aufstellung des DTS-Computers in Teilgebiet 2

Da die Strecke bei dieser Messung mit 351 m relativ kurz war, mussten nur zwei Teilstücke des Glasfaserkabels in den Kanal eingezogen werden. Die beiden Teilstücke wurden im mittleren Schacht miteinander verbunden und deren Enden auf einer Kabeltrommel unter der Schachtabdeckung eingehängt. Die Lage der drei Schächte wurde anschließend im Rahmen der Längenkalibrierung bestimmt. In Tab. 9 sind die Bedingungen zusammengefasst.

Tab. 9: Messbedingungen im Testgebiet 2 in Wuppertal

Zeitraum der Messung	11.10.2018 – 27.11.2018 (7 Wochen)
Länge der Messstrecke	351 m
Kabellänge	2 mal 300 m (600 m)
Arbeitsaufwand zur Einrichtung der Messstelle vor Ort (Kanalbetrieb der WSW sowie Projektmitarbeiter der FH Münster und der Dr. Pecher AG)	5 Stunden

5.1.4 Testgebiet 3

Während der Projektlaufzeit wurde eine weitere Messung in Wuppertal durch die Dr. Pecher AG mit Unterstützung durch die FH Münster durchgeführt. Der untersuchte Regenwasserkanal liegt in einem Gewerbegebiet und leitet in ein Regenklärbecken (RKB) ein. Im Ablauf des RKBs wurde seit dem Jahr 2014 wiederholt das Auftreten von anionischen Tensiden festgestellt. Aufgefallen ist das Problem durch eine intensive Schaumbildung, welche zuletzt im Oktober 2018 beobachtet wurde (Abb. 45). Unabhängig davon, wurde an einzelnen Tagen auch eine starke Trübung des Wassers im RKB beobachtet.

Abb. 45: Schaumbildung an der Gewässereinleitung durch Fehlanschluss

Die Messstrecke hatte eine Länge von 858 m mit 57 Hausanschlüssen (Abb. 46). Ein geeigneter Standort mit Stromanschluss für den DTS-Computer konnte auf dem Gelände des RKBs gefunden werden. Von dort aus wurden vier, je 300 m lange Teilstücke des Glasfaserkabels, bis zum oberen Ende des Kanals geführt. Auf Höhe der Verbindung von Kabel 1 und Kabel 2 gibt es einen abzweigenden Kanalstrang, in dem kein Glasfaserkabel eingezogen wurde.

Abb. 46: Verlauf des Kabels im Testgebiet 3 in Wuppertal

Tab. 10 fasst die Bedingungen für die Messung zusammen. Die Messungen erfolgten um Winter 2018/2019 über einen Zeitraum von 9 Wochen.

Tab. 10: Messbedingungen im Testgebiet 3 in Wuppertal

Zeitraum der Messung	12.12.2018 – 12.02.2019 (9 Wochen)
Länge der Messstrecke	858 m
Kabellänge	4 mal 300 m (1200 m)
Arbeitsaufwand zur Einrichtung der Messstelle vor Ort (Kanalbetrieb der WSW sowie Projektmitarbeiter der FH Münster und der Dr. Pecher AG)	20 Stunden

5.2 Testgebiet Warendorf

In Warendorf waren vor Beginn des Projekts noch keine Probleme mit Fehleinleitungen im Regenwassernetz bekannt. Demzufolge wurden mögliche Fehleinleitungen auch nicht systematisch untersucht. In einem ersten Schritt wurde daher geprüft, ob es Gebiete gibt, in denen Fehleinleitungen vorkommen, die bisher unentdeckt geblieben waren. Dazu wurde eine Begehung (visuelle Kontrolle) aller Regenwasser-Einleitstellen durchgeführt (vergleichbar zur Vorgabe der SüwVO Abw NRW, 2020). Zur GIS-gestützten Dokumentation der Begehung wurde die App „Collector for ArcGIS“ vor Ort verwendet. Den Objekten einer zuvor erstellten Karte konnten auf diese Weise beispielsweise Fotos und Informationen über Anzeichen von Fehleinleitungen, wie vorgefundene Hygieneartikel, Geruch oder Trockenwetterabfluss zugeordnet werden (Abb. 47).

Bei der erstmaligen Begehung des Untersuchungsgebietes und der Einleitstellen waren keine Anzeichen von Fehleinleitungen zu erkennen. Es waren weder Reste von Hygieneartikeln noch Gerüche oder Verfärbungen vorhanden.

Im nächsten Schritt wurden an acht ausgewählten Einleitstellen Fanggitter und an zwei Stellen zusätzlich dazu Temperatursonden angebracht (Abb. 48). Aufgrund der ATEX-Richtlinie, durften die verfügbaren Temperatursonden nicht direkt im Kanal installiert werden, so dass die Befestigung an den Fanggittern erfolgte. Die Temperatursonden lieferten in der gewählten Position keine verwertbaren Ergebnisse, da neben dem durch Sonneneinstrahlung verursachten Temperaturverlauf über den Tag keine Anzeichen auf auftretende Durchflüsse zu erkennen waren. Die mit Gittern ausgestatteten Einleitstellen wurden in regelmäßigen Abständen kontrolliert und dokumentiert. Im Gegensatz zu der ersten Bege-

hung wurden an den Gittern bzw. der Umgebung der Einleitstellen, in fast jedem der untersuchten Gebiete, Anzeichen von Fehleinleitungen festgestellt. Allerdings unterlag die Ablagerung der beobachteten Hygieneartikel einer hohen Dynamik. So konnten nicht bei jeder Begehung an den jeweiligen Einleitstellen fixierte Hygieneartikel festgestellt werden. Dies lässt den Schluss zu, dass die Ablagerung von Hygieneartikeln maßgeblich von der Niederschlagscharakteristik beeinflusst wird. Diese müssen einen genügend hohen Abfluss erzeugen, um die Stoffe aus dem Kanal zu spülen, dürfen aber auch nicht so hoch sein, dass die Hygieneartikel vom umliegenden Bewuchs im Auslaufbereich (Regenrückhaltebecken oder Gewässer) abgespült werden. Durch einmalige visuelle Kontrollen sind Fehleinleitungen daher nicht sicher zu detektieren.

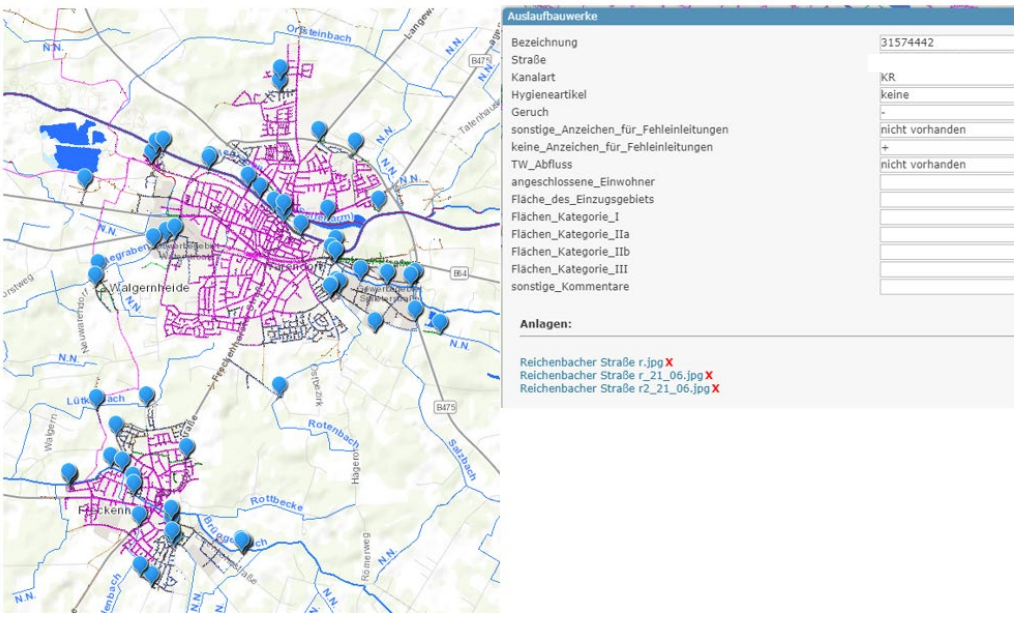


Abb. 47: Informationen zu Einleitstellen in der „Collector for ArcGIS“ App zur GIS-gestützten Erfassung und Dokumentation der Einleitungsstellen

Die größten Verschmutzungen mit offensichtlichen Hygieneartikeln wurden im Rahmen der Untersuchungen zur Gebietseingrenzung an der Einleitstelle des Regenwasserkanals in ein Regenrückhaltebecken festgestellt (Abb. 48). Das daran angeschlossene stark verzweigte Kanalnetz in einem Wohngebiet wurde als Untersuchungsgebiet ausgewählt, da diese Netzstruktur hohe Anforderungen auch an die DTS-Messungen stellt.

Abb. 48: Test-Installation der Temperatursonde (rechts im Bild) und festgestellte Hygieneartikel (roter Kreis) im Bereich einer Regenwassereinleitung an einem Regenrückhaltebecken im Testgebiet in Warendorf

Der untersuchte Regenwasserkanal hat eine Gesamtlänge von 2.791 m mit einem großen Anteil kurzer Abzweige. Die Herausforderung in diesem Gebiet bestand darin, das verzweigte Netz möglichst komplett zu erfassen. Hierzu wurde zunächst eine genaue Planung möglicher Messstreckenverläufe durchgeführt. Um Planunsicherheiten auszuschließen, wurden die Schächte entlang der zu untersuchenden Kanalstrecke vor dem Einbau vor Ort noch einmal überprüft und anschließend ein Einbauplan erstellt. Die jeweiligen, für die Verlegung des Kabels relevanten Schächte, wurden mit der bereits oben erläuterten CollectorApp im GIS dokumentiert. Im Rahmen dieser Ortsbegehung wurde gleichzeitig nach einem geeigneten Standort für den Schaltschrank des DTS-Computers gesucht. Hierzu wurden ein Stromanschluss sowie ein Zugang für das Glasfaserkabel in einen Schacht benötigt. Innerhalb des Wohngebiets konnte kein geeigneter Standort gefunden werden, der diesen Anforderungen entsprach. Aus diesem Grund wurde der Schaltschrank auf dem Gelände des Regenrückhaltebeckens aufgestellt. Auf dem umzäunten Betriebsgelände war ein geeigneter Startschacht zum Einführen des Kabels vorhanden. Ein Stromanschluss konnte ebenfalls für den Messzeitraum zur Verfügung gestellt werden.

Das Testgebiet wurde aufgrund der Größe in zwei Teilgebiete A und B unterteilt (Abb. 49). Da beide Gebiete einen vergleichbaren Charakter aufweisen (Gefälle, Verzweigungen, Wohngebiet), war eine gute Vergleichsmöglichkeit für die Anwendung eines durchgehenden und eines geteilten Glasfaserkabels gegeben.

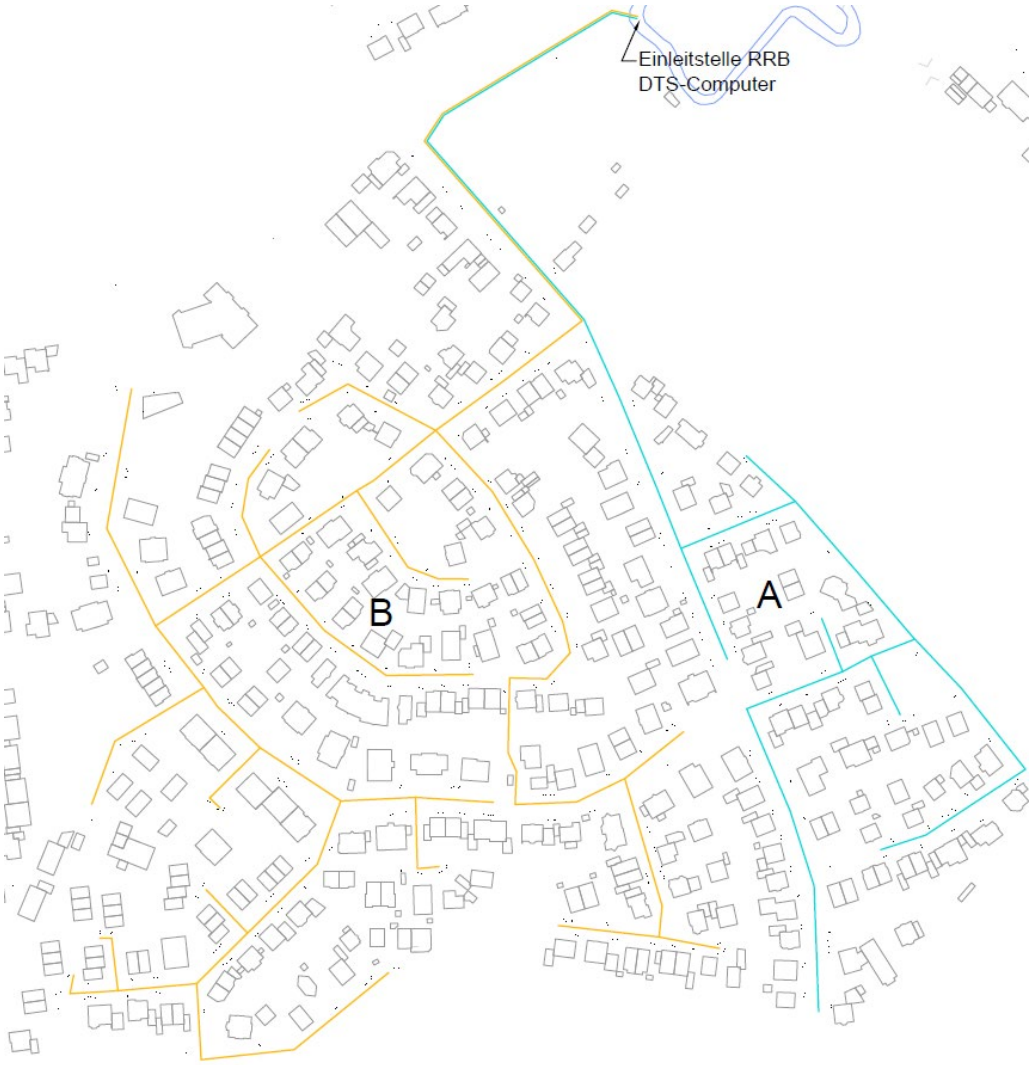


Abb. 49: Kabelverlauf in den beiden Untersuchungsgebieten in Warendorf

In Teilgebiet A wurde ein 1.200 m langes einteiliges Kabel verwendet, welches bereits bei vorherigen Messungen der Dr. Pecher AG zum Einsatz kam. Im Teilgebiet B wurden insgesamt vier je 300 m lange durch Steckverbinder verbundene Kabel verlegt. In beiden Gebieten mussten die Kabel während der Messung noch ein- oder sogar mehrmals verlegt werden, um das gesamte Testgebiet zu erfassen. Die Messzeiträume, Kabellängen und der Arbeitsaufwand zum Ein- und Umbau sind in Tab. 11 zusammengefasst. Der Arbeitsaufwand

für den Seileinzug und die Längenkalibrierungen wird in der Tabelle nicht berücksichtigt. Für das Gesamtgebiet nahm der Seileinzug ca. 11 Stunden in Anspruch. Die Kalibrierung der Schachtpositionen am Kabel erfolgte ebenfalls zum Teil für zwei Teilgebiete gleichzeitig.

Tab. 11: Messbedingungen in Warendorf

Gebiet	Zeitraum und Dauer der Messung	Länge der Messstrecke	Kabel-längen	Arbeitsaufwand zur Einrichtung der Messstrecke*
B1	06.03.18 bis 20.03.18 28.03.18 bis 09.04.18 (3,5 Wochen)	994 m	4 mal 300 m	4 + 5 Stunden
A1	20.03.18 bis 09.04.18 (3 Wochen)	1.017 m	1.200 m	4 + 6 Stunden
B2	09.04.18 bis 15.06.18 (9 Wochen)	990 m	4 mal 300 m	6 Stunden
A2	15.06.18 bis 28.06.18 (2 Wochen)	862 m	1.200 m	5 Stunden
B3	28.06.18 bis 23.07.18 (3,5 Wochen)	696 m	3 mal 300 m	3 Stunden

* ohne Seileinzug und Längenkalibrierung

Aufgrund des gewählten Computerstandortes wurden beide Kabel auf den ersten rund 300 m durch die gleichen Haltungen verlegt. In diesem Abschnitt war der Kabeleinzug sehr aufwändig, da sich die beiden Kabel gegenseitig blockierten. Die ersten vier Haltungen nahmen daher vier Stunden Arbeitszeit in Anspruch. Für die erste Messperiode in Teilgebiet A wurden 1.185 m des einteiligen Kabels auf einer Kanallänge von 1.017 m mit vier Abzweigen, in denen das Kabel in Schlaufen gelegt wurde, eingebaut (Abb. 50 links). Zum Umbau für die zweite Messperiode in Teilgebiet A wurden ca. 400 m des Kabels am Ende der Messstrecke zurückgezogen und in einen abzweigenden Strang eingebaut (Abb. 50 rechts). Die verwendete Kabellänge lag in diesem Fall bei 964 m auf einer Kanallänge von 862 m. Der Kanal in Gebiet A konnte mit zwei Messabschnitten vollständig erfasst werden. In Teilgebiet B wurden die durch Konnektoren verbundene Kabelabschnitte verwendet.

Abb. 50: Untersuchungsgebiet A in Warendorf. Einbausituation 1 links, Einbausituation 2 rechts.

Insgesamt wurden in Teilgebiet B drei Messperioden durchgeführt (Abb. 51). Auf diese Weise war bereits ein Großteil des Teilgebietes abgedeckt, da davon ausgegangen wurde, dass ausgelöste Temperaturschwankungen aus Einleitungen aus den kurzen Strängen mit nur ein bis zwei Haltungen am Kabel im Hauptkanal zu erkennen sind. Für eine vollständige Erfassung des gesamten Teilgebiets B wären noch weitere Umbauten erforderlich gewesen, die jedoch im Vergleich zum Mehrwert an Erfahrungen einen zu großen Arbeitsaufwand dargestellt hätten.

Um eine Fehleinleitungsdetektion im gesamten Gebiet zu gewährleisten, wurde an den Abzweigen in Teilgebiet B, in die kein Kabel verlegt wurde, ergänzend eine passive Probenahme nach der Methode von Chandler und Lerner (2015) durchgeführt. Hierzu wurde an der Kanalsohle ein Stück ungebleichte Watte befestigt. Kommt diese Watte mit Waschmittel in Verbindung, kann in der Watte aufgrund der im Waschmittel enthaltenen optischen Aufheller eine Lumineszenz unter UV-Licht mit einer Wellenlänge von 365 nm erkannt werden (Abb. 10). Die Stellen, an denen die passive Probenahme durchgeführt wurde, sind in

Abb. 52 markiert. Sollten an einer der Stellen ein Hinweis auf Waschmittelrückstände vorliegen, kann die passive Probenahme entgegen der Fließrichtung weiter versetzt werden, bis die Fehleinleitung idealerweise auf eine Haltung eingegrenzt ist oder eine DTS Messung auch in diesem Teilgebiet erfolgt.

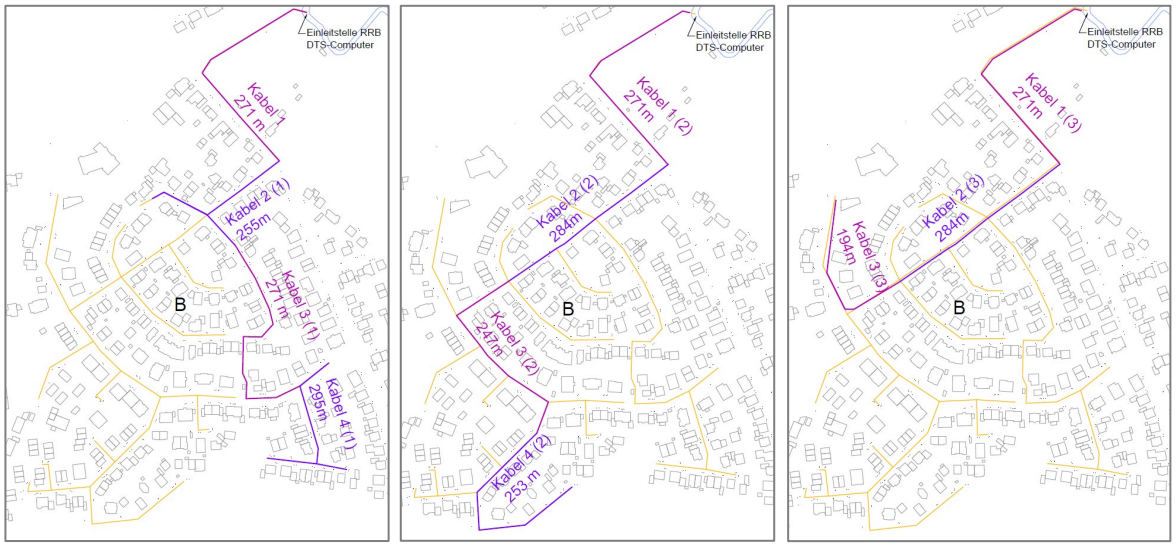


Abb. 51: Verlegung des Kabels in Teilbereich B (links B1 vom 06.03.18 bis 20.03.18 und 28.03.18 bis 09.04.18, mittig B2 vom 09.04.18 bis 15.06.18 sowie rechts B3 vom 28.06.18 bis 23.07.18)

An den beiden in Abb. 52 beschrifteten Kontrollpunkten zeigte die Watte eine deutliche Lumineszenz. Dies stellt ein Indiz für die Einleitung von Aufhellern in den Kanal dar. Die Untersuchung mit der DTS-Messung konnte diese Ergebnisse jedoch nicht eindeutig bestätigen. Ein Grund dafür könnte sein, dass aufgrund der langen Fließstrecke das Wasser schon zu stark abgekühlt war, um eine Detektion zu ermöglichen. Es kann auch nicht ausgeschlossen werden, dass Aufheller über die Straßeneinläufe in den Kanal gelangt sind. Zudem wurden im ausgewählten Gebiet nach Abschluss der Messungen Stichproben vom Trockenwetterabfluss genommen und im Labor auf Abwasserindikatoren untersucht, um mögliche Hinweise zur Eignung stichprobenartiger Laboranalysen zur Feststellung von Fehleinleitungen zu erhalten.

Abb. 52: Beispiel für einen auf der Kanalsohle fixierten Wattebausch und passive Probenahmestellen (Watte) im Testgebiet in Warendorf

6 DTS-Messungen und Indikatorverfahren

6.1 Untersuchungen unter Praxisbedingungen

6.1.1 Untersuchungen zum Einfluss der Steckverbinder im Testgebiet 1 in Wuppertal

Im ersten Testgebiet in Wuppertal sollte neben der Lokalisierung von Fehleinleitungen der Praxiseinsatz der durch Steckverbinder (Connectoren) verbundenen Teilkabel in der Praxis getestet werden. Kriterien dabei waren:

- Handhabung
- mögliche Störeinflüsse durch die Verbindungen
- Unterschiede zwischen den einzelnen Teilstücken
- Temperaturempfindlichkeit

Im Testgebiet ließen sich die einzelnen, je 300 m langen Teilstücke des Kabels gut mit der Fließrichtung in den Kanal einziehen. Mit einem einzelnen, langen Kabel wäre es in dem ansonsten recht unkomplizierten Gebiet vermutlich zu Problemen am Verbindungsschacht der beiden Stränge gekommen, da der Winkel in dem Schacht spitz zulief. Außerdem hätte ein über die gesamte Länge durchgehendes Kabel ab diesem Schacht gegen die Fließrichtung gezogen werden müssen. Die geteilten Kabel bieten in dieser Hinsicht deutlich mehr Flexibilität in der Handhabung.

Abb. 53 zeigt das Ergebnis der DTS-Messung für einen Tag über die gesamte Kabellänge von 1.200 m (3 mal 300 m und 1 mal 300 m). Die Kabelsegmente treffen sich im Schacht 13. Die vertikalen gestrichelten schwarzen Linien markieren die Schächte (Schachtnummern oben angegeben). Die Ordinate skaliert die Zeit (00:00 Uhr bis 23:59 Uhr) und auf die Abszisse die Strecke bzw. Kabellänge (0 bis 1200 m). Am linken Rand ist der DTS-Computer platziert. In den Schächten 1, 5, 9, 13 und 20 sind die Kabel miteinander verbunden. Dort wurden Kabelabschnitte aufgerollt, um Störeinflüsse durch die Verbindung zu berücksichtigen. Die Kabelsegmente 1 bis 3 sind bis zum Schacht 13 in Fließrichtung von links nach rechts verlegt. Kabelsegment 4 ist in Fließrichtung von rechts nach links bis zum Schacht 13 verlegt. Die einzelnen Segmente des Kabels können im Temperaturverlauf sehr gut erkannt werden. Das erste Segment des Kabels ist im ersten Schacht, wenige Meter vom DTS-Computer entfernt, auf einer Kabeltrommel direkt unter der Schachtabdeckung aufgerollt. Die gemessene Temperatur unterscheidet sich in diesem Bereich von der im Kanal gemessenen Temperatur und weist zudem Änderungen im Tagesverlauf auf. Es folgt ein Bereich mit

weitgehend gleichbleibender Temperatur. Dabei handelt es sich um das erste Teilkabel auf der Sohle des Kanals bis zum Schacht 5. Der Bereich im Schacht 5 ist durch einen plötzlichen Temperaturwechsel im Bereich der Verbindung gekennzeichnet. Im Anschluss an Schacht 5 folgt erneut ein Bereich mit gleichbleibender Temperatur entlang des zweiten Kabelsegmentes auf der Kanalsohle.

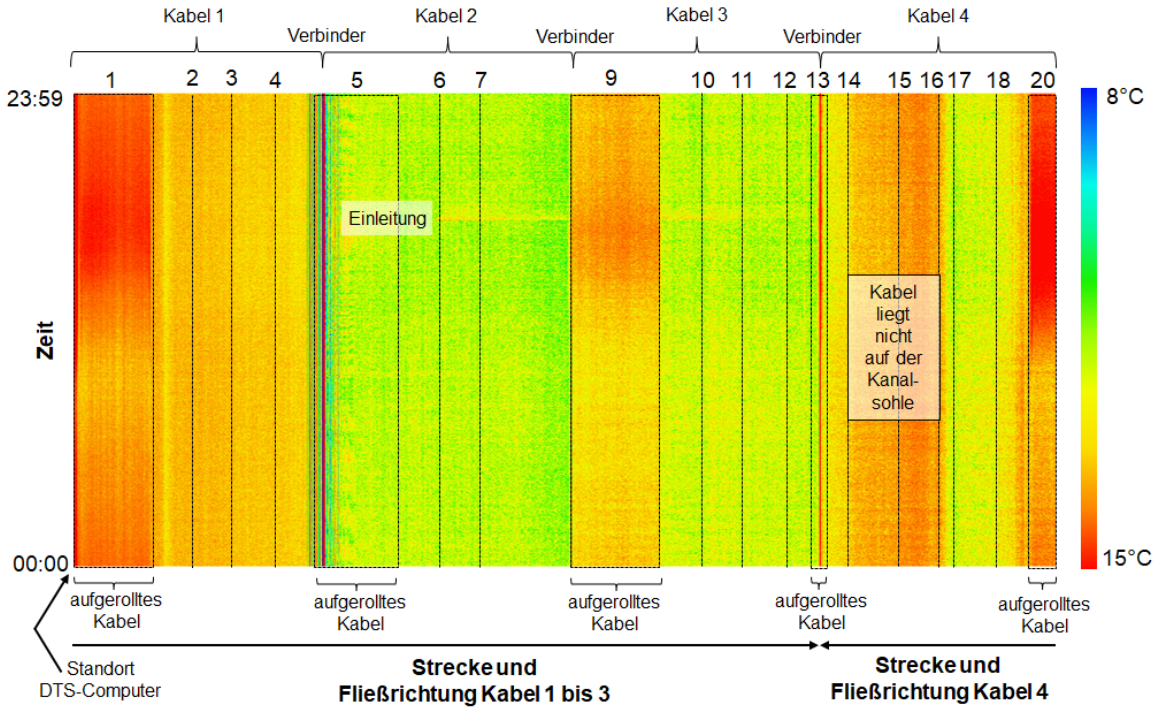


Abb. 53: Temperaturverteilung im Regenwasserkanal im Testgebiet 1 in Wuppertal

Vom ersten zum zweiten Segment ist ein Unterschied der gemessenen Temperatur erkennbar, der sich nur durch Störungen infolge der Verbindung erklären lässt. Der nächste Temperaturwechsel tritt in Schacht 9 auf, da ein Teilstück des Kabels hier wieder auf einer Kabeltrommel unter der Schachtabdeckung aufgerollt ist. Zwischen dem zweiten und dritten Kabelsegment ist kein auffälliger Temperaturunterschied zu erkennen. Erst im Verbindungsschacht der beiden Kanalstränge tritt wieder eine Störung durch die letzte Verbindung auf.

Die zwischen den Schächten 14 und 16 gemessene Temperatur lag ca. 1,5 °C über der davor und dahinter gemessenen Temperatur. Vor Ort konnte in Schacht 16 festgestellt werden, dass das Kabel so stark gespannt war, dass es nicht im tiefsten Punkt auf der Kanalsohle lag und somit erst bei steigendem Füllstand die Erfassung der Wassertemperatur erfolgte

(Abb. 54). Ab Schacht Nr. 16 lag das Kabel wieder auf der Kanalsohle und die Temperatur im gleichen Bereich wie am zweiten und dritten Teilkabel.

Abb. 54: Verschiebung der Lage des DTS-Kabels in den Kämpferbereich in Schacht 16 (Testgebiet 1 in Wuppertal)

Die Ergebnisse im Bereich der Schächte 5, 9 und 13 sind in Abb. 55 detailliert dargestellt. In diesen Schächten befanden sich die Steckverbindungen, die wie bereits beschrieben, lokal starke Störungen (und Dämpfungen) verursachen. Direkt bei der ersten Verbindung in Schacht 5 schwankte die gemessene Temperatur zwischen 0 °C und ca. 1000 °C. Insgesamt ist in Schacht 5 ein Bereich von ca. 41 m von Störungen betroffen, die jedoch zu den Rändern hin weniger extrem ausfallen. Die zweite und dritte Verbindung verursachten ebenfalls Störungen, allerdings nur auf einer Kabellänge von vier bzw. sechs Metern.

Infolge von Niederschlagsereignissen stieg der Füllstand im Kanal an, was dazu führte, dass auch der Bereich zwischen den Schächten 14 und 16, wo das Kabel nicht auf der Sohle auflag, die gleiche Temperatur wie der Rest des Kabels annahm. Niederschlagsereignisse sind außerdem an einem Temperaturwechsel entlang des gesamten Kabels für einen begrenzten Zeitraum erkennbar und decken sich sehr gut mit den aufgezeichneten Niederschlagsmessungen. Die Temperatur kann infolge eines Regenereignisses ansteigen oder abfallen (Abb. 56).

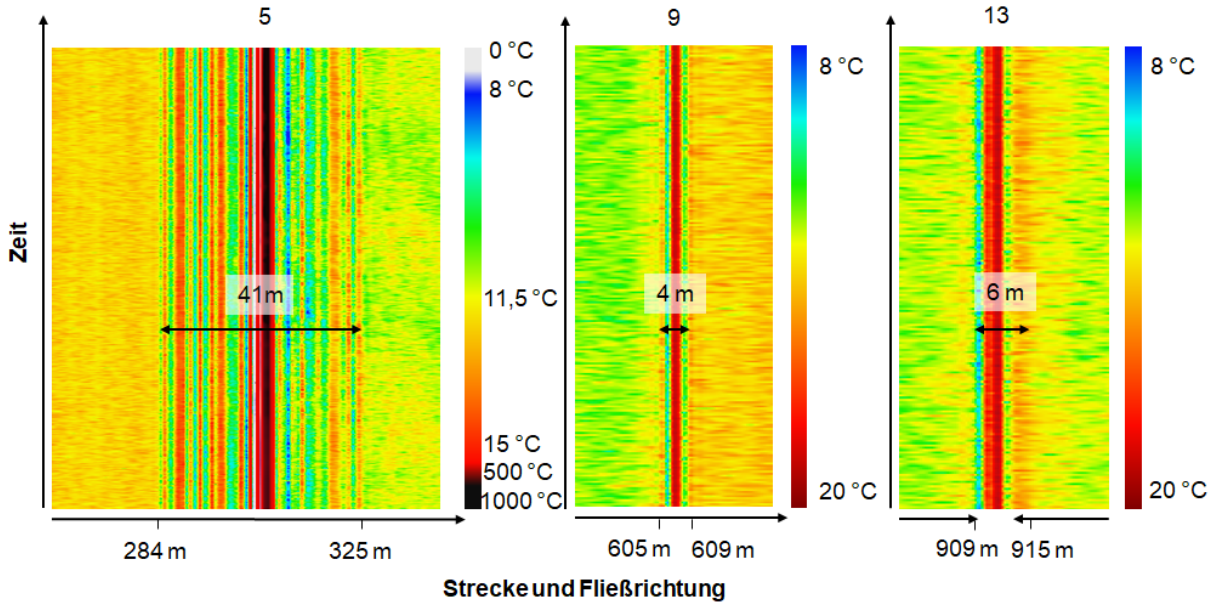


Abb. 55: Durch die Kabelverbindungen beeinflusste Temperaturverteilung im Bereich der Schächte 5, 9 und 13 (Testgebiet 1 in Wuppertal)

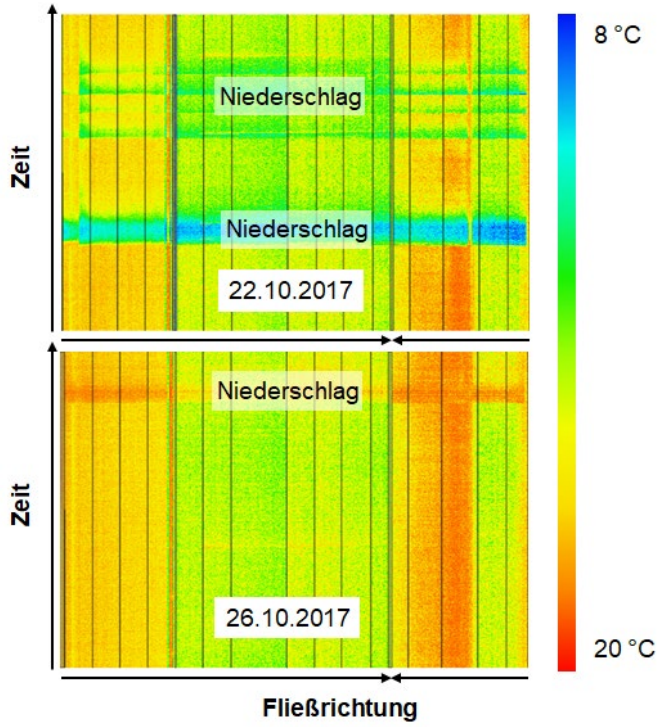


Abb. 56: Ergebnisse DTS-Messung bei Niederschlag (Testgebet 1 in Wuppertal)

6.1.2 Sensitivitätstests im Testgebiet 1 in Wuppertal

Im Rahmen der Messung im ersten Testgebiet wurden zusätzliche Versuche durchgeführt, um die Temperaturempfindlichkeit des eingesetzten Kabels unter Praxisbedingungen zu testen. Die Bedingungen der untersuchten Szenarien enthält Tab. 12.

Tab. 12: Szenarien zur Untersuchung der Temperaturempfindlichkeit (Testgebiet 1 in Wuppertal)

Szenario	Zuflussvolumen (in Liter)	Temperatur (in °C)
1. Toilettenspülung	7 Liter	10 - 20 °C
2. Waschmaschine / Dusche	2 - 10 Liter	30 - 60 °C
3. Autowäsche	2 - 10 Liter	Außentemperatur

Die jeweiligen Volumenströme mit der entsprechenden Temperatur wurden an verschiedenen Stellen über Straßeneinläufe oder direkt über Schächte in den Kanal gegeben. Die Orte, Volumina und Temperaturen zur Imitation von Toilettenspülungen, Waschmaschinen und Autowäschen sind in Tab. 13 den am Kabel gemessenen Temperaturen gegenübergestellt. Die simulierten Fehleinleitungen sind alle deutlich im Temperaturverlauf erkennbar (Abb. 57). Auch geringe Einleitungen von nur zwei Litern wurden zuverlässig erkannt. Jedoch ist auch ein Einfluss des Fließweges vom Zugabeort bis zum Kabel zu erkennen. Bei der Zugabe in einen Straßeneinlauf ist bei gleichem Volumen und bei gleicher Temperatur das Signal am Kabel geringer als bei der direkten Zugabe in einen Schacht.

Tab. 13: Maximal im Kabel gemessene Temperaturen bei Zugabe verschiedener Zuflüsse mit unterschiedlichen Temperaturen (Testgebiet 1 in Wuppertal)

Zugabevolumen in Liter	Einleitungs-stelle	Temperatur des Zuflusses	Max. Temperatur im Kabel
7	Straßeneinlauf	20 °C	14,3 °C
7	Schacht	20 °C	16,5 °C
2		35 °C	13,4 °C
2		61 °C	25,5 °C
10		36 °C	28,2 °C
10		18 °C	16,4 °C

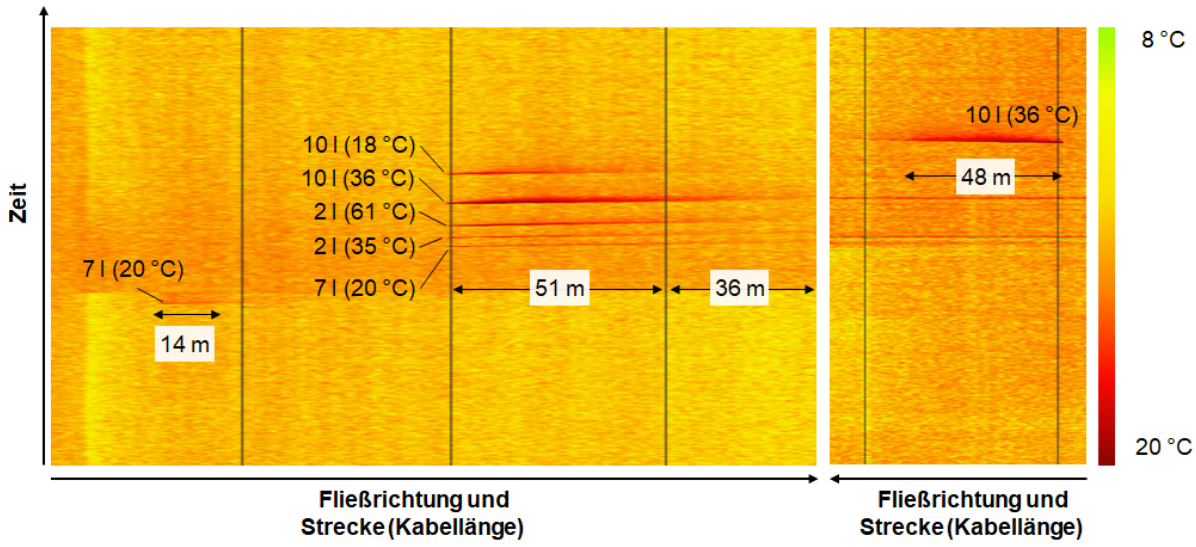


Abb. 57: Temperaturverlauf im Kanal während der Zugabe verschiedener Zuflüsse mit unterschiedlichen Temperaturen (Testmessungen Gebiet 1 in Wuppertal)

6.1.3 Maßnahmen zur Detektion von Fehleinleitungen im Testgebiet 1 in Wuppertal

Fehleinleitungen können durch kurzzeitig auftretende Temperaturveränderungen entlang des Kabels ermittelt werden. Bei der vorliegenden Messung, waren in unregelmäßigen zeitlichen Abständen kurzzeitige Temperaturanstiege im Kabel zu beobachten. Die Temperaturauffälligkeit wurde am Kabel bei einer Länge von 443 m festgestellt. Der nächste Schacht befand sich in einem Abstand von 6 m bei 449 m. Ein Beispiel für die Temperaturauffälligkeit illustriert Abb. 58. Dargestellt ist eine Einleitung um 17:32 Uhr. In der Grafik sind außerdem die Schächte bzw. die Länge der Kabelsegmente in den Schächten zu sehen.

Im Stutzenplan ist in diesem Bereich vor Schacht 6 nur ein Anschluss verzeichnet, über den ein Straßeneinlauf und ein Grundstück an den Kanal angebunden sind. Zur Überprüfung, ob es sich tatsächlich um diesen Anschluss handelt, wurde erwärmtes Wasser in den Straßeneinlauf unmittelbar vor dem Grundstück gegeben. Wie in Abb. 59 zu sehen, konnte anhand des Temperaturverlaufs eine eindeutige Zuordnung hergestellt werden. Somit muss die Einleitung über den Straßeneinlauf (unwahrscheinlich) oder über die angeschlossene Grundstücksentwässerung erfolgen. Den Planunterlagen war zu entnehmen, dass sich auf dem Grundstück eine dauerhaft eingestaute Sammelgrube befindet. Die Oberflächenabflüsse fließen vom Gebäude erst in diese Sammelgrube und von dort aus in das öffentliche Kanalnetz. Ob es sich bei den Einleitungen auch um Schmutzwasser handelt, konnte jedoch anhand der Temperaturmessung nicht abschließend geklärt werden.

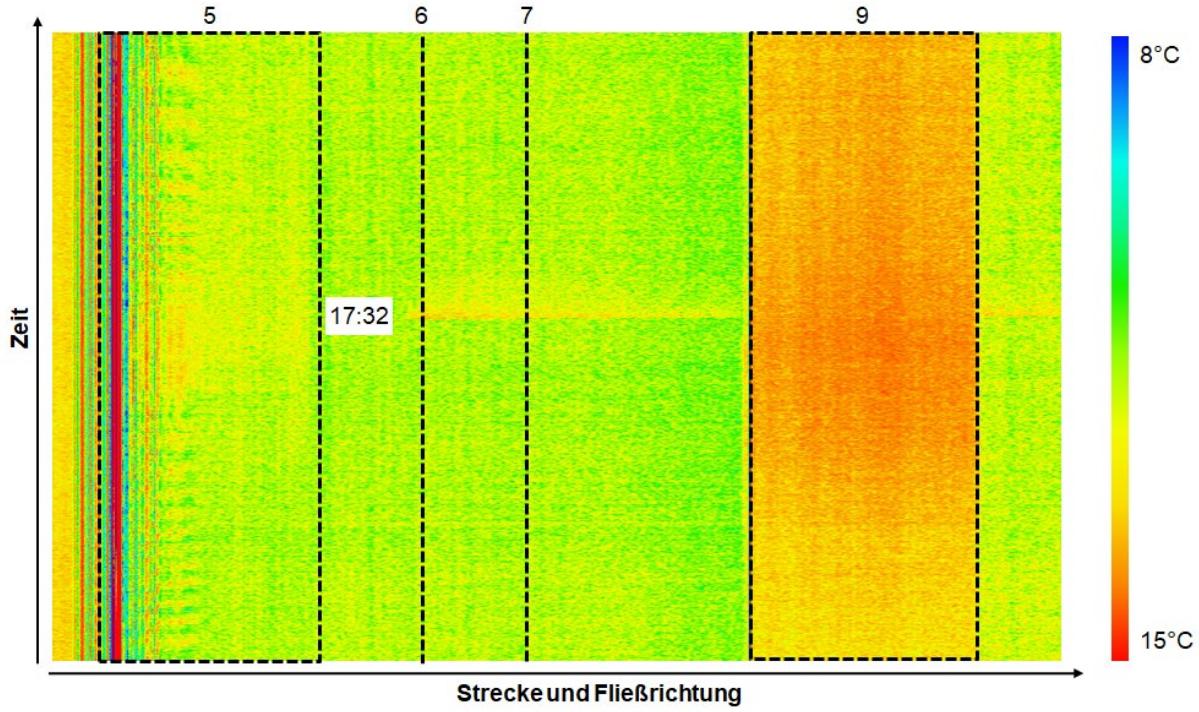


Abb. 58: Fehleinleitung vor Schacht 6 am 15.10.2017 um 17:32 Uhr (Testgebiet 1 Wuppertal)

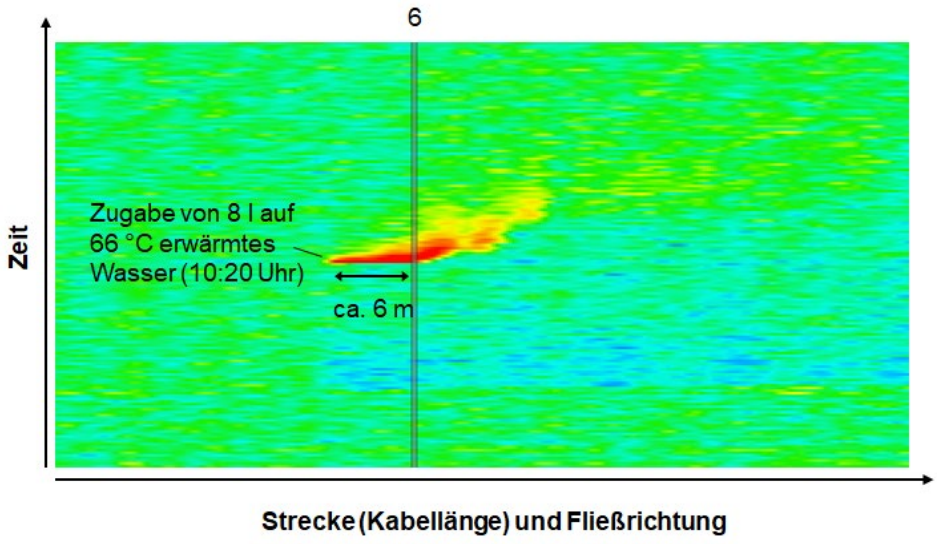


Abb. 59: Temperaturverlauf bei Zugabe von erwärmtem Wasser in den Straßeneinlauf vor Schacht 6 (Testgebiet 1 Wuppertal)

Zur genaueren Bestimmung der Herkunft der Einleitung und für eine Sanierung, wurde als weitere Maßnahme eine Traceruntersuchung sämtlicher Abläufe des Haushaltes durchgeführt. In die Abläufe im Haus (Duschen, Waschbecken, Toiletten und Kellerabläufe) wurden Farbstofftracer (Uranin) gespült, die allerdings nicht in der der Sammelgrube wiedergefunden werden konnten. Nur der in der Regenwasserleitung zugegebene Farbstoff wurde in der Sammelgrube gefunden (Abb. 60).

Abb. 60: Tracerzugabe (Uranin) zur Detektion möglicher Fehleinleitungen über die eingestaute Sammelgrube (Testgebiet 1 Wuppertal)

Als weitergehende Maßnahmen wurden sowohl eine Kamerabefahrung, als auch eine Probenahme in dem betroffenen Kanalabschnitt bzw. der Sammelgrube durchgeführt. Analysiert wurden Stoffe, die in der Regel nur durch Schmutzwasser in den Kanal gelangen können. Die Ergebnisse der Laboruntersuchung enthalten Tab. 14 und Tab. 15. Untersucht wurden unter anderem Schmerzmittel (Diclofenac und Ibuprofen) oder synthetische Süßstoffe (Asparatam und Acesulfam). Die Analyseergebnisse gaben keine Hinweise auf das Vorhandensein von häuslichem Abwasser. Die Konzentrationen lagen bei beiden Proben im Bereich von Konzentrationen für Niederschlagswasser bzw. Oberflächengewässer. So liegen nach DVGW (2015) die Konzentrationen von Arzneimittelwirkstoffen in Fließgewässern

zwischen wenigen Nanogramm pro Liter bis 100 ng/l. In kleinen Flüssen mit hohem Abwasseranteil können die Konzentrationen für Arzneimittel bis zu 1 µg/l betragen.

Tab. 14: Analyseergebnisse der untersuchten Sammelgrube im Testgebiet Wuppertal 1 (Entnahme am 23.05.18 – Laboreingang am 23.05.2018)

Parameter	Einheit	Messwert	Verfahren
Tenside, anionisch	mg/l	< 0,20	analog DIN EN 903 (H24) 1994-01
Tenside, nichtionisch	mg/l	< 0,20	bwl-Verfahren
Diclofenac	ng/l	28	DIN 38407-47 (F47) 2017-07
Ibuprofen	ng/l	< 20	DIN 38407-47 (F47) 2017-07
Koffein	ng/l	22	DIN 38407-47 (F47) 2017-07
Ethylendiamintetraessigsäure (EDTA)	µg/l	1,2	bwl-Verfahren GC-MS
Asparatam	µg/l	< 10	bwl-Verfahren LC-MS
Acesulfam	µg/l	0,3	bwl-Verfahren LC-MS

Tab. 15: Analyseergebnisse der untersuchten Sammelgrube im Testgebiet Wuppertal 1 (Entnahme am 23.08.18 – Laboreingang am 23.08.2018)

Parameter	Einheit	Messwert	Verfahren
Tenside, anionisch	mg/l	< 0,20	analog DIN EN 903 (H24) 1994-01
Tenside, nichtionisch	mg/l	< 0,20	bwl-Verfahren
Diclofenac	ng/l	< 10	DIN 38407-47 (F47) 2017-07
Ibuprofen	ng/l	< 10	DIN 38407-47 (F47) 2017-07
Koffein	ng/l	82	DIN 38407-47 (F47) 2017-07
Ethylendiamintetraessigsäure (EDTA)	µg/l	0,9	bwl-Verfahren GC-MS
Asparatam	µg/l	< 0,10	bwl-Verfahren LC-MS
Acesulfam	µg/l	< 0,10	bwl-Verfahren LC-MS

Bei der Bewertung der Analysen ist zu berücksichtigen, dass nur Stichproben aus der Sammelgrube entnommen werden konnten. Bei der Detektion von Fehleinleitungen stellt die Probenahme in der Regel ein größeres Problem dar, da kein kontinuierlicher Abfluss vorhanden ist. Durch die dauerhaft eingestaute Grube stand in diesem Fall jedoch ständig Wasser zur Beprobung zur Verfügung. Ist dies nicht der Fall, müsste eine Stichprobe zufällig in dem Moment genommen werden, in dem auch eine Einleitung erfolgt. Somit stellen Stichproben für diese Untersuchung keine grundsätzlich geeignete Messmethode dar. Au-

tomatische Probenahmen in Regenwassernetzen in Berlin im Rahmen von Forschungsprojekten zeigen jedoch, dass Analysen von „Abwasserindikatoren“ in großen Netzen erste grundsätzliche Hinweise zum Vorliegen von Fehleinleitungen liefern können (Wicke et al., 2015).

Bei der durchgeführten Kamerabefahrung waren weder in der Sammelgrube, noch in dem Rohrabschnitt von der Grube zum Regenwasserkanal Hinweise auf häusliches Abwasser zu erkennen. Bei der weiteren Befahrung vom Hof des betroffenen Hauses wurde festgestellt, dass die Regenwasserleitung mit Gefälle zum Haus hin verlegt wurde und somit mit Wasser gefüllt war. Da die Leitung aus diesem Grund vollgefüllt war und die Kamera beim Vortrieb Ablagerungen im Kanal aufgewirbelt hatte, waren während der Kamerabefahrung keine Aufnahmen, die Hinweise von Fehleinleitungen gegeben hätten, möglich.

Die angeschlossene Sammelgrube wurde eindeutig als Einleitungsquelle bestätigt. Sehr wahrscheinlich erfolgte in der Sammelgrube eine Erwärmung des Wassers. Diese wurde bei Überstau dann durch die DTS-Messung erfasst. Allerdings ließen sich während der Messungen auch im Filterschacht keine Abwasserinhaltsstoffe mehr auffinden, so dass davon ausgegangen werden kann, dass ggf. früher vorhandene Einleitungen - wie sie vor dem Bau des Filterschachts beobachtet wurden - zwischenzeitlich behoben worden sind. Die Einleitungsstelle und der Filterschacht werden weiterhin regelmäßig geprüft und gewartet. Durch den Filterschacht werden zukünftige Fehleinleitungen zudem schnell auffällig.

6.1.4 Maßnahmen und Ergebnisse der Detektion im Testgebiet 2 in Wuppertal

In Abb. 61 ist das Ergebnis der DTS-Messung für einen kompletten Tag auf der gesamten Kabellänge von 600 m (zwei Teilstücke von jeweils 300 m) dargestellt. Die Messung weist auf unterschiedlich temperierte Bereiche entlang des Kabels und im Tagesverlauf hin. Im Bereich vor Schacht 1 waren rund 91 m des Kabels unter dem Schachtdeckel auf einer Kabeltrommel aufgerollt. In diesem Bereich ist der Tagesverlauf der Temperatur an der Oberfläche erkennbar. In Schacht 2 war das Kabel ebenfalls über rund 44 m auf einer Kabeltrommel aufgerollt und unter dem Schachtdeckel befestigt. In Schacht 3 befand sich das Ende des zweiten Kabels, das wie in den vorherigen Schächten, auf einer Kabeltrommel unter der Abdeckung befestigt wurde. Diese Bereiche wurden von der Auswertung ausgenommen, da sich das Kabel an diesen Stellen nicht auf der Kanalsohle befand.

Die Einflüsse durch die Steckverbindungen haben im Vergleich zur ersten Messung in Wuppertal geringere Störungen verursacht. Der Einfluss der Steckverbindung ist, wie in Abb. 62 zu sehen, nur in einem Bereich von ca. drei Metern mit einem Temperaturunterschied von rund 1,7° C zu erkennen. Der beeinflusste Bereich des Kabels befand sich vollständig auf

der Kabeltrommel innerhalb des zweiten Schachts und hatte damit keinen Einfluss auf die Messgenauigkeit.

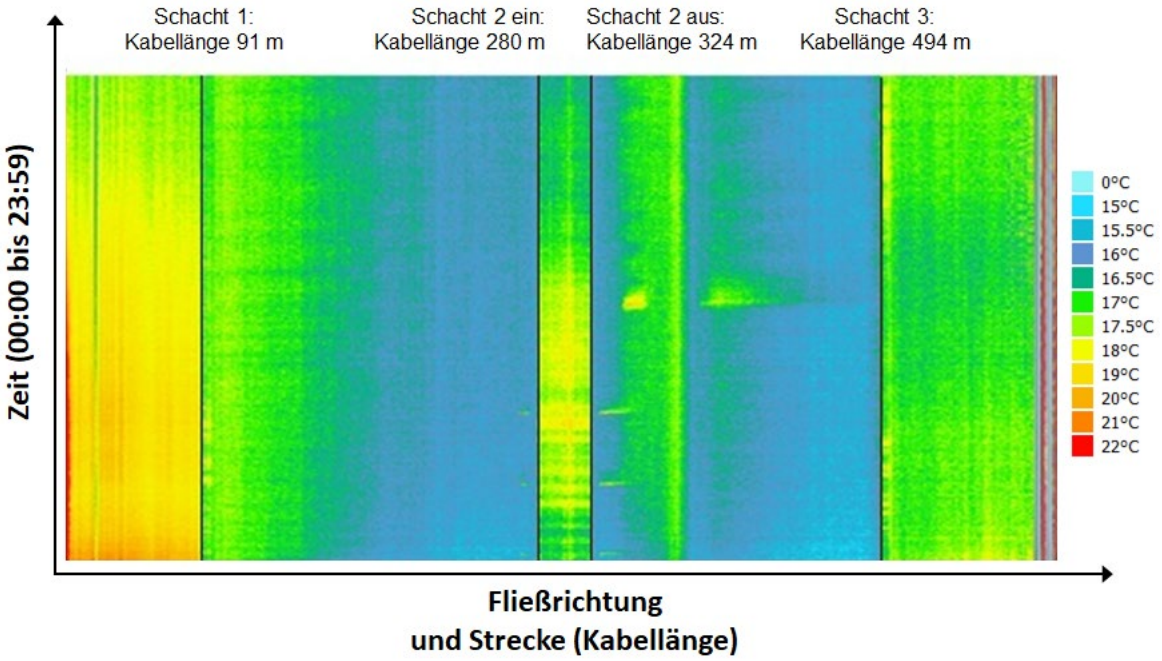


Abb. 61: Messergebnis (24 Stunden) Testgebiet 2 in Wuppertal vom 11.10.2018

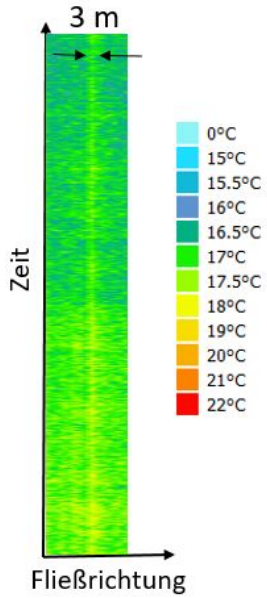


Abb. 62: Temperaturverlauf im Einflussbereich der Steckverbindung (Testgebiet 2 in Wuppertal)

Bei der Messung im zweiten Testgebiet in Wuppertal konnten in unregelmäßigen zeitlichen Abständen kurzzeitige Temperaturanstiege im Kabel beobachtet werden. Die vermuteten Fehleinleitungen wurden bei 274 Kabelmetern (6 m oberhalb von Schacht 2) sowie 338 Kabelmetern (14 m unterhalb von Schacht 2) festgestellt. Wie in Abb. 63 zu sehen ist, konnten am 13.10.2018 mehrere Einleitungen an beiden Stellen festgestellt werden. Der zweite Schacht befindet sich innerhalb der senkrechten gestrichelten Linien.

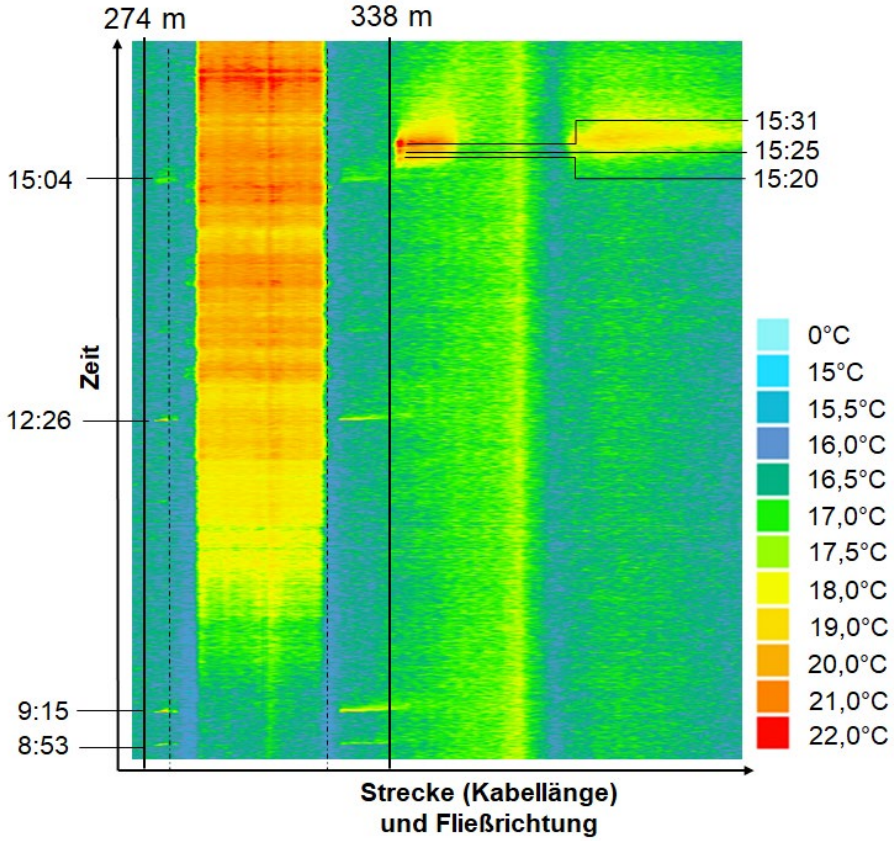


Abb. 63: Fehleinleitungen Testgebiet 2 in Wuppertal am 13.10.2018

In Tab. 16 sind alle im Messzeitraum festgestellten Zuflüsse an diesen beiden Einleitstellen aufgeführt. An Position 1 (274 m) konnte insgesamt an fünfzehn Tagen eine Einleitung festgestellt werden, an Position 2 (338 m) an zehn Tagen. Alle Einleitungen fanden zwischen 8:30 und 21:00 Uhr statt und traten an allen Wochentagen außer montags auf. Mit Hilfe des Stutzenplans konnten die beiden Einleitstellen genauen Adressen zugeordnet werden.

Tab. 16: Liste der festgestellten Einleitungen im zweiten Testgebiet in Wuppertal

Tag und Datum	Zeiträume	
	Position 1	Position 2
Do 11.10.2018	12:41, 14:19, 16:05	18:32
Fr 12.10.2018	11:48	19:15
Sa 13.10.2018	8:53, 9:15, 12:28, 15:05	3x von 15:20 bis 15:30
Di 16.10.2018		18:22 bis 18:33
M 17.10.2018		16:02
Do 18.10.2018		19:24 (kalt)
Sa 20.10.2018	15:37, 15:50	
So 21.10.2018	12:55, 14:32	
Mi 24.10.2018	16:53	
Do 25.10.2018	10:03, 11:02, 13:30	
Fr 26.10.2018	13:24	
Sa 27.10.2018	16:29 bis 17:08	
Do 01.11.2018		11:22
Fr 02.11.2018		19:51
Sa 03.11.2018	16:17	
Mi 07.11.2018	12:02, 16:00, 16:24, 18:01	
Do 08.11.2018	15:44	
Fr 09.11.2018	16:14	
Fr 16.11.2018	13:57, 15:25	
Sa 17.11.2018	13:25	
Do 22.11.2018		20:39 bis 20:49
Fr 23.11.2018		20:35 bis 20:53

Neben diesen beiden Stellen, konnten im Laufe der Messung zusätzlich noch drei weitere Zuflüsse detektiert werden, die jedoch jeweils nur einmal aufgetreten sind. Am 26.10.2018 um 13:50 Uhr wurde ein Zufluss genau auf Höhe von Schacht 2 gemessen (Abb. 64). Am 29.10.2018 um 8:33 Uhr kam es zu einer Einleitung oberhalb des Untersuchungsgebietes, deren genauer Ursprung anhand dieser Messung nicht bestimmt werden konnte (Abb. 65).

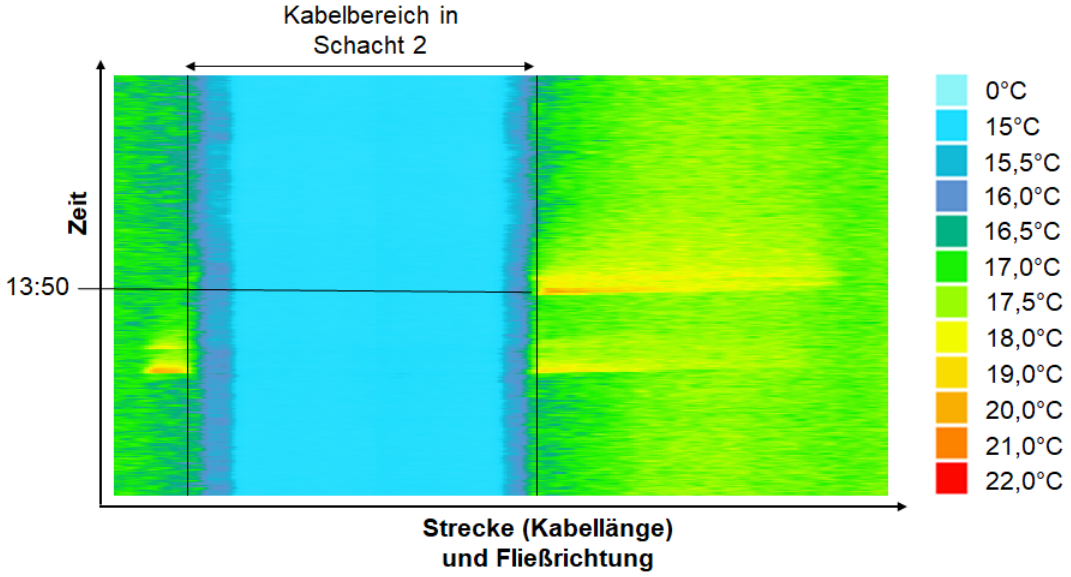


Abb. 64: Einmalige Einleitung in Höhe von Schacht 2 am 26.10.2018 (Testgebiet 2 in Wuppertal)

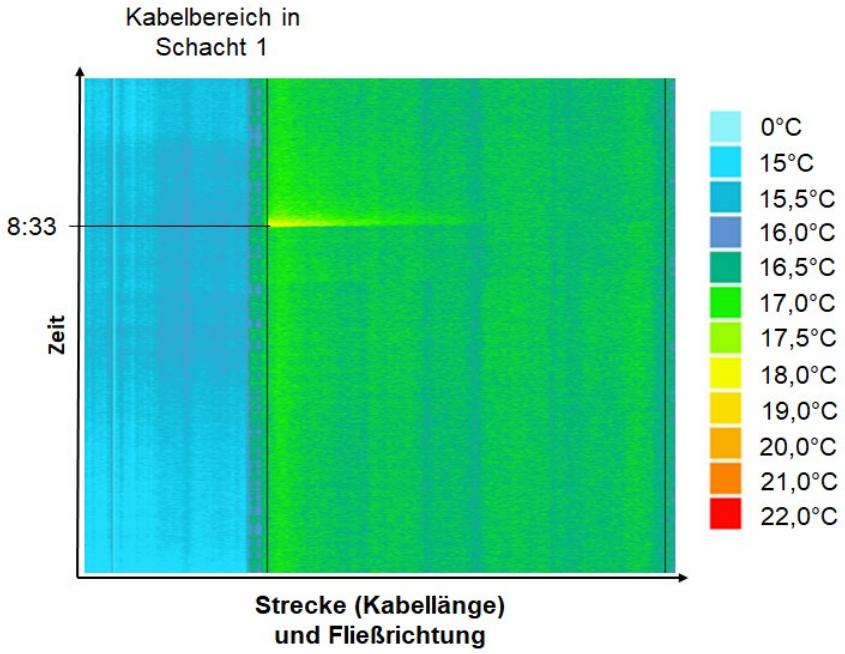


Abb. 65: Einmalige Einleitung oberhalb der Messung am 29.10.2018 (Testgebiet 2 in Wuppertal)

Die dritte einmalige Einleitung wurde am 31.10.2018 um 17:56 Uhr bei 236 Kabelmetern, also rund 44 m vor Schacht 2, festgestellt. Die Einleitung konnte anhand des Stutzenplans nicht exakt zugeordnet werden. In Verbindung mit der kalten Temperatur der Einleitung ist zu vermuten, dass diese Einleitung über einen Straßeneinlauf stattgefunden hat (Abb. 66).

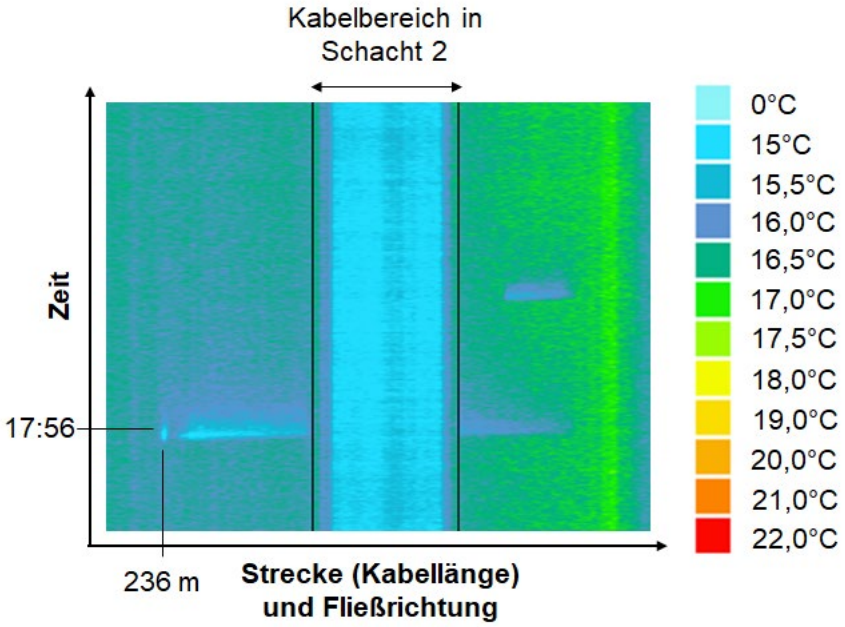


Abb. 66: Einmalige Einleitung bei 236 Metern am 31.10.2018 (Testgebiet 2 in Wuppertal)

Eine weitergehende Detektion auf den jeweiligen Grundstücken resp. Gebäuden liegt im Verantwortungsbereich der Wuppertaler Stadtwerke. Bereits vor den Untersuchungen hatte es eine Bürgerbeschwerde gegeben. In einem teilkanalisierten Bachlauf war es wiederholt zu dickflüssigen rotgefärbten Einleitungen gekommen. Im Rahmen der DTS-Messungen konnten in unregelmäßigen Abständen Einleitungen eines lebensmittelverarbeitenden Betriebes ermittelt werden. Hier lag allerdings kein Fehlanschluss vor. Allerdings wurden Behälter mit Lebensmittelresten (z. B. Tomatensoße) auf dem Hofgelände ausgespült, die über den Hofeinlauf in die Regenwasserkanalisation gelangt sind und zu den erfassten Temperaturauffälligkeiten führten.

6.1.5 Maßnahmen und Ergebnisse im Testgebiet 3 in Wuppertal

Die verwendeten Kabel hatten im dritten Testgebiet in Wuppertal bereits ihren sechsten Einsatz. Damit konnte ein maßgebliches Ziel des Projekts, die Kabeleinsätze deutlich zu erhöhen, erreicht werden.

In Abb. 67 ist ein kompletter Tagesverlauf für die gesamte Messstrecke dargestellt. Zwischen den Teilkabeln traten Temperatursprünge von bis zu 1 °C auf. Warme und kalte Einleitungen konnten an allen Teilkabeln gut erkannt werden.

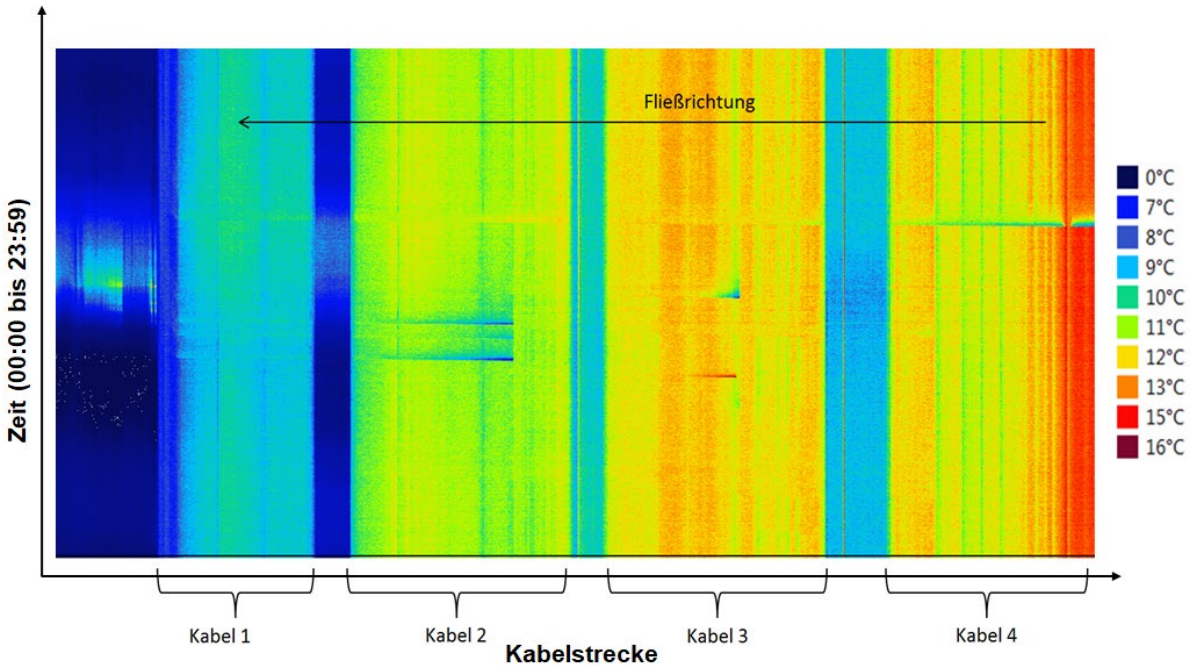


Abb. 67: Temperaturverlauf in Testgebiet 3 in Wuppertal

Während der gesamten Messdauer von über zwei Monaten konnten insgesamt 29 Stellen entlang der Kanalstrecke von 858 m detektiert werden, an denen Temperaturunterschiede auf eine mögliche Fehleinleitung hinweisen. Die Häufigkeit des Auftretens von möglichen Fehleinleitungen war an den verschiedenen Positionen sehr unterschiedlich. Vierzehn Stellen, an denen im gesamten Zeitraum nur 1 bis 4 Einleitungen detektiert wurden, welche zum Teil nur im Zusammenhang mit Niederschlagsereignissen aufgetreten sind, wurden zunächst als wenig relevant eingestuft. Weiteren acht Stellen, mit bis zu zehn Einleitungen, wurde eine mittlere Relevanz und sieben Stellen mit mehr als zehn Einleitungen, eine hohe Relevanz zugeordnet. Die Einleitungen traten zu unterschiedlichen Zeiten, an einigen Stellen auch nachts und am Wochenende auf. Auch die Temperaturen der Einleitungen waren an den verschiedenen Stellen unterschiedlich. Tab. 17 gibt einen Überblick über das Auftreten der häufigsten Fehleinleitungen im Testgebiet 3 in Wuppertal.

Mithilfe der Ergebnisse der DTS-Messung müssen die lokalisierten Fehleinleitungen in einem nächsten Schritt genauer untersucht und die Probleme behoben werden. Zur Feststellung des Ursprungs der jeweiligen Einleitung sollten große Anschlüsse befahren werden. Für kleinere Anschlüsse können Tracerversuche durchgeführt werden. Die Untersuchungen möglicher Fehleinleiter sollte in folgender Reihenfolge vorgenommen werden:

Priorität 1: Anschlüsse der Betriebe, die mit Tensiden arbeiten

Priorität 2: Fehlanschlüsse, bei denen die Einleitung wärmer ist als die Hintergrundtemperatur im Kanal

Priorität 3: Weitere Anschlüsse mit mehr als 10 Einleitungsereignissen

Nach Untersuchung und Beseitigung der Fehlanschlüsse, sollten auf Inhaltsstoffe im Regenklärbecken (Tenside oder Hygieneartikel) weiter geachtet werden.

Tab. 17: Auftreten der häufigsten Einleitungen im Testgebiet 3 in Wuppertal

Spezifikation der Einleitung	1	2	3	4	5	6	7
Werktag	+	+	+	+	+	+	+
Wochenende	-	-	+	+	+	+	+
tagsüber	+	+	+	+	+	+	+
nachts	-	+	+	+	+	+	+
warm	-	+/-	+	-	+/-	+	-
kalt	+	+	+/-	+	+	-	+
(+) trifft voll (-) trifft gar nicht zu (+/-) trifft teilweise zu							

Nach Abschluss der Untersuchungen konnten auf der Basis der Untersuchungen zwei Betriebe konkret untersucht werden, die Tenside lagern und umschlagen. Die Grundstückentwässerungsanlagen der Betriebe wurden untersucht. Ein Fehlanschluss lag nicht vor. Aufgrund der Situationsanalyse vor Ort kann es vorkommen, dass bei Ab- oder Umfüllprozessen oder bei Behälterspülungen ein Eintrag über die Hofeinläufe erfolgt. In der Folgezeit ist kein Schaumaufkommen mehr beobachtet worden.

6.2 Fehleinleiterdetektion im Testgebiet Warendorf

6.2.1 Ergebnisse der DTS-Messung

Es wurden insgesamt 2.791 m Kanal mit 396 Hausanschlüssen und 1.420 angeschlossenen Anwohnern untersucht. In dem fast fünfmonatigen Messzeitraum konnten in beiden Teilgebieten insgesamt 58 Stellen registriert werden, an denen bei Trockenwetter nicht näher zu definierendes Wasser in den Regenwasserkanal gelangt ist.

An 13 Stellen erfolgten die Einleitungen in regelmäßig in Abständen von fünfzehn Minuten bis zu acht Stunden. Abb. 68 zeigt den entsprechenden Temperaturverlauf für eine Stelle, an der ca. alle eineinhalb Stunden eine Einleitung stattgefunden hat. Diese regelmäßigen Einleitungen sind ein Indiz für angeschlossene Drainagewassereinleitungen mit festem Pumpenzyklus. Diese Situation wurde in Warendorf häufig festgestellt. Die Temperaturunterschiede des eingeleiteten Drainagewassers sind nur relativ gering, konnten aber sehr gut detektiert werden.

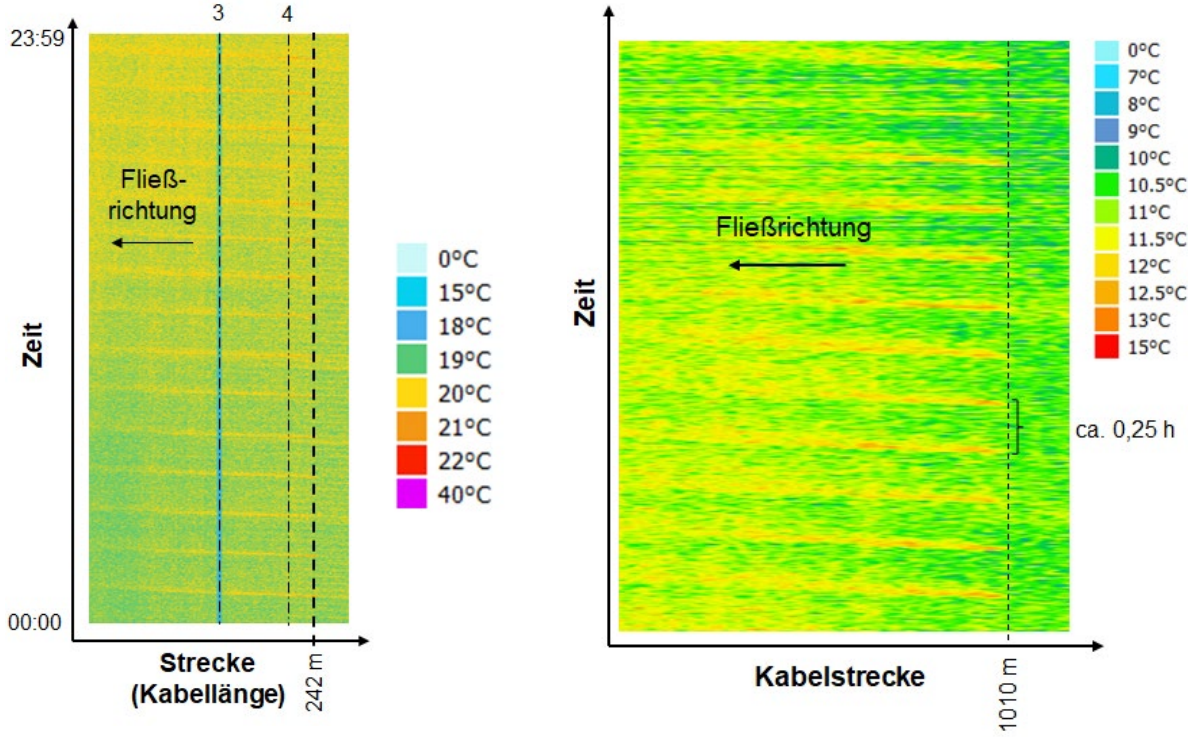


Abb. 68: Beispiel regelmäßiger Einleitungen durch Drainagepumpen innerhalb des Testgebietes in Warendorf

An 45 Stellen erfolgten die Einleitungen unregelmäßig in einem Häufigkeitsspektrum von „mehrmals täglich“ bis „einmal im gesamten Messzeitraum“. Abb. 69 zeigt drei Stellen, an denen unregelmäßige Einleitungen häufig detektiert wurden. An den Positionen 650 m und 713 m fanden fast täglich ein bis drei Einleitungen statt. Beide Stellen konnten mithilfe von Planunterlagen einzelnen Hausanschlüssen zugeordnet werden. An der Position 682 m befindet sich ein Schacht an dem ca. alle ein bis drei Tage Einleitungen festgestellt wurden. Die zu verschiedenen Zeitpunkten detektierten Einleitungen an diesem Schacht stammen

aus einem Kanalstrang, in dem während des hier dargestellten Messzeitraumes kein Kabel eingebaut war.

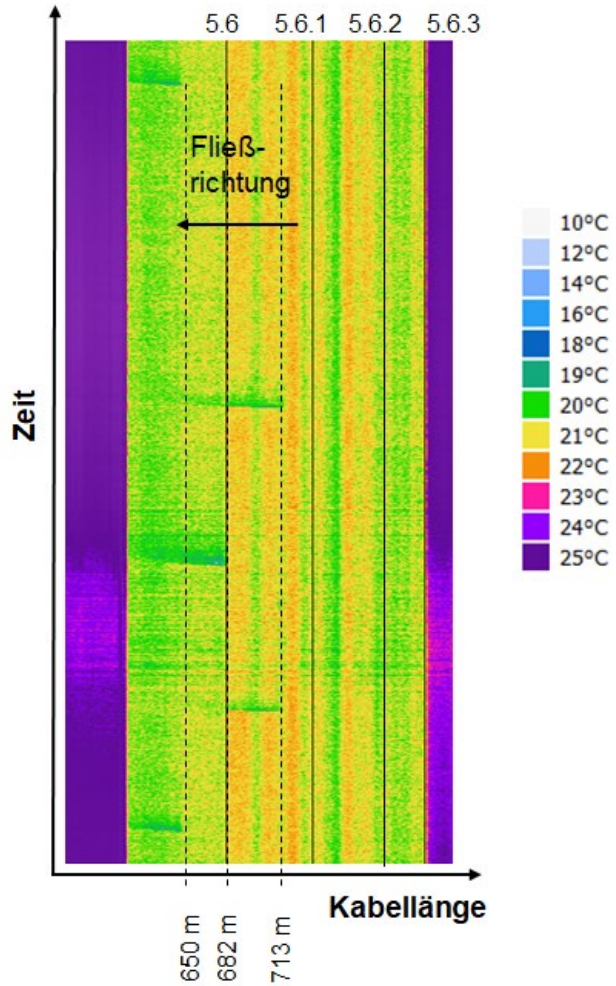


Abb. 69: Beispiel unregelmäßiger Einleitungen im Testgebiet in Warendorf

Die in Abb. 70 dargestellte Einleitung mit sehr hoher Temperatur fand fast täglich, vor allem abends statt und erstreckte sich häufig über ca. eine Stunde. Zum Teil fanden auch mehrere dieser Einleitungen hintereinander statt.

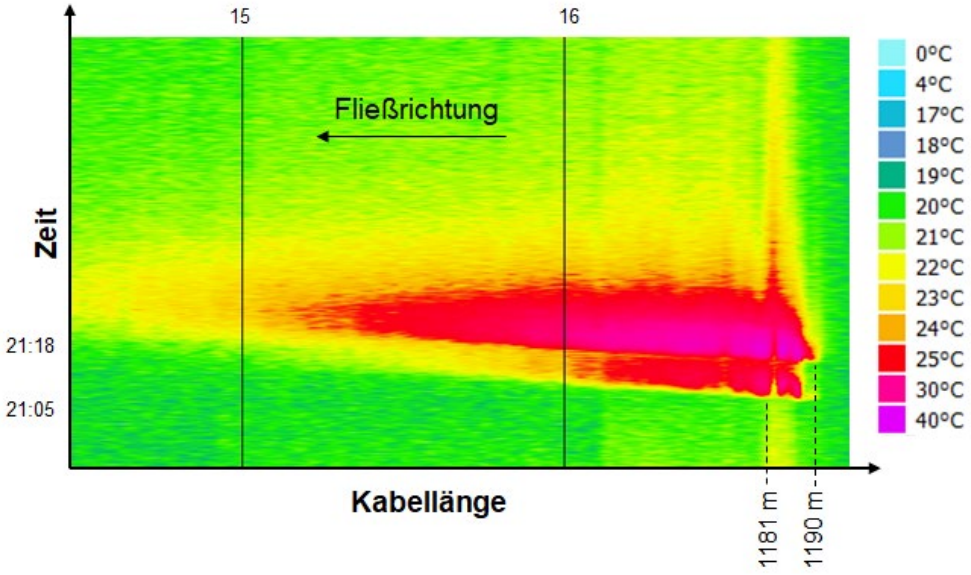


Abb. 70: Häufig auftretende Einleitung mit hoher Temperatur über einen Zeitraum von bis zu einer Stunde im Testgebiet in Warendorf

Um das Kabel bei Abzweigen nicht in Teilstücke zu zerschneiden, erfolgte eine Verlegung in beiden Fließrichtungen. Am Kanalende wurde das Kabel durch eine Kanalschlaufe umgedreht. In diesen Kanalabschnitten lagen somit zwei parallele Kabelstränge. Ein Beispiel der Messdaten veranschaulich Abb. 71. Durch die parallele Verlegung entsteht ein symmetrisches Bild der Temperaturverläufe.

Die Ergebnisse über die gesamte Messstrecke im Teilgebiet B sind für einen Tag in der ersten Messperiode in Abb. 72 dargestellt. Im Verlauf der Messstrecke sind die Bereiche des Glasfaserkabels zu sehen, die in einem Schacht jeweils auf einer Kabeltrommel aufgewickelt waren (Bereich der gestrichelten Linie). In weiteren Bereichen der Messstrecke, sind die Bereiche mit parallelem Verlauf des Kabels zu erkennen. In diesen Bereichen entsteht ein symmetrisches Abbild der Temperatur. Die regelmäßigen Einleitungen waren mit beiden Kabelsegmenten gut zu lokalisieren.

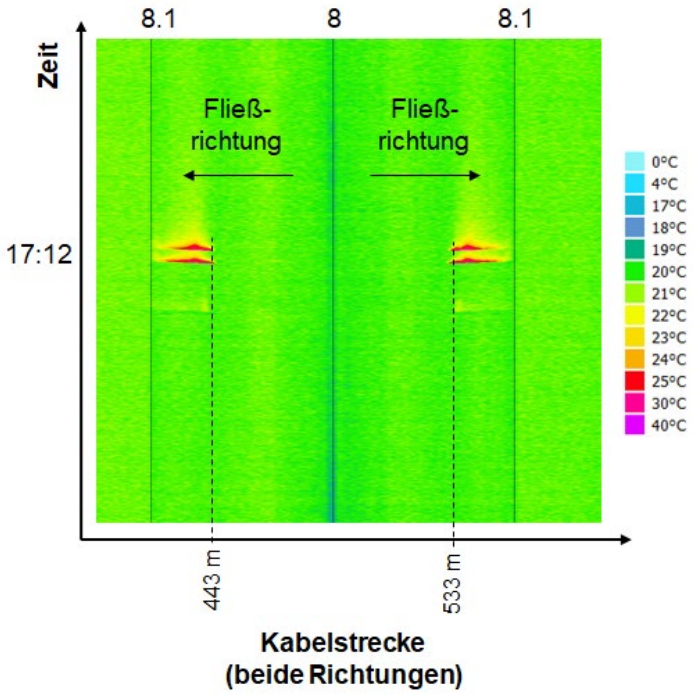


Abb. 71: Ergebnis der DTS-Messung bei paralleler Kabelführung (Schlaufe) mit symmetrischem Temperaturverlauf

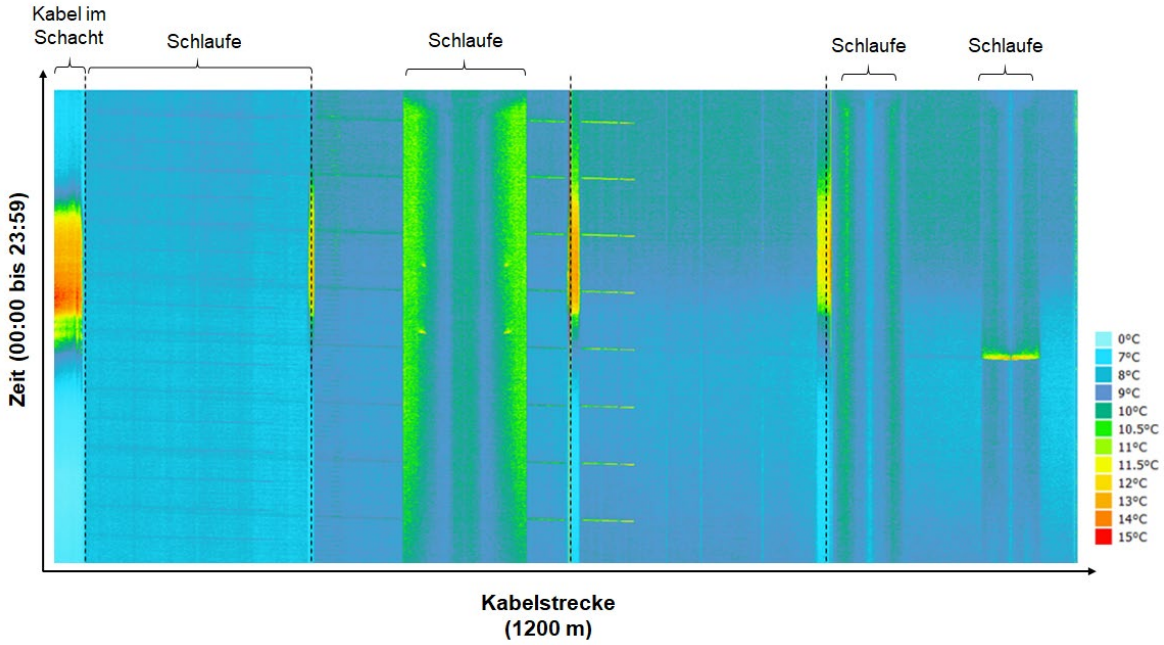


Abb. 72: Ergebnis der DTS-Messung an jeweils einem Tag in Teilgebiet B1 mit Darstellung der Doppelmessung durch parallele Kabelführung (Schlaufe) bei Abzweigen

Es war möglich, einen Großteil aller Einleitungen eindeutig den in den Planunterlagen eingetragenen Stutzen zuzuordnen. Bei sehr nah beieinander oder gegenüberliegenden Stutzen war keine eindeutige Zuordnung, aber eine Eingrenzung möglich. Tab. 18 gibt einen Überblick über die Zuordnung der Einleitungen zu einzelnen Grundstücken, Schächten und Straßeneinläufen. In einem Fall war in den Planunterlagen an der betroffenen Stelle kein Stutzen eingetragen.

Tab. 18: Zuordnung detektierter Einleitungen zum Verursacher im Testgebiet in Warendorf

Genau ein Hausanschluss zuzuordnen	29
Mehrere mögliche Anschlüsse (Grundstück oder Straßeneinlauf)	15
Zufluss aus einem Abzweig (mehrere mögliche Grundstücke)	8
Straßeneinlauf	5
Kein (bisher bekannter) Anschluss	1

6.2.2 Ermittlung von Fehleinleitungsindikatoren durch Abflussbeprobung

Am Verbindungsschacht der beiden Teilgebiete A und B wurde eine Stichprobe zur Analyse der Inhaltsstoffe entnommen, nachdem die DTS-Messung bereits gezeigt hatte, dass in beiden Gebieten zahlreiche Einleitungen bei Trockenwetter stattfanden. Untersucht wurden Parameter, die vorzugsweise im Schmutzwasser enthalten sind, wie Arzneimittelrückstände oder synthetische Süßstoffe. Die Laborergebnisse zeigen (Tab. 19), dass Schmutzwasserabflüsse mit hoher Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden können. Die analysierten Stoffkonzentrationen der Probe entsprachen dem Wertebereichen von Oberflächengewässern. Die Werte sind ein Beleg möglicher Drainagewassereinleitungen. Allerdings sind die mit der DTS-Messung ermittelten Auffälligkeiten mit teilweise erhöhten Temperaturen durchaus auch als Abwassereinleitungen zu interpretieren.

Tab. 19: Analyseergebnisse im Testgebiet in Warendorf entnommen an Schacht 5 (Entnahme am 21.08.2018 - Laboreingang am 22.08.2018)

Parameter	Einheit	Messwert	Verfahren
EDTA	µg/l	2,2	EN ISO 16588
Tenside, anionisch	mg/l	< 0,05	EN ISO 16265
Tenside, nichtionisch	mg/l	< 0,2	Hausmethode
Koffein	µg/l	0,4900	LC-MS/MS (in Anl. AN DI..
Diclofenac	µg/l	< 0,015	LC-MS/MS (in Anl. AN DI..
Ibuprofen	µg/l	< 0,01	LC-MS/MS (in Anl. AN DI..
Acesulfam	µg/l	5,0	LC-MS/MS (in Anl. AN DI..
Asparatam	µg/l	< 0,05	LC-MS/MS (in Anl. AN DI..

6.2.3 Kontaktaufnahme und Ortstermine

Um sicherzustellen, dass die detektierten Temperaturauffälligkeiten tatsächlich durch Fehleinleitungen hervorgerufen wurden, sind Untersuchungen auf den jeweiligen Grundstücken erforderlich. Nachträgliche Untersuchungen zur Validierung der Ergebnisse aus der DTS-Messung wurden von den Abwasserbetrieben Warendorf teilweise mit Unterstützung der FH Münster durchgeführt. Hierzu wurden die betroffenen Haushalte kontaktiert, um einen Termin zur Besichtigung abzustimmen und wenn möglicherweise durch Tracerzugabe einen möglichen Fehlanschluss zu ermitteln. Die Umsetzung dieser Maßnahmen kann aufwändig sein. So sind bei Mehrparteienhäusern theoretisch Zugänge zu allen Wohnungen erforderlich. Zudem können bei größeren Objekten die Grundstücksentwässerungssysteme sehr komplex sein. Bei größeren Objekten, die beispielsweise im Besitz kommerzieller Gesellschaften sind, war die Kontaktaufnahme und Abstimmung teilweise schwierig.

Für größere Objekte, wie Mehrfamilienhäuser, wurde daher zunächst ein anderes Vorgehen gewählt. Hier wurde der Regenwasserkanal mit einer Kamera befahren und von dort aus die Grundstückleitungen untersucht. Bei der Befahrung der Grundstücksleitungen mit der Kamera konnten allerdings keine unmittelbaren Hinweise auf Fehleinleitungen festgestellt werden.

Die angeschriebenen Bewohner von Ein- oder Zweifamilienhäusern zeigten sich in den meisten Fällen sehr kooperativ. Hier war eine Untersuchung der signifikantesten Einleitungen mit Farbtracern problemlos möglich.

Die detektierten Fehleinleitungen wurden nach Häufigkeit des Auftretens priorisiert und schrittweise untersucht. Bei der Ortsbegehung zeigte sich, dass eine Vielzahl der Einleitungen durch Drainagepumpen verursacht wurde. Teilweise wurde aus mehreren Schächten auf einem Grundstück in einen Sammelschacht gepumpt. Hierdurch zeigte die Auswertung der Messergebnisse eine unregelmäßige Einleitung, welche leicht als „Fehleinleitung“ interpretiert werden kann (Hinweis: der Umgang mit Drainagewasser ist in der Regel in den Ortssatzungen geregelt). Diese Einleitungen wurden durch die DTS-Messung zuverlässig detektiert. Allerdings war eine unmittelbare Interpretation, ob eine Fehleinleitung oder eine Drainagewasserzuleitung erfolgte, nicht immer zweifelsfrei erkennbar. Die Untersuchungen auf den Grundstücken erfolgte aus Termingründen im Rahmen des Projektes erst nachdem die Kabel ausgebaut waren. Dieser Ablauf ist zukünftig nicht zu empfehlen. Eine zeitnahe Auswertung und Überprüfung vor Ort, noch während der DTS-Messung, führt zu einer sicheren Detektion und erfordert einen geringeren Aufwand. Problematisch ist, wie oben erwähnt, wenn Grundstückseigentümer nur stark verzögert reagieren und zwischen Messung und Kontrolle vor Ort eine gewisse Zeit verstrichen ist. Es ist auch nicht auszuschließen, dass Grundstückeigentümer wissen, dass eine Fehleinleitung vorhanden ist und diese nach Kontaktaufnahme unmittelbar beseitigen.

Durch die Vielzahl der in Warendorf festgestellten Einleitungen und der stellenweise langwierigen Terminfindung mit den Anwohnern, konnten im Rahmen des Projektes nicht alle der 58 Problemstellen untersucht werden. Die Stadt Warendorf führt nachträglich weitere Untersuchungen zur Beseitigung möglicher Fehleinleitungen durch.

Bei einem Objekt konnte mit dem Farbtracer eine Fehleinleitung eindeutig nachgewiesen werden. In diesem Fall war ein Einfamilienhaus, in dem mehrere Bewohner leben, falsch angeschlossen. Ein Beispiel für die Fehleinleitung aus diesem Objekt zeigt Abb. 73. Die Dauer und Temperatur der Einleitung ist mit hoher Wahrscheinlichkeit auf einen Duschvorgang zurückzuführen. Durch Tracerzugabe in Entwässerungsanlagen des Gebäudes konnte der Fehlanschluss zweifelsfrei nachgewiesen werden (Abb. 74). Der Grundstückeigentümer wurde schriftlich informiert und mit Fristsetzung gebeten, den Fehlanschluss zu beseitigen. Der Umschluss ist umgehend durchgeführt worden.

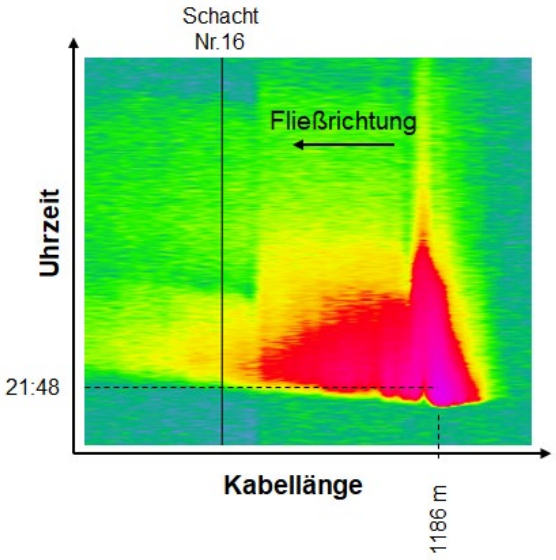


Abb. 73: Durch die DTS-Messung detektierte Fehleinleitung im Untersuchungsgebiet in Warendorf

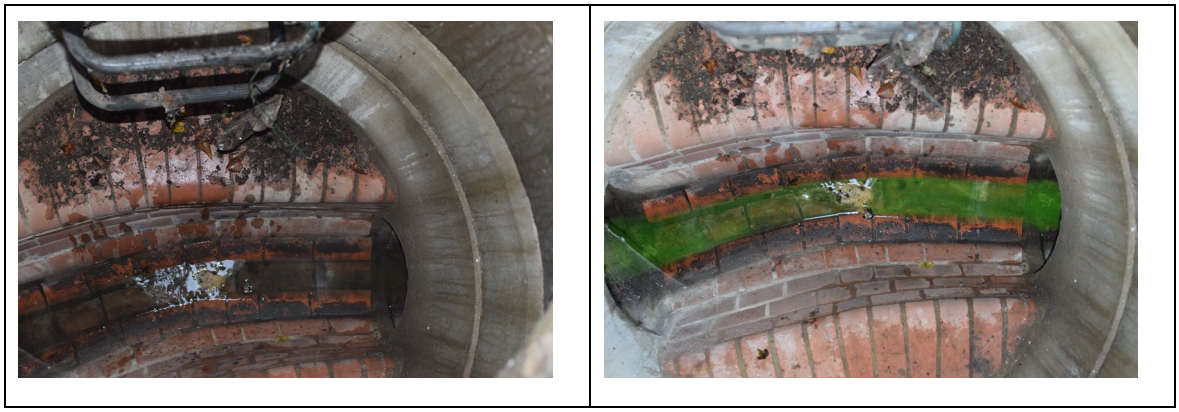


Abb. 74: Durch Tracerzugabe detektierte Fehleinleitung im Untersuchungsgebiet in Warendorf (rechtes Bild mit Tracer)

7 Qualität der Dokumentation von Grundstücksentwässerungsanlagen

Bei der Analyse von Grundstücksentwässerungsleitungen zur Detektion von Fehleinleitungen stellte sich heraus, dass nicht grundsätzlich von einer zuverlässigen Dokumentation des Bestandes ausgegangen werden kann. 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 Fehlanschlüsse sogar dokumentiert sind
- Fehlende Unterlagen (gerade bei älteren Gebäuden)

Ein Beispiel einer dokumentierten Fehleinleitung zeigt Abb. 75. Hier wurde der Anschluss eines Mischwasserkanals an den Schmutzwasserkanal einer Trennkanalisation abgenommen.

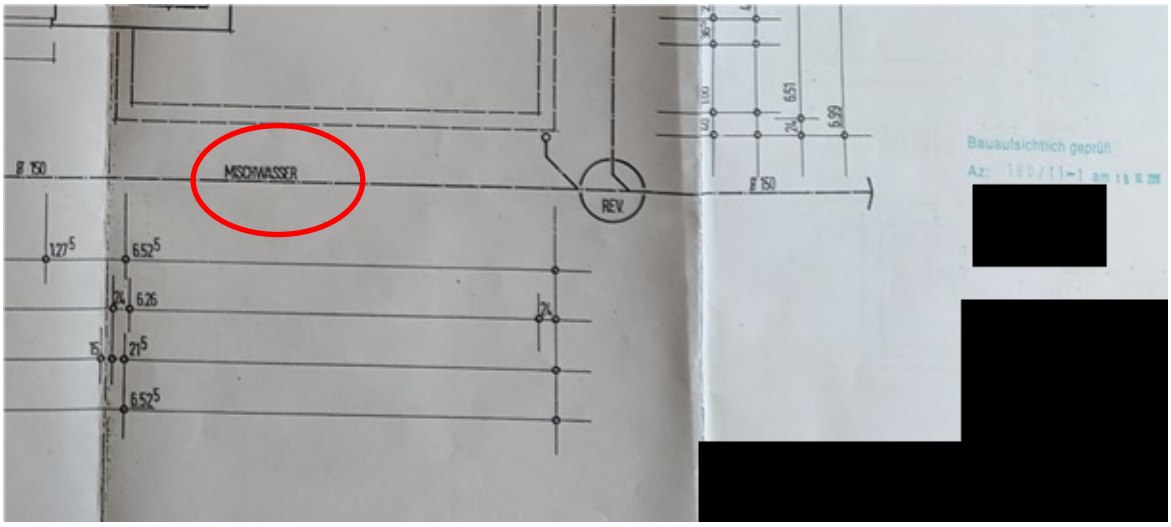


Abb. 75: Beispiel für die Abnahme eines privaten „Mischwasseranschlusses“ an den Schmutzwasserkanal in einem Trennsystem

Exemplarisch veranschaulichen Abb. 76 und Abb. 77 die Dokumentation von Grundstücksentwässerungsanlagen. Die Pläne zeichnen sich nicht durch eine uneingeschränkte Übersichtlichkeit aus. Im Rahmen des Abnahmeprozesses wurden Fehler festgestellt und korrigiert. Die genaue Lage der Leitungen und Schächte ist auf den korrigierten Plandokumenten allerdings teilweise nur schlecht zu erkennen. In beiden Fällen erfolgte zudem 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.

Bei dem in Abb. 76 dargestellten Anschluss wurden die Leitungen vertauscht. Hier hatte der planende Architekt bereits die Lage der öffentlichen Kanäle verwechselt. Der Fehler wurde bei der Abnahme zwar bemerkt und handschriftlich korrigiert, dennoch kam es bei der Bauausführung zu einem Fehlanschluss.

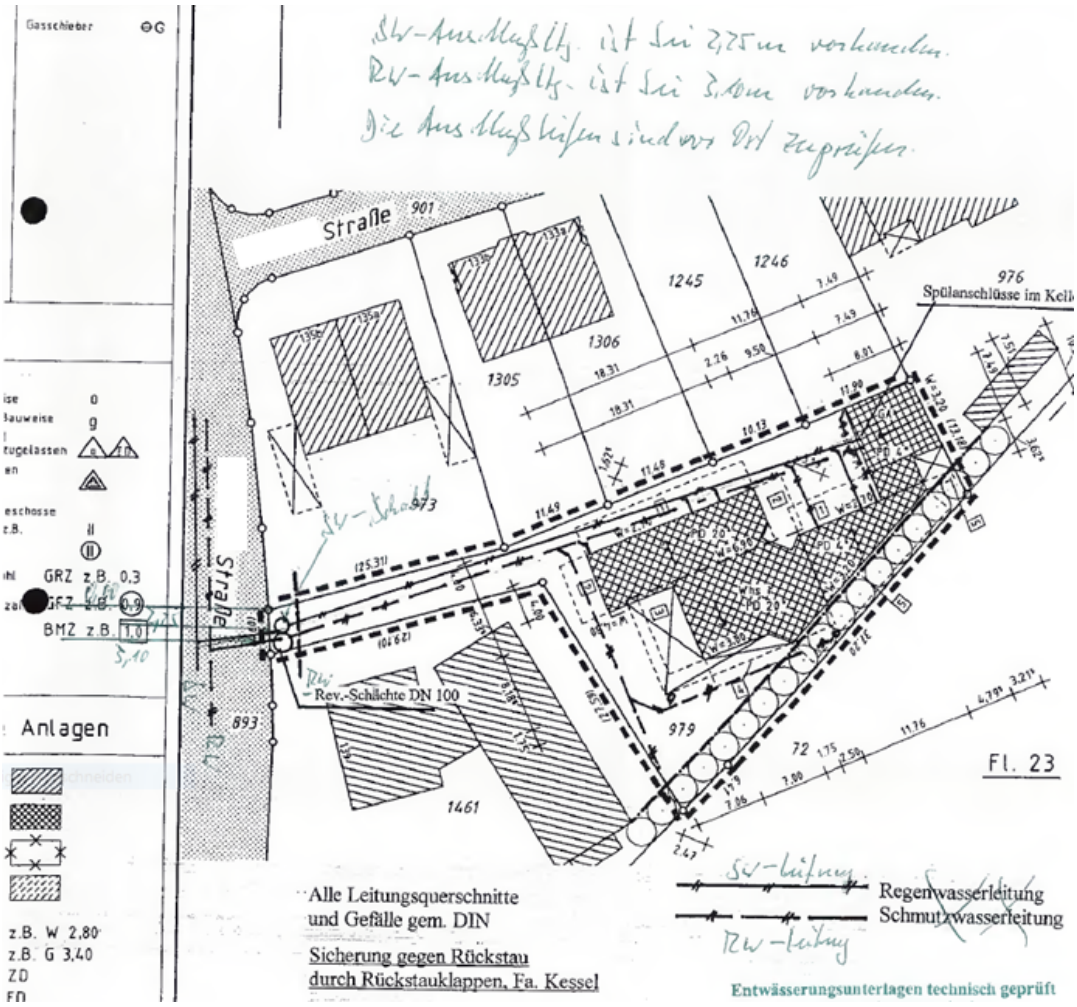


Abb. 76: Beispiel für die Dokumentation eines Hausanschlusses mit handschriftlichen Anmerkungen

Die Dokumentation in Abb. 77 zeigt eine nachträglich eingetragene Änderung der Grundstücksentwässerungsleitungen. Die handschriftlichen Änderungen belegen eine zeitsparende und möglicherweise pragmatische Lösung bei der Abnahme. Möglicherweise würde

die Forderung einer eindeutigen Dokumentation aber zur Verringerung des Risikos von Fehleinleitungen beitragen.

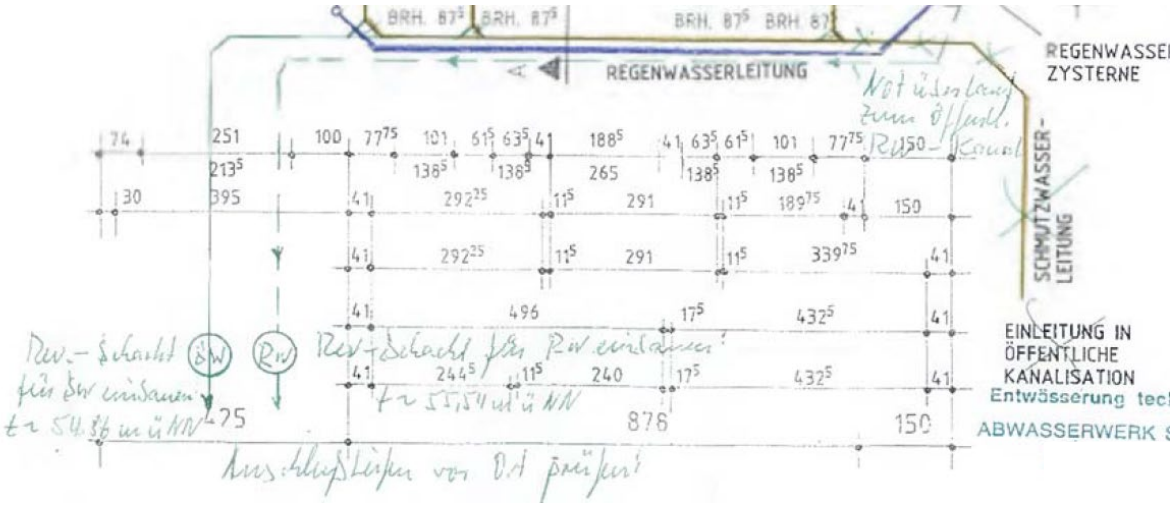


Abb. 77: Beispiel für die Dokumentation eines Hausanschlusses mit nachträglicher Änderung

8 Erfahrungen aus weiteren Messprogrammen in Kassel und Linnich

8.1 Messungen in Kassel

An einer Einleitung in die Drusel im Kasseler Ortsteil Wilhelmshöhe wurden wiederholt Hygieneartikel im Gewässer gemeldet. Bei der Einleitung handelte es sich um einen Regenwasserkanal aus einem Wohngebiet. Mithilfe intensiver Voruntersuchungen konnten Schwerpunktgebiete festgelegt werden, in denen es vermehrt zu Fehleinleitungen kam. Über einen Zeitraum von 4 Wochen wurden insgesamt ca. 3 km Kanal mit der DTS-Technik durch die Dr. Pecher AG im Auftrag von KasselWasser untersucht. Zuerst wurde für drei Wochen in zwei Kanalsträngen mit einer Gesamtlänge von 1,6 km gemessen. In dieser Zeit konnte unter anderem ein Fehlanschluss aus einem Seitenstrang identifiziert werden. Daher wurde das DTS-Kabel aus dem zweiten Strang in einen dritten Strang mit einer Länge von 1,5 km verlegt und die Messung für eine weitere Woche fortgeführt. Durch die Messung wurden 360 Anschlüsse überprüft. Abb. 78 zeigt die Messtechnik und das Glasfaserkabel im Bereich der Einleitung in das Gewässer.

Abb. 78: Messtechnik zur Detektion der Fehleinleitungen (KasselWasser und Dr. Pecher AG)

Bei den Messungen wurden sechs Schmutzwassereinleitungen identifiziert. An vier Stellen war es möglich, den Hausanschlussstutzen genau zu lokalisieren. Bei zwei weiteren Zuflüsse konnten die seitlichen Kanalsträngen detektiert werden, die in den untersuchten Kanal einleiten. Neben den sechs Schmutzwassereinleitungen konnten zwei Kaltwasserzuflüsse gefunden werden, die sich evtl. auf Drainagewasser zurückführen lassen. Den Projektablauf und Ergebnisse der Untersuchungen beschreiben Hoppe et al. (2015).

8.2 Messungen in Linnich

Im Zeitraum der Projektbearbeitung erfolgte durch die Dr. Pecher AG in Linnich eine DTS-Messung zur Detektion von Fehleinleitungen. An der Einleitungsstelle des Regenwassernetzes aus einem Wohngebiet in einen weiterführenden Graben wurden wiederholt Hinweise auf Fehleinleitungen festgestellt, wobei es sich insbesondere um eine starke Trübung des Wassers handelte (Abb. 79). Nachdem die Einleitungen mit herkömmlichen Untersuchungsmethoden nicht eindeutig lokalisiert werden konnten, sollte die DTS-Methode eingesetzt werden. Die Fläche des Gebiets beträgt ca. 2,8 ha. Untersucht wurde ein ca. 500 m langer Regenwasserkanal mit 62 Hausanschlüssen.

Abb. 79: Einleitung von Schmutzwasser in ein Gewässer in Linnich

Auf einer ca. 500 m langen Kanalstrecke kamen zwei Teilkabel mit einer Länge von je 300 m, sowie ein 50 m langes Verbindungskabel zum DTS-Computer zum Einsatz. Über einen Zeitraum von vier Wochen wurden alle 30 Sekunden in einem Abstand von je 20 Zentimetern die Temperaturen entlang des Kabels im Regenwasserkanal gemessen. Anschließend konnten die dabei festgestellten Unregelmäßigkeiten unter Zuhilfenahme des Stutzenplans ausgewertet und einzelnen Anschlüssen zugeordnet werden.

Durch die Messungen wurden an acht Stellen unzulässige Schmutzwassereinleitungen detektiert. Dabei handelte es sich um falsche Anschlüsse an die Regenwasserleitungen auf dem Grundstück. So wurde der Anschluss von Waschmaschinen, einer Industriespülmaschine, einem Waschbecken etc. detektiert. Außerdem wurden zudem Reinigungsmaßnahmen auf den Hofflächen nachgewiesen, bei denen eine Einleitung von Schmutzwasser über die Grundstücksentwässerung erfolgte. Darüber hinaus wurden seltene oder einmalige Einleitungen über Straßen- oder Hofeinläufe registriert.

Eine eindeutige Aussage über Einleitungen aus einem seitlichen Abzweig, in dem sich kein Kabel befand, kann nicht getroffen werden, da mögliche Temperaturänderungen durch oberhalb liegende Einleitungen überlagert wurden. Die Ergebnisse wurden nach Abstimmung mit der Stadt Linnich den betroffenen Einwohnern vorgestellt und erläutert. Die Stadt veranlasste daraufhin weitere Untersuchungen auf den betroffenen Grundstücken und konnte somit die Ursachen der Fehleinleitungen feststellen und beheben.

9 Kosten und Eignung unterschiedlicher Detektionsmethoden

9.1 Kosten für visuelle Inspektion (Benebelung und Kamerabefahrung)

9.1.1 Erfahrungen in Wuppertal

Für die Benebelung eines Kanalabschnittes werden in Wuppertal rund rund 200 € pro Stunde berechnet. Hierbei kommt ein Fahrzeug mit zwei Mitarbeitern zum Einsatz. Pro Stunde können je nach Anschlussdichte und sonstigen Randbedingungen 10 bis 15 Häuser benebelt werden. Vor der Benebelung wird die Feuerwehr informiert, falls es zu Meldungen über Rauchbildung aus dem untersuchten Gebiet kommt. In einigen Kommunen werden die betroffenen Anwohner einige Wochen vor Beginn der Benebelung postalisch über die Untersuchung informiert.

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 späteren Auswertung können größere Strecken in vergleichbaren Zeiträumen aufgenommen werden. Allerdings nimmt die Nachbearbeitung wiederum mehr Zeit in Anspruch. Bei der Dokumentation vor Ort werden 270 € pro Stunde berechnet. Die Kosten berücksichtigen ein Kamerafahrzeug und zwei Mitarbeiter. Je nach Beschaffenheit des Untersuchungsgebietes können so ca. 400 m Kanalstrecke pro Tag befahren werden.

In der Regel werden Kanäle vor Kamerabefahrungen gereinigt bzw. gespült. Die Reinigung erfordert ebenfalls ein Fahrzeug und zwei Mitarbeiter. Abhängig von der Anfahrtszeit, Nennweite und Verschmutzung können etwa 70 bis 100 Meter Kanalstrecke pro Stunde gereinigt werden. Die Kosten belaufen sich auf 256 € pro Stunde. 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.

9.1.2 Erfahrungen in Warendorf

In Warendorf werden für ein Spülfahrzeug Kosten von 110 bis 155 € pro Stunde berechnet. Pro Stunde werden etwa 400 m Kanal untersucht. Für ein Kamerafahrzeug werden 150 € pro Stunde angesetzt. Auch hier können Kanalstrecken von bis zu 400 m pro Stunde untersucht werden. Die Videoauswertung findet allerdings anschließend im Büro statt.

9.2 Kosten für die DTS-Messung und Möglichkeiten der Mehrfachnutzung

Die Kosten für die DTS-Messung sind neben der Größe und der Beschaffenheit des Messgebietes von der Wiederverwendung des Glasfaserkabels abhängig. Die Größe bzw. Beschaffenheit des Messgebietes bestimmt den nötigen Zeitaufwand, um die Messdaten aufzubereiten und auszuwerten. An einem Messtag, mit der im Rahmen dieses Projektes verwendeten Messkonfiguration, fallen über bis zu 20 Mio. Datenpunkte an.

Die Kosten für das in diesem Projekt verwendete Kabel inklusive der Stecker, den Glasfasermuffen und der Konfektionierung beliefen sich auf rund 3.700 €. Daraus ergibt sich ein Preis pro Meter Kabel von 3,08 €. Bei bisherigen Messungen mit einem durchgehenden Kabel, musste das Kabel zum Ausbau entweder zerstört, oder zeitaufwändig aus dem Kanal gezogen, auf eine Kabeltrommel aufgebracht und gereinigt werden (Abb. 80). Die kurzen Teilstücke ermöglichen neben dem vereinfachten Ein- und Ausbau zusätzlich eine Wiederverwendung. Zusätzlich können die Teilstücke auf handlichen Kabeltrommeln gelagert, von einer Person transportiert und während der Messung in den Schächten aufbewahrt werden.

Abb. 80: Ein 300 m langes Teilstück des Glasfaserkabels auf einer Kabeltrommel

Das in Warendorf eingesetzte durchgehende Kabel hat Kosten in Höhe von 646 € verursacht. Die Konfektionierung eines Steckers zum Anschluss des Kabels an den Messcomputer kostete zusätzlich noch einmal 263 €. Somit beliefen sich die Kosten für das durchgängige Kabel, welches zum Ausbau ebenfalls in zwei Teile geteilt werden musste, auf 909 €.

Zum Vergleich wurden die unterteilten Kabel insgesamt sechsmal (drei Messungen in Wuppertal, drei Umlegungen in Warendorf) ein- und ausgebaut und es wurden Untersuchungen im Labor der FH Münster durchgeführt. Für sechs Messungen mit einem durchgehenden Kabel, unter der Annahme, dass für jede Messung ein neues Kabel angeschafft werden muss, belaufen sich die Kosten auf rund 5.450 €. Hierbei ist allerdings zu beachten, dass mit den verwendeten Kabelteilstücken noch weitere Messungen durchgeführt werden können.

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. 81 und Abb. 82 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).

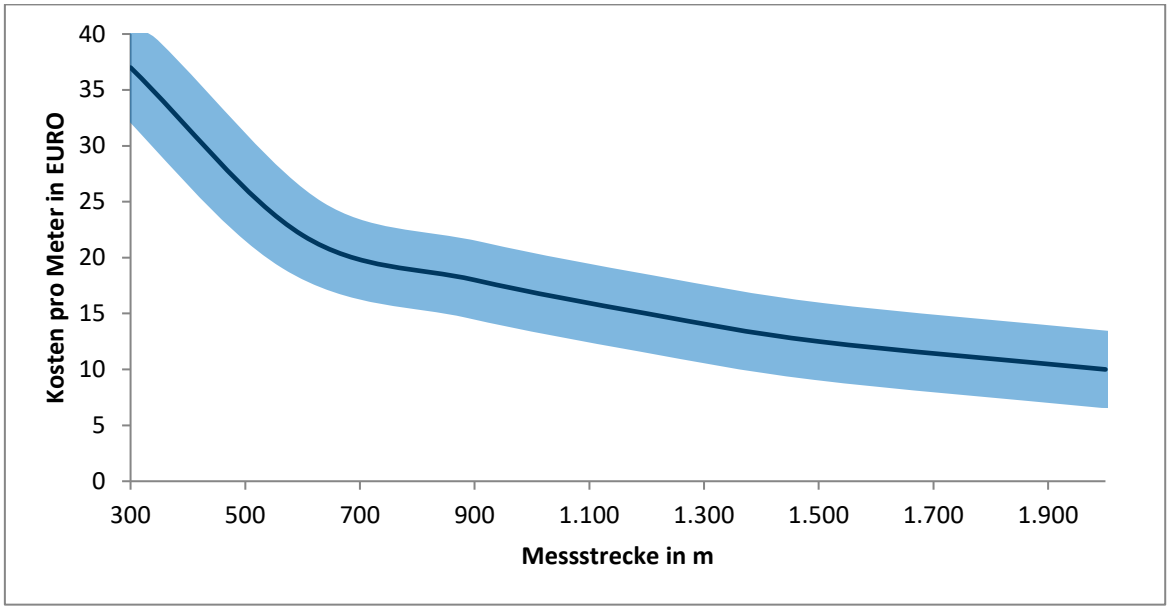


Abb. 81: Größenordnungen der spezifischen Kosten einer DTS-Messung bei normalen Einbaubedingungen für eine Messdauer von 3 Wochen bei unterschiedlich langen Messstrecken

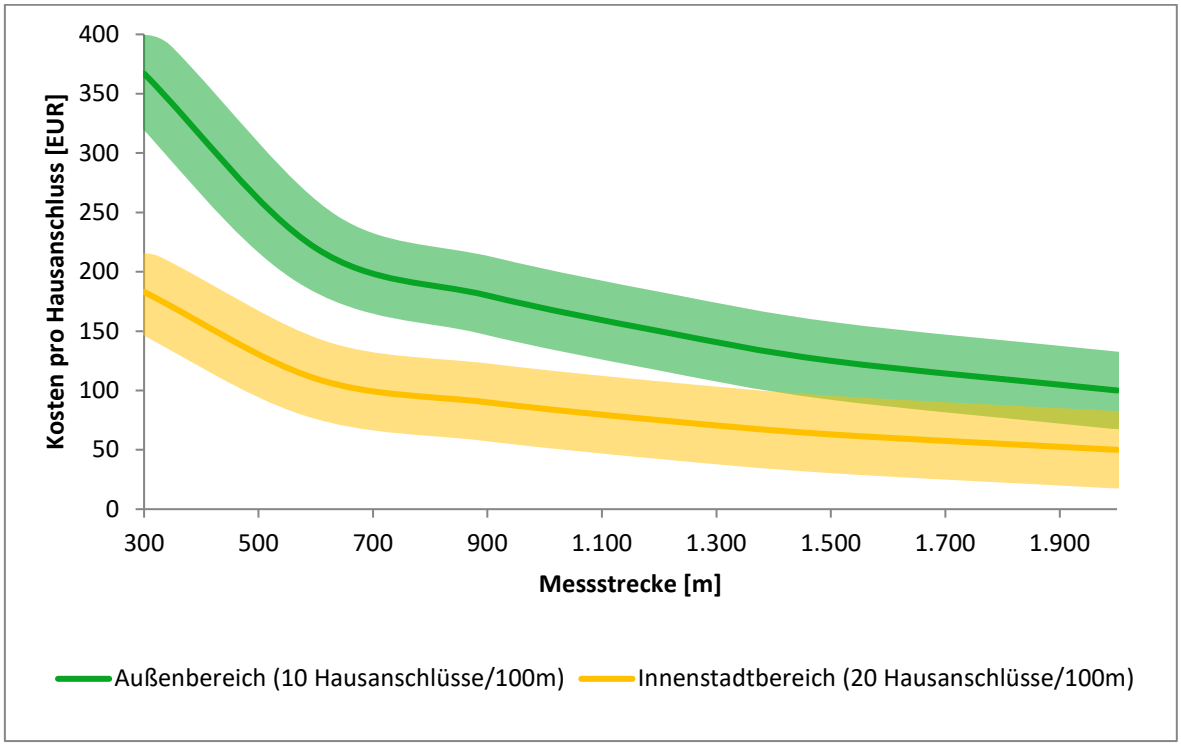


Abb. 82: Größenordnungen der spezifischen Kosten pro Hausanschluss bei einer DTS-Messung unter normalen Einbaubedingungen für eine Messdauer von 3 Wochen bei unterschiedlich langen Messstrecken

9.3 Einschränkungen bei Benebelungen

Zu den klassischen Detektionsmethoden zählt die Benebelung von Kanalabschnitten. Diese Methode eignet sich gut zur Detektion von Regenwasserleitungen an den Schmutzwasserkanal. Fehlangeschlossene 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 Lüftungsleitungen 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

Die DIN EN 12056 (Teile 1 bis 5) enthält Regelungen zur Schwerkraftentwässerungsanlagen innerhalb von Gebäuden. Um den Druck in den Leitungen zu kontrollieren, damit keine Kanalgase aus der Kanalisation in das Gebäude gelangen, sind Lüftungssysteme vorzusehen. Neben der bevorzugten Hauptlüftung, die generell über Dach zu führen sind, können auch Belüftungsventile verwendet werden, um eine Dachdurchführung zu vermeiden (Abb. 83). Belüftungsventile sind standardmäßig geschlossen. Sie öffnen bei Unterdruck, wenn Abwasser durch die Fallleitungen abfließt, beispielsweise bei Toilettenspülung. Während der Unterdruckphase strömt Luft durch das Ventil in das Rohrleitungssystem, so dass kein Sperrwasser aufgesaugt wird. Belüftungsventile funktionieren nach dem Schwerkraftprinzip. Im Normalzustand, d. h. ohne Unterdruck, liegt der Ventildeckel auf dem Rohrübergang auf und schließt dicht. Tritt in der Rohrleitung ein Unterdruck auf, wird der Deckel angehoben und es kann Umgebungsluft nachströmen. Sobald der Unterdruck wieder ausgeglichen ist, senkt sich der Ventildeckel ab und das Rohr schließt dicht. Einströmender Nebel wird somit bei Belüftungsventilen nicht sichtbar. Über die Hauptlüftung dagegen ist austretender Nebel sichtbar und damit ein Fehlanschluss zu detektieren (Abb. 83).

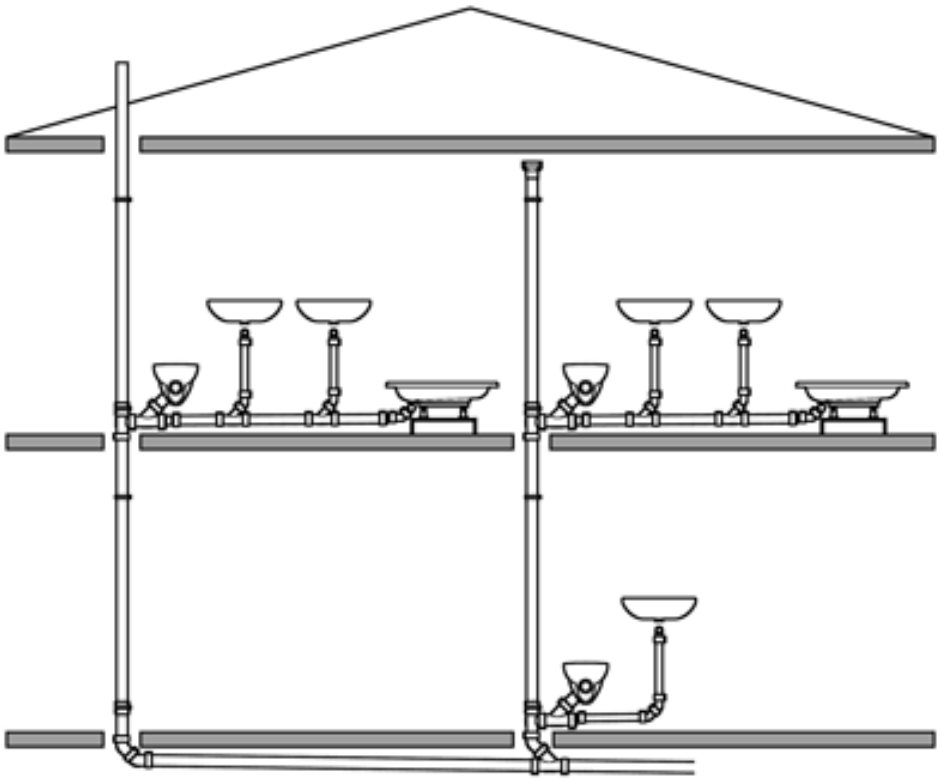


Abb. 83: Hauptlüftungsleitung (links) und Belüftungsventil als Ersatz für eine Hauptlüftung

Abb. 84: Detektion von Fehlanschlüssen durch Benebelung (Fa. Willi Preiß, Bayreuth)

Einschränkungen bei der Detektion von Fehlanschlüssen durch Benebelung bestehen durch Rückstausicherungen der Gebäude. Einen Schutz gegen Rückstau bieten entweder Rückstauverschlüsse oder eine Abwasserhebeanlage. Abb. 85 veranschaulicht die Möglichkeiten der Rückstausicherung.

Rückstauverschlüsse arbeiten nach dem Schwimmer- oder Klappenprinzip. Damit ist der Abfluss möglich, solange kein Einstau des öffentlichen Kanalnetzes erfolgt, der das System verschließt, denn Rückstauverschlüsse müssen im Normalbetrieb einen freien Durchlauf gewährleisten und bei Eintritt von Rückstau selbstständig schließen. Je nach Art und Beschaffenheit des Abwassers werden hierzu entweder Rückstauverschlüsse mit Pendelklappen für fäkalienfreies Abwasser oder mit motorischen Klappen für fäkalienhaltiges Abwasser eingesetzt. Die unterschiedlichen Typen sind in der DIN EN 13564-1 gelistet.

Ein Beispiel einer Rückstausicherung, auch für den nachträglichen Einbau in eine Bodenplatte, zeigt Abb. 86. Das dargestellte System sichert einzelne Entwässerungselemente wie Toilette, Dusche, Waschbecken, Waschmaschine und Kellertreppenaußenabgang unterhalb der Rückstauebene. Dabei fließt das Abwasser im freien Gefälle zum Kanal. Im Rückstaufall wird bei diesem System durch automatische Zuschaltung einer Pumpe auch gegen den Rückstaudruck entwässert.

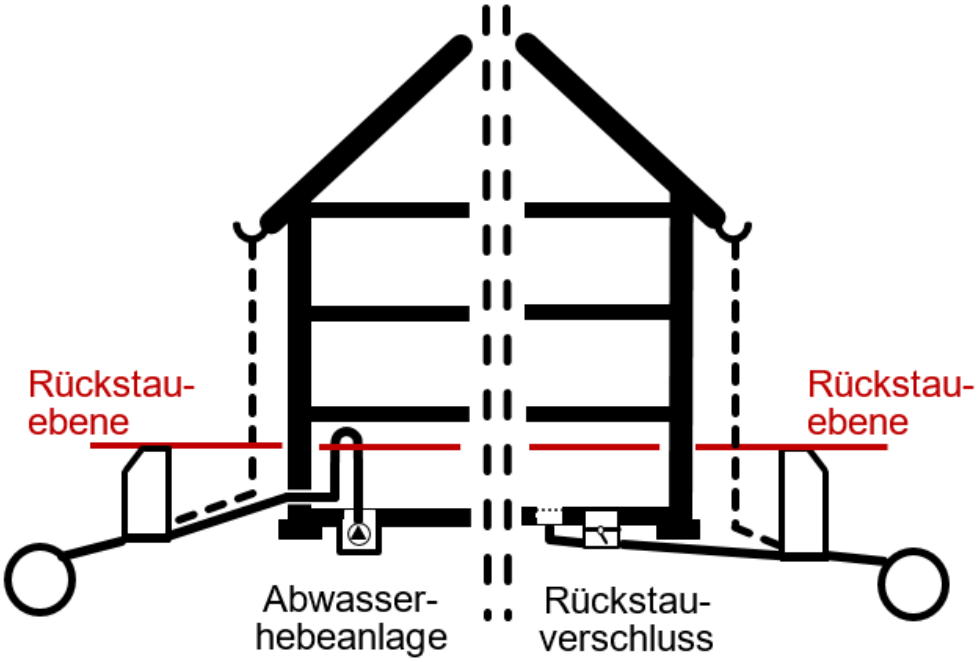


Abb. 85: Möglichkeiten der Rückstausicherung (linke Bildhälfte durch Abwasserhebeanlage und rechte Bildhälfte durch Rückstauverschluss)

Abb. 86: Beispiel einer Rückstausicherung in der Bodenplatte (Fa. Kessel)

In der Regel werden Rückstausicherungen in Mischwasserleitungen und in Regenwasserleitungen eingebaut. Doch auch in Schmutzwasserkanälen ist Rückstau möglich. Dazu tragen folgende Bedingungen bei:

- Verstopfung, Rohrbrüche oder andere Kanalschäden
- Ausfall von Pumpwerken
- Absperrungen einzelner Kanalabschnitte aufgrund von Reparaturen
- Verstärkter Abwasserzufluss (z. B. durch Kanalspülungen oder Feuerwehreinsätze)
- Erhöhter Abwasserzufluss durch Fehleinleitungen oder hohen Fremdwasseranteil

Bei der Wahl des Rückstauverschlusses ist zu beachten, ob fäkalienfreies Abwasser (Grauwasser) oder fäkalhaltiges Abwasser (Schwarzwasser) anfällt. Bei fäkalienhaltigem Abwasser sind die Klappen im Rückstausicherungssystem immer geöffnet und werden nur im Rückstaufall mit Hilfe eines Motors automatisch geschlossen. Bei diesen Systemen sollte der Durchgang des Signalnebels in der Regel nicht verhindert werden. Allerdings reagieren die automatischen Rückstauverschlüsse der jeweiligen Hersteller unterschiedlich. Die Schließbedingungen sind in der DIN EN 13564 festgelegt. Die Rückstauerkennung der Rückstauautomaten funktioniert entsprechend den herstellerspezifischen Techniken. Hierbei gibt es Unterschiede, die bei verschiedenen Herstellern erfragt wurden. Die Fa. KESSEL AG setzt eine optische Sonde (Ultraschallprinzip) ein. Die Fa. ACO PASSAVANT verwendet einen Drucksensor und die Firma DALLMER verwendet Feuchtigkeitsmessgeräte. Die Einleitung des Schließvorgangs bei den druckgesteuerten Rückstauautomaten durch Nebeleintritt in den Kanal ist ausgeschlossen. Der Schließvorgang beginnt gemäß DIN EN 13564, wenn das Rückstauniveau, gemessen vom Scheitel des Auslaufstutzens des Rückstauverschlusses, 100 mm beträgt. Somit ist für das Schließen ein messbarer Überdruck von ca. 10 mbar erforderlich. Dieser tritt durch den Signalnebel nicht auf.

Bei der optischen Sonde bzw. bei Feuchtigkeitsmessungen, ist der Verschluss bei Nebeleintritt nicht auszuschließen. Gemäß Angabe der Fa. KESSEL AG reagiert die optische Sonde nicht auf das Nebelfluid. Es kann jedoch nicht ausgeschlossen werden, dass es durch das Abkühlen des Nebels im Kanal zur Kondensatbildung an der Sonde kommt, wodurch der Schließvorgang eingeleitet wird. Der Feuchtigkeitssensor der Fa. DALLMER reagiert auf Benetzung mit Wasser. Das Schließen durch Nebeleintritt ist hier ebenfalls nicht ausgeschlossen.

Bei Rückstausicherungen für nicht fäkalienhaltiges Abwasser handelt es sich häufig um Pendelklappen die horizontal in die Grundstücksentwässerungsleitungen eingebaut werden.

Fließt das Wasser dem öffentlichen Kanal zu, öffnen sich die Klappen in Fließrichtung. Bei Rückstau schließen die Pendelklappen automatisch durch das gegendrückende Rückstauwasser gegen einen Dichtring. Fließt kein Wasser ist die Klappe aufgrund des Pendelsystems (ohne Gegendruck) verschlossen. Da eine Benebelung bei leichtem Überdruck erfolgt, besteht die Möglichkeit, dass bei im Normalfall geschlossener Rückstauklappe der Nebel durch die Rückstauklappe zurückgehalten wird.

Bei diesen Systemen ist darüber hinaus der Einbauort zu berücksichtigen. Ist die Rückstausicherung an der richtigen Stelle der Grundstücksentwässerung eingebaut, werden nur die Entwässerungsgegenstände unterhalb der Rückstauebene über diesen Leitungsbereich entwässert (Abb. 87). Höher liegende Gebäudeentwässerungsleitungen leiten hinter der Rückstausicherung ein. Bei einer Fehleinleitung des Schmutzwassers in den Regenwasserkanal wäre ein Nebelaustritt aus den Be- und Entlüftungsleitungen des Gebäudes somit nicht überall sichtbar. Der Nebel dringt in diesem Fall durch die Schmutzwasserleitungen unterhalb der Rückstauebene möglicherweise nur bis vor den Rückstauverschluss.

Offen ist, an welchen Gebäuden die Rückstausicherungen entsprechend den Normvorgaben eingebaut sind. Häufig verfügen die Grundstückeigentümer nicht über Aufzeichnungen zur Art und Lage der Rückstausicherungen.

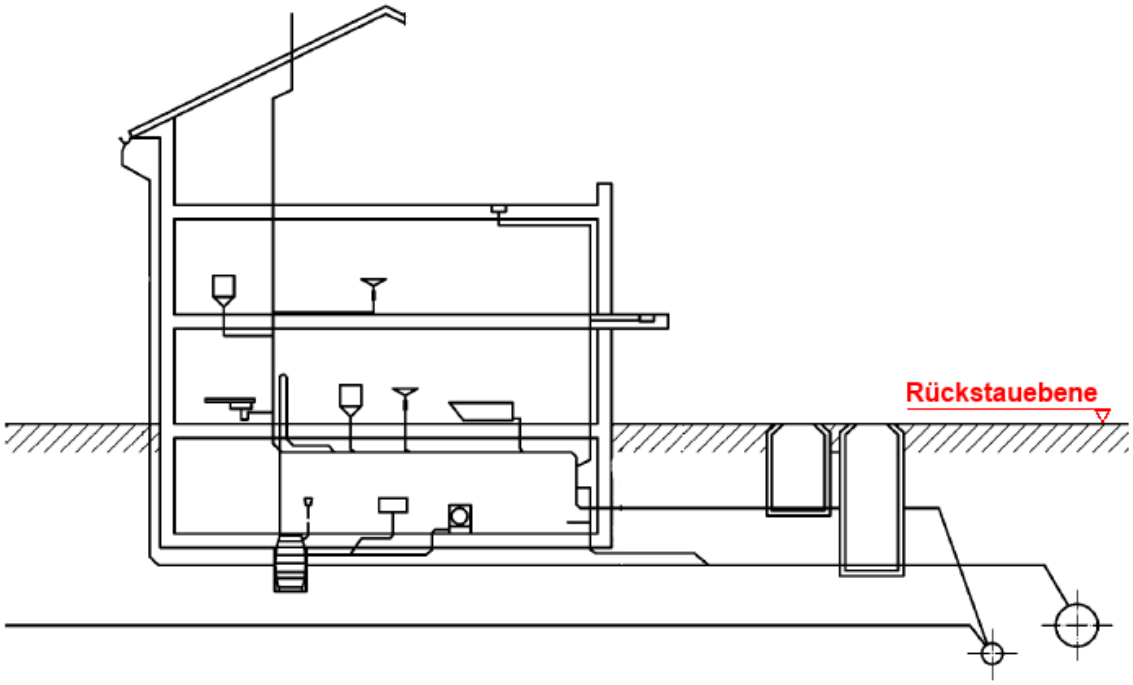


Abb. 87: Rückstauebene (verändert und ergänzt nach DIN EN 12056-4, 2001)

9.4 Detektion durch visuelle Inspektion

Bei der regelmäßig durchzuführenden optischen Inspektion der Kanalisation und der Einleitungsstellen in Gewässer entsprechend der SüwVO NRW (MKULNV, 2013), sind Fehleinleitungen durch Verfärbungen oder Hygieneartikel teilweise erkennbar. Werden Fehleinleitungen dabei erkannt, ist anschließend eine Prüfung auf dem Grundstück erforderlich. Eine Prüfung der Grundstückentwässerungsleitungen mit Hilfe einer Kamera, ist häufig durch kleine Rohrdurchmesser bzw. Knicke nur eingeschränkt möglich. Aus diesem Grund ist zusätzlich einer Untersuchung mit Farbstofftracern erforderlich.

Die Ergebnisse dieses Projektes zeigen, dass Fehleinleitungen in der Regel nur temporär auftreten und somit nur eingeschränkt zu lokalisieren sind. Die Detektion durch einen einfachen Blick in die Kanalisation oder an die Einleitungsstelle ist reiner Zufall.

In Regenwasserbehandlungsanlagen fallen Fehleinleitungen auch bei visuellen Kontrollen häufiger auf, da sich Hygieneartikel dort sammeln können. Es ist wichtig, das Betriebspersonal entsprechend zu sensibilisieren, diese Fehleinleitungen dann zu melden und Untersuchungen zur Detektion zu veranlassen.

9.5 Vergleichende Bewertung der unterschiedlichen Verfahren

Die unterschiedlichen Verfahren zur Detektion von Fehlanschlüssen weisen systembedingte Vor- und Nachteile auf. Im Regelfall wird eine Kombination unterschiedlicher Verfahren im Rahmen einer Inspektionsstrategie zur erfolgreichen Detektion führen. Um eine flächenhafte Kontrolle durchzuführen, ist eine visuelle Prüfung sämtlicher Gewässereinleitungen möglich. Allerdings ist damit nicht gewährleistet, dass Fehleinleitungen sicher erkannt werden. Sichtkontrollen in Wuppertal und Warendorf im Rahmen des Projektes haben gezeigt, dass diese Methode durch ein hohes Maß an Zufälligkeit geprägt ist. Zudem ist die regelmäßige visuelle Prüfung von Regenwassereinleitestellen mit erheblichem personellen und zeitlichen Aufwand verbunden. Abhängig von der Größe der Kommune und der Länge des Kanalnetzes sind durchaus mehrere Hundert Einleitungen vorhanden.

Ein häufig durchgeführtes, aber nur eingeschränkt sicheres Verfahren ist die Benebelung. Der Nebel nimmt grundsätzlich den Weg des geringsten Widerstandes und tritt somit nicht grundsätzlich über Dachentlüftungen aus dem Gebäude aus.

Die Detektion durch Indikatorparameter (siehe Kap. 3.2) ist an bestimmte Voraussetzungen geknüpft. Die Eignung von Indikatorparametern erfordern nach (Brown et al., 2004) im Idealfall folgende Voraussetzungen:

- Vorkommen in Schmutz- und Regenwasser in erheblichen Konzentrationsunterschieden, wobei sich die Konzentration im jeweiligen Strom nur geringfügig verändert
- Besitzt konservative Eigenschaften (Konzentration verändert sich entlang des Fließweges ausschließlich durch Verdünnung, keine Umwandlungs- oder Abbauprozesse)
- Mit einfachen, verlässlichen, genauen und sicheren Methoden messbar

Grundsätzlich liefern betriebliche Maßnahmen wie die optische Inspektion bei entsprechender Sensibilität im Rahmen der Auswertung wertvolle Hinweise auf Fehleinleitungen. Eine einfache lokale Kontrolle durch einen kurzfristigen Blick in die Schächte hat nur zufällig Erfolg, wenn Hygieneartikel im Sichtbereich liegen oder gerade in diesem Moment eine Fehleinleitung zu Schmutzwasserabfluss führt. Eine sicheres Verfahren ist die DTS-Messung. Diese ist allerdings auch mit einem gewissen Aufwand verbunden. Eine flächendeckende Anwendung für große Stadtgebiete ist nicht praktikabel.

Einen Überblick, über unterschiedliche Verfahren liefern Tab. 22 und Tab. 23.

Tab. 20: Bewertung der Detektionsmethoden (Teil 1)

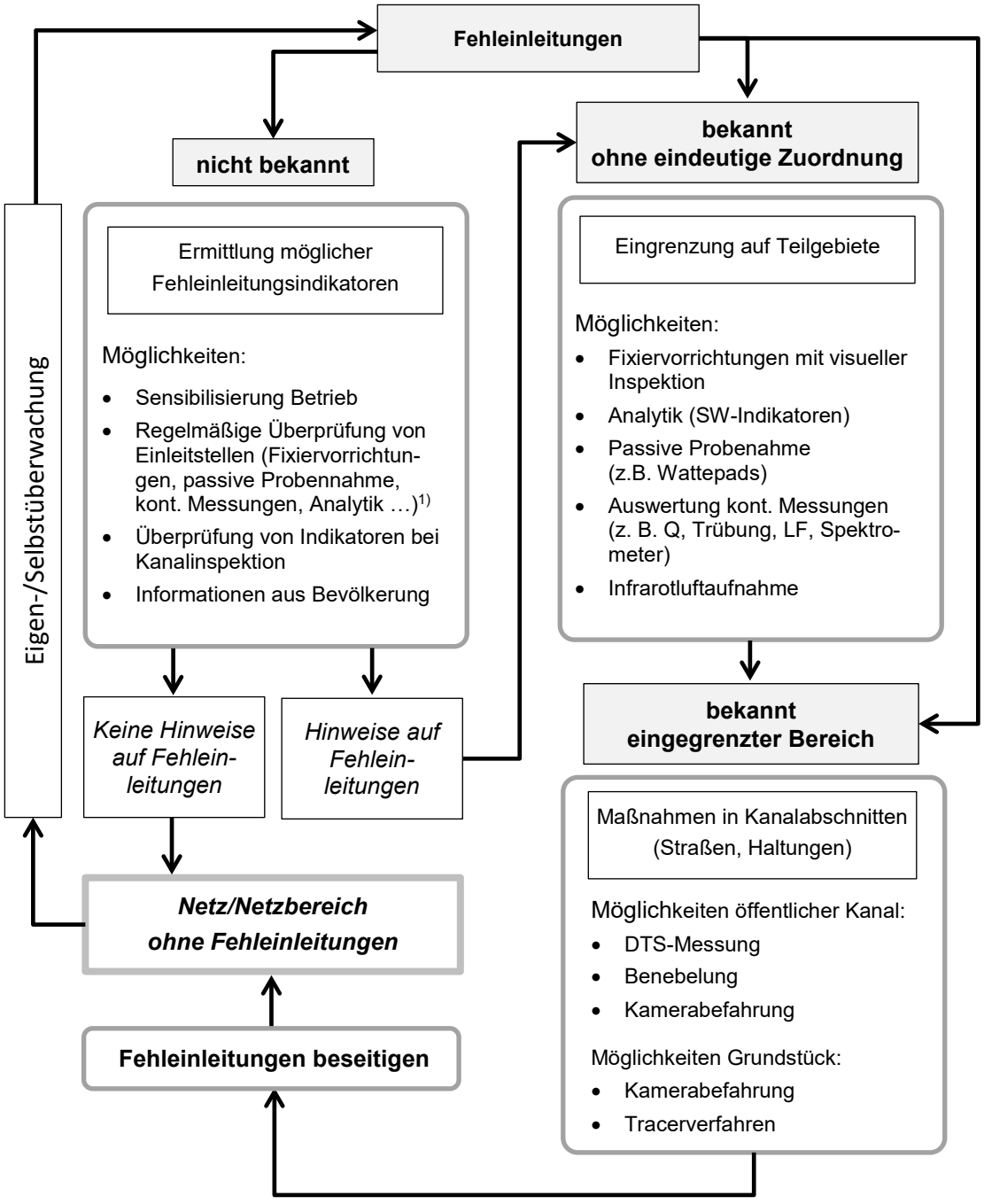
Methode	Vorteile	Nachteile/Grenzen	Hinweise zu Kosten
Einbeziehung der Bevölkerung	• Bewusstsein der Bevölkerung wecken • Geringer Aufwand	• Ergebnisse für Einzelfälle (keine flächendeckende Überwachung) • Risiko einer Falschmeldung (vergeblicher Aufwand)	gering
Visuelle Inspektion von Einleitstellen und Bauwerken (ggf. temporärer Einbau von Fixiervorrichtungen)	• relativ kostengünstig • moderater Zeitaufwand • keine speziellen Geräte nötig	• Zuverlässigkeit eingeschränkt (z.B. bei geringen Zuflüssen) • bestimmte Indikatoren notwendig (Hygieneartikel, Geruch etc.)	Geräte- als auch Personalkosten relativ gering und gem. Selbstüberwachungsverordnung z.B. SüwVO NRW ohnehin erforderlich
Benebelung	• etablierte Methode zur Detektion von RW-Einleitungen in die SW-Kanalisation • moderater Zeitaufwand	• Rauch wird ggf. durch Rückstauverschluss oder Entlüftungsventile zurückgehalten • bei ausgetrocknetem Siphon kann Rauch in Wohnraum eindringen • zur Detektion von SW-Einleitungen in die RW-Kanalisation nicht zuverlässig geeignet	• Kosten für das Nebelfluid: ca. 20 € pro Liter • Zeitaufwand: 10 bis 15 Hausanschlüsse pro Stunde
Optische Inspektion (Kamerabefahrung und Kanalbegehung)	• Kombination mit regelmäßig erforderlichen Zustandsuntersuchungen • Mögliche Erkennung von FE und weitere Informationen zu Zustand	• Schmutzwassereinleitungen erfolgen diskontinuierlich, somit Detektion unzuverlässig bzw. zufällig • hoher Zeit- und Kostenaufwand bei Untersuchung größerer Netze	• abhängig davon, ob Systeme zur Ausstattung gehören • hoher Zeit- u. Personalaufwand
Tracer	• Durchführung vergleichsweise einfach • keine speziellen Geräte nötig	• Zugang zu Privatgrundstücken erforderlich (Revisionsschächte nicht auf jedem Grundstück vorhanden) • Anmeldung/Abstimmung mit Eigentümern erforderlich • Manipulation möglich • Gewässerbelastung vermeiden	In erster Linie personeller Aufwand

Tab. 21: Bewertung der Detektionsmethoden (Teil 2)

Methode	Vorteile	Nachteile/Grenzen	Kosten
DTS-Messung	• hohe zeitliche und räumliche Auflösung (einzelne Hausanschlüsse können direkt zuverlässig detektiert werden) • Arbeitsaufwand nach Einbau relativ gering • Keine Manipulation(lange Messdauer)	• Zeit- und Personalaufwand bei Einbau • Messung nur für eingegrenztes Untersuchungsgebiet möglich (in der Regel mehrere Kilometer) • Erfahrung bei Konzeption und Dateninterpretation erforderlich	• Abhängig von der Gebietsgröße und -struktur • Im Innenstadtbereich vergleichbar zur Tracermessung
Infrarotluftaufnahmen (Überfliegung von Gewässerabschnitten zur Detektion von Temperaturunterschieden an Einleitungsstellen)	• Lange Strecken können in kurzer Zeit überflogen werden • Einsatz von Drohnen möglich	• sehr große Volumenströme mit relativ hohen Temperaturdifferenzen nötig • beste Ergebnisse im Herbst/Winter, und abends/nachts da größeres ΔT • nur Einleitstelle wird detektiert	• Hoch (Equipment)
Chemische Indikatoren (z.B. Ammoniak, Leitfähigkeit, Verhältnis Ammoniak/Kalium, Koffein, Carbamazepin)	• Detektion von Indikatoren aus menschlichen Ausscheidungen und Abfällen mit relativ hoher Genauigkeit • Analyse teilweise relativ kostengünstig	• kostengünstige Untersuchungen (NH_3 und LF) problematisch, da sowohl in SW als auch in RW vorhanden • zur Analyse von Koffein ist Gaschromatographie notwendig • örtliche Schwankungen der Parameter setzen Voruntersuchungen voraus, um Grenzwerte festzulegen	Teilweise von gering bis sehr hoch je nach Parameter und Umfang der Beprobung und Analyse
Mikrobiologische Indikatoren (Indikatorbakterien, Microbial Source Tracking, DNA Fingerprinting)	• je nach Methode mögliche Unterscheidung zwischen menschlicher und tierischer Herkunft der Mikroorganismen	• teilweise langwierige und sehr teure Analysekosten • teilweise kurze Überlebenszeit der Indikatororganismen	Analytik zur Unterscheidung der jeweiligen Organismen ist teuer

10 Konzept zur Detektion von Fehlanschlüssen

Ein Konzept zur Detektion von Fehleinleitungen veranschaulicht Abb. 88. Die bisherigen Erfahrungen zeigen, dass zumindest größere Netzbereiche mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht fehleinleitungsfrei sind.



1) Eine einmalige visuelle Kontrolle reicht zum Ausschluss von Fehleinleitungen nicht aus.

Abb. 88: Konzept zur Detektion von Fehlanschlüssen

Kanalnetzbetreiber sollten generell auf mögliche Fehleinleiterindikatoren achten. Die Erfahrungen aus dem Pilotprojekt zeigen, dass punktuelle visuelle Kontrollen von Einleitungsstellen allein nicht ausreichend sind, um Fehleinleitungen zuverlässig zu detektieren bzw. ausschließen zu können. Eine vergleichsweise einfache und kostengünstige Detektion ist beispielsweise durch Installation eines Maschendrahtgeflechtes im unteren Bereich der Einleitung in ein Gewässer möglich. Hier können sich ggf. Hygieneartikel verfangen, die dann ein sehr weitgehendes Indiz für Fehleinleitungen darstellen. Werden Indizien für Fehleinleitungen erkannt (z.B. Hygieneartikel im Bereich von Niederschlagswassereinleitungen), ist eine Eingrenzung des Bereiches erforderlich, in dem Fehlanschlüsse vermutet werden. Die in Abb. 88 aufgeführten Methoden zur Eingrenzung auf Teilgebiete sind mit überschaubarem Aufwand durchführbar. Häufig wird die Suche nach Fehleinleitungen an der Einleitung in das Gewässer beginnen und dann sukzessive in den angeschlossenen Netzbereich fortgeführt. Eine möglichst weitgehende Eingrenzung mit diesen Methoden, ist zu empfehlen.

In größeren Netzen und in sensiblen Bereichen, wie Trinkwasserschutzgebieten, stellen passive Probenahmen durch fixierte Wattepads mit anschließendem UV-Lichttest eine wirksame Methode zu Schmutzwasserdetektion in Regenwasserkanälen dar. Diese Maßnahmen können beispielsweise im Rahmen der Eigen-/Selbstüberwachung durchgeführt werden.

Können die Fehleinleitungen schließlich auf einzelne Straßenzüge beschränkt werden, erfolgt eine exakte Fehleinleitungsdetektion. Hierbei bieten, je nach Gebietsstruktur und -größe z.B. Tracer oder die DTS-Messung zuverlässige Methoden zur grundstücksscharfen Lokalisierung der Fehleinleitung. Anschließend erfolgt dann die Untersuchung der Fehlanschlusssystematik 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 durch Tracerzugabe in die jeweiligen Entwässerungsgegenstände.

11 Auswertung der landesweiten Umfrage

In NRW gibt es insgesamt 396 Gemeinden. Im Vorfeld der Umfrage konnten 362 Ansprechpartner ermittelt werden. Die Zahl der Ansprechpartner weicht von der Anzahl der Gemeinden ab, weil in manchen Fällen Ansprechpartner für mehrere Gemeinden zuständig sind. Im Rahmen der landesweiten Fragebogenaktion erfolgte eine persönliche Kontaktaufnahme mit allen 362 Ansprechpartnern der Gemeinden in NRW. Der Fragebogen ist diesem Bericht beigefügt (Anhang). Insgesamt haben 62 Kommunen an der Umfrage teilgenommen. In diesen Kommunen sind in insgesamt 3.888.985 Einwohner an das Kanalnetz angeschlossen. Dies entspricht einem Anteil von 22 % der in NRW lebenden Personen.

Die Fragen umfassen fünf Teilbereiche:

Teil I: Allgemeine Angaben

Teil II: Einleitung und Behandlung von Oberflächenabflüssen

Teil III: Kontrolle von Fehleinleitungen

Teil IV: Probleme durch Fehleinleitungen

Teil V: Verbindungen der SW-Kanalisation mit der RW-Kanalisation

Die Auswertung der Umfrage führte zu den hier beschriebenen Ergebnissen.

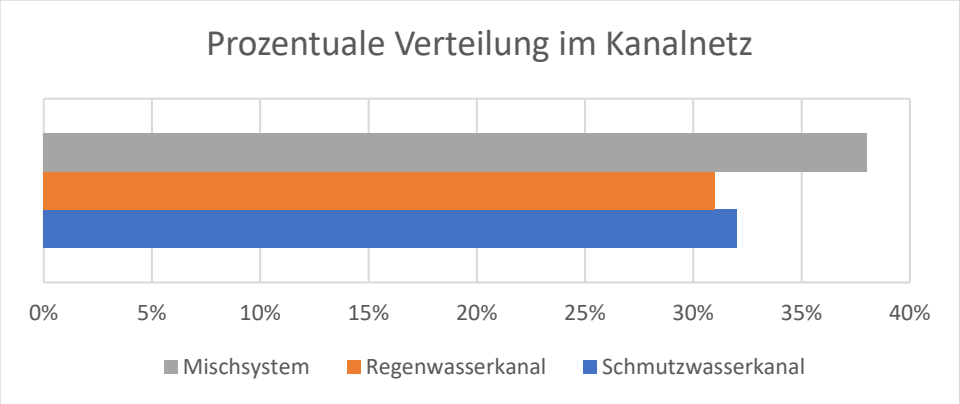
Frage 1-1: Wie viele Einwohner sind an das Kanalnetz angeschlossen? (Gesamtnetz und Anteil Trennsystem)

In den Kommunen, die sich an der Umfrage beteiligt haben, sind 23,0 % der Einwohner an ein Kanalnetz im Trennsystem angeschlossen.

Frage 1-2: Wie lang ist das Kanalnetz?

Die Länge der Kanalnetze der befragten Kommunen beträgt in Summe 71.840 km. Davon sind etwa 22.664 km Schmutzwasserkanäle, 21.949 km Regenwasserkanäle und 27.212 km Mischwasserkanäle.

Der Anteil des Regenwassernetzes am Gesamtnetz variiert bei den jeweiligen Kommunen zwischen 2,5 % und 50,1 %. Der Mittelwert der Regenwasserkanäle macht eine Länge von 30,6 % aus. Im Median beträgt der Anteil der Regenwasserkanäle 17 % der gesamten Netzlänge.



Frage 2-1. Werden in Ihrer Kommune Oberflächenabflüsse von Flächen der Kategorie I und IIa ohne Vorbehandlung in ein Gewässer eingeleitet?

15 Kommunen gaben an, dass auch Oberflächenabflüsse der Kategorie I und IIa behandelt werden. Allerdings haben drei der Kommunen weder ein Regenklärbecken noch einen Retentionsbodenfilter. Dabei entwässert eine dieser drei Kommunen fast ausschließlich im Mischsystem. Eine weitere Kommune gibt als Behandlungsanlage vorhandene Versickerungsbecken und Nassschlammm-Sinkkästen an. Die Angaben der dritten Kommune waren nicht eindeutig zu interpretieren.

45 weitere Kommunen gaben an, die Oberflächenabflüsse auch ohne Vorbehandlung direkt ins Gewässer einzuleiten.

Hintergrund der Frage: Werden Oberflächenabflüsse ohne Vorbehandlung in ein Gewässer eingeleitet, werden Auswirkungen von Fehleinleitungen nicht in Behandlungsanlagen, beispielsweise während der Inspektion, bemerkt.

Frage 2-2: Wie viele RW-Einleitungen in Gewässer befinden sich im Einzugsgebiet? (auch Einleitungen mit Behandlung)

Die Angaben zu den Regenwasser-Einleitungen schwanken stark. Im Durchschnitt hat eine Gemeinden 66 Einleitungen (Mittelwert). Der Median aller teilnehmenden Kommunen lag bei 40 Einleitungen. Die Angaben weisen eine Spannweite von drei bis über 600 Einleitungen.

Teilweise konnten die Daten nicht als plausibel eingestuft werden, da hier deutliche Abweichungen vom Erwartungswert zu finden waren. Dies zeigt die Spannbreite der Länge der Regenwasserkanalisation pro Einleitung. Diese liegt zwischen 0,004 km (alle 4 m!) und 89,6 km. Im Median gibt es etwa alle 1,5 km eine Einleitung aus dem Regenwassernetz. Die

große Spannbreite in den Daten könnte auf Probleme bei der Differenzierung zwischen einer reinen Einleitung und einer Einleitung an einem Entlastungsbauwerk zurückzuführen sein.

Frage 2-3: Wie viele und welche Art von Niederschlagswasserbehandlungsanlagen befinden sich in Ihrer Trennkanalisation? (Mehrfachnennung möglich)

14 Kommunen (23 %) gaben an, dass sie bereits dezentrale Systeme zur Niederschlagswasserbehandlung nutzen. 15 % machten hier keine Angabe. In 48 Gemeinden werden Regenklärbecken betrieben und in 18 Gemeinden erfolgt eine Behandlung mit Retentionsbodenfiltern. Alle Kommunen die Retentionsbodenfilter betreiben, nutzen auch Regenklärbecken. Acht Kommunen setzen sowohl Regenklärbecken, als auch Retentionsbodenfilter und dezentrale Systeme ein. Als dezentrale Systeme wurden beispielsweise genannt: Einbauten für Sinkkästen, Filterschächte, Lamellenklärer, Versickerungsmulden und Rigolensysteme oder Regenklärkompaktanlagen.

Frage 3-1: Werden bei Neubauten die Anschlüsse an die Kanalisation abgenommen? Wenn ja, erfolgt dies flächendeckend oder nur durch Stichproben?

Die Antworten zeigen, dass ein nennenswerter Anteil der Kommunen keine Abnahme durchführt.

- 53,9 %: Flächendeckende Abnahme bei Neubau der Anschlüsse
- 13,9 %: Stichprobenartige Überprüfung bei Neubau
- 9,0 %: Angabe, dass die Anschlüsse überprüft werden, aber keine Konkretisierung, ob dies flächendeckend oder stichprobenartig erfolgt.
- 21,5 %: Keine Abnahme der Anschlüsse bei Neubau

Die Ergebnisse lassen sich sehr gut mit der Umfrage zum Zustand der Kanalisation in Deutschland vergleichen (Berger et al., 2016). In dieser Umfrage wurde ebenfalls erfragt, ob durch die Kommunen eine Abnahme der privaten Grundstücksentwässerungsanlagen nach Neubaumaßnahmen oder Sanierungen stattfindet. Von den 212 Kanalnetzbetreibern, die an der Umfrage teilgenommen haben, führen

- 41 % nach Neubaumaßnahmen und umfangreichen Sanierungen eine Abnahmedurch,
- 17 % nur bei Neubaumaßnahmen eine Abnahme durch,

- 15 % eine stichprobenartige Abnahme durch,
- 27 % keine Abnahmen durch.

Bei fehlender Abnahme besteht das Risiko, dass Fehlanschlüsse nicht bemerkt werden.

Hintergrund der Frage: Die Abnahme der neu- oder umgebauten Anschlüsse ist eine wesentliche Voraussetzung für die Vermeidung von Fehleinleitungen.

Frage 3-2: Sind Ihnen Fehlanschlüsse bzw. problematische Gebiete bekannt? (z. B. durch Hygieneartikel an Regenwassereinleitungen)

Frage: 3-3 Falls ja, wurden diese bereits behoben?

Etwa die Hälfte der befragten Kommunen gab an, dass problematische Bereiche vorhanden sind.

- 45,2 %: Keine problematischen Gebiete bzw. Fehlanschlüsse bekannt
- 48,4 %: Problematische Gebiete bzw. Fehlanschlüsse vorhanden
- 6,4 %: keine Antwort

Waren Fehlanschlüsse bekannt, so wurden diese auch bereits behoben bzw. die Beseitigung des Fehlanschlusses ist bereits vorgesehen.

Frage 3-4: Werden bei Ihnen systematisch Fehleinleitungen ermittelt?

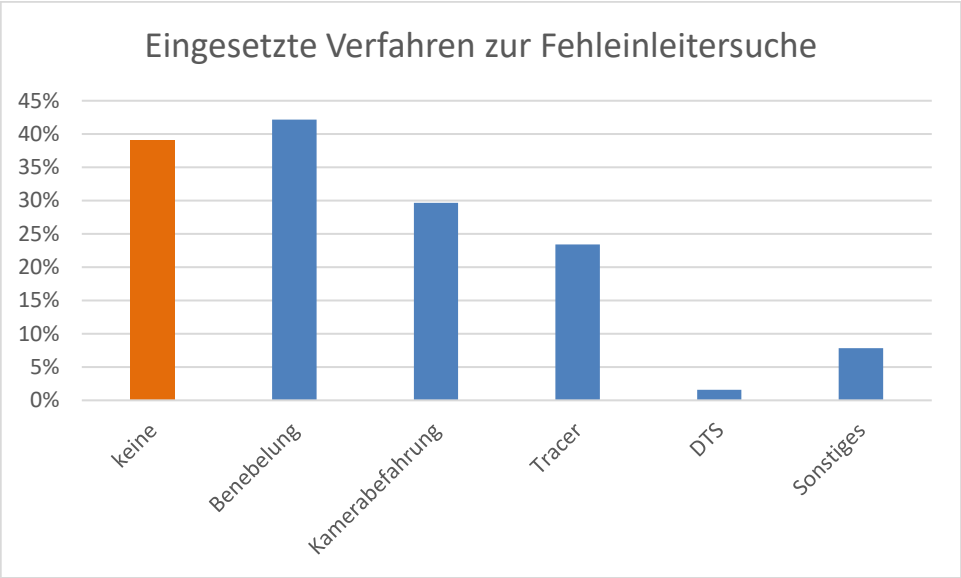
Etwa 32 % der Kommunen untersuchen systematisch, ob in ihrem Kanalnetz Fehleinleitungen vorhanden sind. In diesen Fällen sind bei zwei Drittel der Kanalnetzbetreiber problematische Bereiche bekannt. Insgesamt hat die Hälfte der Kommunen angegeben, dass Ihnen problematische Bereiche bzw. Fehlanschlüsse bekannt sind.

Bei den Kommunen, die keine systematischen Untersuchungen durchführen (68 %), gaben dennoch 40 % an, dass ihnen problematische Gebiete oder Fehleinleitungen bekannt sind.

Bei der Auswertung der Antworten kann nicht ausgeschlossen werden, dass die Antworten nur Einleitung von Schmutzwasser in Regenwasserkanäle betreffen oder auch Einleitung von Regenwasser in Schmutzwasserkanäle gemeint waren.

Frage 3-5; Welche Methoden wenden Sie zur (systematischen) Ermittlung der Fehleinleitungen an?

Bei dieser Frage waren Mehrfachnennungen möglich. 14 Kommunen nutzen mehr als ein Verfahren zur Ermittlung von Fehleinleitungen. Die Benebelung ist das häufigste Verfahren, welches in 42 % der Kommunen zum Einsatz kommt. Die optische Inspektion (Kamerabefahrung) kommt bei 30 % der Kommunen zum Einsatz. Tracer werden bei 23 % der befragten Kommunen verwendet. Die im Rahmen des Projektes untersuchte DTS-Messung ist bereits bei fast 2 % der Kommunen zum Einsatz gekommen. 8 % geben an weitere nicht aufgeführte Verfahren zu nutzen.



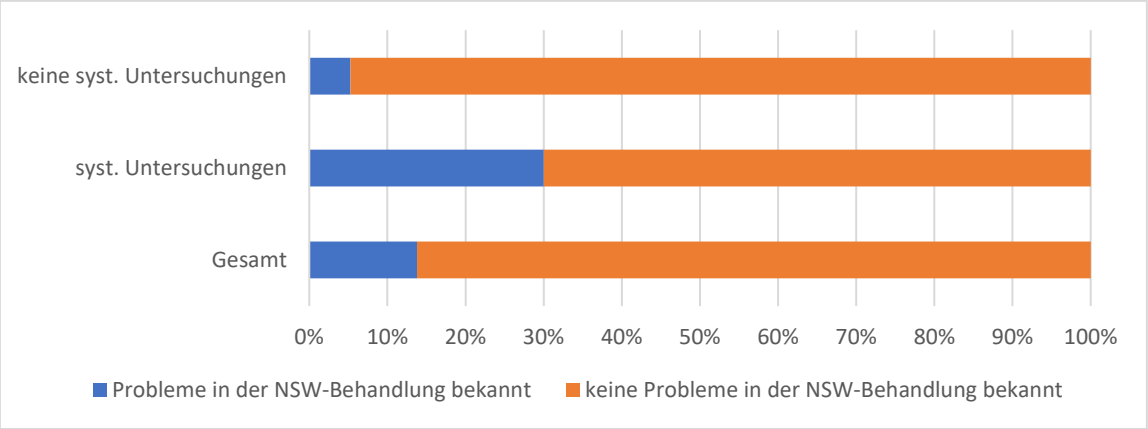
Frage 4-1: Sind Ihnen Probleme bei der Niederschlagswasserbehandlung durch Fehleinleitungen bekannt (Verzopfungen, Ablagerung von Hygieneartikeln etc.)?

Hintergrund der Frage: Fehleinleitungen können in Niederschlagswasserbehandlungsanlagen zu betrieblichen Problemen führen. Dies betrifft vor allem Anlagen mit Filtereinheiten oder Pumpwerke. Bei klassischen Sedimentationsanlagen sind Hygieneartikel etc. Bestandteil der zurückgehaltenen Feststoffe oder werden aus dem Bauwerk ausgespült und stellen in der Regel kein betriebliches Problem dar. Die Beantwortung führte zu folgendem Ergebnis:

- 82 %: Keine Probleme durch Fehleinleitungen in der Niederschlagswasserbehandlung bekannt.

- 13 %: Probleme bestehen (etwa durch Verzopfungen, Ablagerung von Hygieneartikeln).
- 5 %: keine Angaben.

Wurden allerdings vorab systematische Untersuchungen durchgeführt (siehe Frage 3-2), gaben von diesen Kommunen immerhin 30 % an, dass ihnen Probleme bei der Niederschlagswasserbehandlung bekannt sind. Von den Kommunen, die keine systematischen Untersuchungen durchführen, gaben nur rund 6 % an, dass sie Probleme durch Fehleinleitungen in Niederschlagswasserbehandlungsanlagen haben. Hier bleibt offen, ob systematisch untersucht wird, weil Probleme bekannt sind, oder Probleme durch die systematische Untersuchung erkannt werden.



Frage 5-1: An wie vielen Stellen besteht eine Verbindung zwischen der SW- und der RW-Kanalisation (zur Entlastung o.ä.)?

Von den befragten Kommunen gaben 14 % (8 Kommunen) an, dass solche Verbindungen bestehen. Davon gaben sogar 2 Kommunen an, dass bei Ihnen mehr als 10 Verbindungen dieser Art vorhanden sind.

Hintergrund der Frage: In der Vergangenheit wurden teilweise der Schmutz- und der Regenwasserkanal gemeinsam durch einen gemeinsamen Betriebsschacht geführt. Der Schmutzwasserkanal liegt dabei in der Regel tiefer als der Regenwasserkanal. Dennoch ist eine Überleitung von Schmutzwasser in den Regenwasserkanal in diesen Fällen nicht auszuschließen.

Frage 5-2: Gibt es in Ihrer Kommune genehmigte Überleitung aus der Schmutzwasser- in die Regenwasserkanalisation?

Vier Kommunen gaben an, dass es genehmigte Überleitungen aus der SW- in die RW-Kanalisation gibt. Bei einer nachträglichen telefonischen Kontaktaufnahme stellte sich heraus, dass es sich hierbei entweder um ein Missverständnis handelte oder das ein Überlauf aus einem Mischwasserkanal in einen Regenwasserkanal gemeint war.

Frage 5-3: Gibt es sanierungsbedürftige Stellen, an denen Schmutzwasser in die Regenwasserkanalisation geleitet wird?

Nur eine Kommune gab an, dass es eine sanierungsbedürftige Stelle gibt, an der SW in die RW-Kanalisation eingeleitet wird. Fälle, in denen Regen- und Schmutzwasserkanäle durch gemeinsame Betriebsschächte geführt werden sind aus der Praxis bekannt. Diese wurden von den befragten Kommunen aber nicht angegeben, sind aber potentielle Quellen für Fehleinleitungen (insbesondere auch bei erhöhtem Abfluss bei Regenwetter im Schmutzwasserkanal).

Hintergrund der Frage: Für den Fall, dass Verbindungen zwischen der Schmutz- und der Regenwasserkanalisation bestehen, sollte erfragt werden, ob vorgesehen ist, diesen Zustand zu beheben.

Frage 5-4: Wie relevant werden Fehleinleitungen von Schmutzwasser in Regenwasserkanäle in Ihrer Kommune eingeschätzt?

Mit dieser Frage sollte ein Eindruck zur Einschätzung der in erster Linie betrieblichen und ökologischen Problematik von Fehleinleitungen gewonnen werden. Hier liegt folgende Einschätzung vor:

- 53,2 % niedrige Relevanz
- 9,7 % mittlere Relevanz
- 35,5 % hohe Relevanz

Es zeigt sich, dass etwa die Hälft der Kommunen das Problem als gering einschätzt. Über ein Drittel der befragten Kommunen schätzen das Problem als maßgeblich ein. Diese Verteilung ist stark abhängig davon, ob bereits systematisch nach Fehleinleitungen gesucht wird bzw. ob bereits Probleme in der Niederschlagswasserbehandlung aufgetreten sind (Umsetzungsstand Trennerlass NRW).

Sind Probleme mit der Niederschlagswasserbehandlung bekannt, so führt dies auch dazu, dass Fehleinleitungen eher als relevant eingeschätzt werden. Ebenso stufen Kommunen, bei denen eine systematische Suche nach Fehleinleitungen durchgeführt wird, die Relevanz tendenziell höher ein. Die Kenntnis von bestehenden Fehleinleitungen oder problematischen Gebieten führt jedoch kaum zur Beimessung einer höheren Relevanz. Abb. 89 liefert einen Überblick.

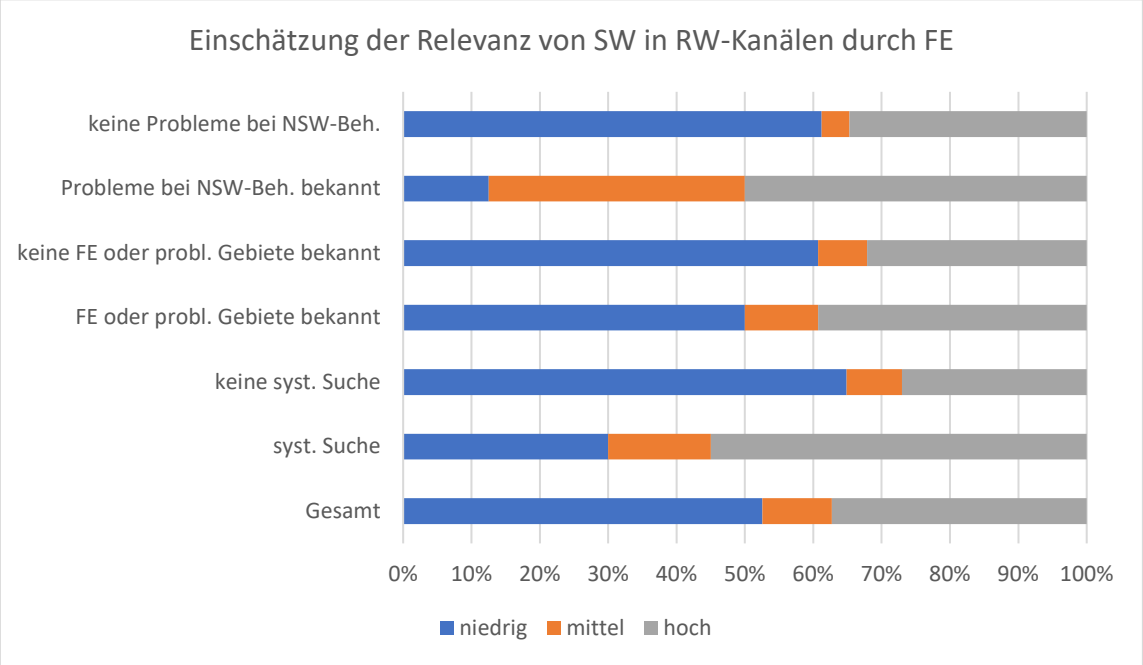


Abb. 89: Einschätzung der Relevanz von Schmutzwasser in Regenwasserkanälen durch Fehleinleitungen der teilnehmenden Kommunen

Fazit der Umfrage

Die Umfrageergebnisse bestätigen, dass Abnahmen von neuen oder veränderten Hausanschlüssen nur eingeschränkt durchgeführt werden. Nur gut die Hälfte führen flächendeckende Abnahmen durch. Bei Rückfragen zu den Ursachen wird häufig auf fehlende personelle Kapazitäten verwiesen. Etwa ein Drittel der Kommunen geben an, dass Fehleinleitungen bekannt sind. Ebenfalls etwa ein Drittel der Kommunen führen systematisch Untersuchungen zur Detektion von Fehleinleitungen durch. Dabei werden zumeist Benebelungen durchgeführt.

Die Einschätzung der Relevanz von Fehleinleitungen nimmt bei Kommunen, die Probleme in Niederschlagswasserbehandlungsanlagen haben, deutlich zu. Insgesamt ordnen über

50 % der Kommunen der Problematik eine niedrige Relevanz zu. Über ein Drittel der Befragten stufen die Relevanz als hoch ein.

Neben dem klassischen Fehlanschluss gibt es Verknüpfungen zwischen der Schmutz- und Regenwasserkanalisation durch gemeinsame Betriebsschächte. Bei Rückstau in der Schmutzwasserkanalisation besteht die Gefahr, dass Schmutzwasser in die Regenwasserkanalisation gelangt. Rückstau in der Kanalisation kann beispielsweise durch Betriebsstörungen (z. B. Verlegungen) oder durch hohe Fremdwasseranteile hervorgerufen werden.

12 Abschätzung der ökologischen Auswirkungen von Fehlanschlüssen

Die Gewässerbelastung durch fehlangeschlossene Schmutzwassereinleitungen an Regenwasserkanäle oder Verbindungen der Schmutzwasserkanalisation zur Regenwasserkanalisation (z. B. Überläufe) ist bislang nicht näher quantifiziert worden. Neben dem Eintrag an Zehr- und Nährstoffen und ästhetischen Beeinträchtigungen, beispielsweise durch fixierte Hygieneartikel im Uferbereich, ist hierbei insbesondere der Eintrag von Keimen und Mikroschadstoffen sowie der Eintrag von Spurenstoffen (Arzneimittelrückstände, Keime, Chemikalien etc.) zu nennen. Daraus resultieren Probleme, wie beispielsweise hygienische Einschränkungen (Badegewässerqualität) bis zu möglichen Belastungen des Trinkwassers.

Die durch Fehleinleitungen verursachte ökologische Belastung hängt stark davon ab, ob und wie das anfallende Wasser vor der Einleitung in ein Gewässer behandelt wird. Nach den Anforderungen an die Niederschlagsentwässerung im Trennverfahren (MUNLV, 2004) dürfen Oberflächenabflüsse von gering verschmutzen Flächen (Kategorie I) ohne Vorbehandlung in Gewässer eingeleitet werden. Liegen hier Fehlanschlüsse vor, gelangen diese Schmutzwassereinleitungen unmittelbar in das Gewässer.

Bei Regenklärbecken (RKB) zur Behandlung belasteter Oberflächenabflüsse, ist zwischen Regenklärbecken ohne bzw. mit Dauerstau zu unterscheiden. Bei Regenklärbecken ohne Dauerstau (RKBoD) wird der Beckeninhalt während des Regens bzw. nach dem Regen einer Kläranlage zugeführt und dort behandelt. Je nach Art des Betriebs des Beckens erfolgt hier teilweise eine mechanische Behandlung. Bei Becken mit Dauerstau (RKBmD) ist die Behandlung eingeschränkt. Hier besteht die Gefahr, dass bei Niederschlägen eine Verdrängung des Beckeninhaltes sogar zu Gewässerbelastungen führt. Dabei sind Rücklöseprozesse und Sauerstoffzehrung möglich.

Fehleinleitungen belasten die Gewässer auch dann, wenn eine Niederschlagswasserbehandlung im Entwässerungssystem erfolgt. Da die Wirkung der Anlagen auf Sedimentationsprozessen basiert, werden zumindest gelöste Stoffe in das Gewässer eingeleitet. Bei Retentionsbodenfiltern und technischen Regenwasserfiltern führen systembedingte Reinigungsmechanismen zu einer weitergehenden Behandlung als in Regenklärbecken. In Filteranlagen werden auch gelöste Stoffe zurückgehalten. Allerdings führen Fehleinleitungen hier zu betrieblichen Problemen. Die Schmutzwassereinleitungen bewirken im Extremfall ein Systemversagen durch Kolmationsprozesse (Grüning et al., 2018).

Die Berechnung der stofflichen Belastung war im Rahmen dieses Projektes nur überschlägig möglich. Zur genaueren Bestimmung dieser Größenordnung sind weitere Untersuchungen erforderlich. Dabei wären in erster Linie zu ermitteln resp. zu untersuchen:

- Ausreichend statistisch belgebare Größenordnungen des bisher angenommenen Anteils von Fehleinleitungen (ca. 1 % bis 2 %).
- Spezifische Zahlen zur Fehlanschlussquote in Abhängigkeit bestimmter Randbedingungen wie die Größe oder Struktur urbaner Bereiche.
- Netzabschnitte mit Fehlanschlüssen die Oberflächenabflüsse von Flächen der Kategorie 1 völlig unbehandelt einleiten.
- Stoffrückhalt der Schmutzwasserinhaltsstoffe in Niederschlagswasserbehandlungsanlagen innerhalb des Trennsystems mit Fehleinleitungen.
- Simulation und Hochrechnungen zur Quantifizierung der Gewässerbelastung durch bestimmte Stoffgruppen wie beispielsweise Arzneimittelrückstände oder Keime.

Zur Einschätzung möglicher Frachteinträge erfolgt hier eine vereinfachte Ermittlung der CSB-Einträge durch Fehleinleitungen.

Aus bisherigen Untersuchungen zur Detektion von Fehleinleitungen stellt ein Anteil fehlangeschlossener Einwohner in einer Größenordnung von 1 bis 2 % eine realistische Größenordnung dar (Hoppe et al., 2013), (Schilperoort et al., 2013), (Hoppe et al., 2015). In der Veröffentlichung zur öffentlichen Wasserversorgung und öffentlichen Abwasserentsorgung – Strukturdaten zur Wasserwirtschaft (Destatis, 2018a) fehlen statistische Auswertungen zur Verteilung der am Trenn- bzw. Mischsystem angeschlossenen Bevölkerung. Auch sind nur eingeschränkte Informationen zum Anteil und zur Wirkung der Regenwasserbehandlungsanlagen verfügbar. Daten zur Verteilung der an Trenn- und Mischsystemen angeschlossenen Einwohner wurden dazu aus vorliegenden Angaben einzelner Kommunen ermittelt. Zur Bestimmung der Kanalnetzlängen und der Verteilung der an eine Trennkanalisation angeschlossenen Einwohner wurden Werte vom Destatis (2018b) sowie Brombach und Dettmar (2016) verwendet. Die Ermittlung der Anzahl der angeschlossenen Einwohner, bezogen auf die Kanalnetzlänge bei Misch- und Trennsystemen, erfolgt auf der Basis der Ansätze von Brombach und Dettmar. Das Kanalnetz in Nordrhein-Westfalen bestand im Jahr 2016 aus 46.048 km Mischwasserkanal und 29.216 km Schmutzwasserkanal. Wird angenommen, dass im Mittel die angeschlossenen Einwohner proportional zu den Misch und Trennsystemen sind, sind 61,2 % der Bevölkerung an das Mischsystem und 38,8 % an das Trennsystem angeschlossen. Im Jahr 2016 waren in NRW 98,1 % der 17.533.700 Einwohner an das Kanalnetz angeschlossen. Damit würde das Schmutzwasser von 6.673.800 Einwohnern in die Trennkanalisation eingeleitet werden. Bei einer Fehlanschlussquote zwischen 1°% und 2°% würde somit das ungereinigte Schmutzwasser von rund 66.750 (1 %) bis 133.500 (2 %) Einwohnern die Gewässer in NRW belasten.

Wird die einwohnerspezifische CSB-Fracht von 120 g pro Einwohner und Tag angenommen (ATV-DVWK, 2003) resultieren daraus folgende theoretische Frachteinträge:

Fehlanschlussquote von 1 %

$$66.750\ E\ \cdot 0{,}12\ \cdot 10^{-3}\ \frac{t\ CSB}{E \cdot d}\ \cdot 365\ \frac{d}{a} = 2.924\ \frac{t\ CSB}{a}$$

Fehlanschlussquote von 2 %

$$133.500\ E\ \cdot 0{,}12\ \cdot 10^{-3}\ \frac{t\ CSB}{E \cdot d}\ \cdot 365\ \frac{d}{a} = 5.847\ \frac{t\ CSB}{a}$$

Der Frachteintrag für CSB aus den Kläranlagen in NRW lag 2016 bei 58.183 t. Damit würde der Eintrag durch Fehleinleitungen etwa 10 % der Restfrachten aus allen Kläranlagen ausmachen. Zu berücksichtigen ist dabei, dass es sich im Kläranlagenablauf um weitgehend inerten CSB handelt.

Ellis und Butler (2015) haben die Ergebnisse von internationalen Untersuchungen zum Anteil der Fehlanschlüsse an Regenwasserkanälen zusammengestellt. Der prozentuale Anteil bewegt sich hier zwischen 1 % und 5 %, mit Extremen von bis hin zu 30 %, wobei sich die Daten aus Europa und den USA zwischen 3 % und 4 % bewegen. Sicher stellen die jeweiligen Annahmen kein kongruentes Abbild der Realität dar, zeigen aber Größenordnungen und die Relevanz des Themas auf. Dabei kann der Anteil der Fehleinleitungen stellenweise geringer, aber auch deutlich höher sein. Unberücksichtigt blieb bei der Betrachtung die Wirkung von Regenwasserbehandlungsanlagen. Gerade in kleinen Gewässern und Trinkwasserschutzgebieten sind Immissionsaspekte und das Thema Hygiene von besonderer Bedeutung. Auch der Eintrag von Mikroschadstoffen und Arzneimitteln ist zukünftig noch gesondert zu betrachten.

Im Rahmen einer an der FH Münster durchgeführten Masterarbeit wurden Schmutzfrachtsimulationen für ein trennentwässertes Gebiet in Wuppertal durchgeführt, dessen Abfluss im Rahmen des Forschungsprojektes „Großfilteranlage In der Fleute“ mit einer UV/Vis-Sonde untersucht wurde. Gleichzeitig wurden in diesem Gebiet durch die WSW Energie & Wasser AG eine Beseitigung von Fehleinleitungen vorgenommen, wodurch eine Größenordnung der fehlangeschlossenen Einwohner bekannt war. Mit der UV/Vis-Sonde wurde das abgeleitete Wasser auf CSB- und AFS-Äquivalente untersucht, womit durch Niederschlagsabflüsse verursachte Jahresfrachten bestimmt werden konnten.

Zur Bestimmung der Schmutzfrachteinleitung der fehlangeschlossenen Einwohner mussten einige Annahmen getroffen werden und auf Literaturwerte für Schmutzwasseranfall

sowie CSB- und AFS-Konzentration im Schmutzwasser zurückgegriffen werden. Als täglicher Schmutzwasseranfall wurden 140 l/E·d angesetzt (vgl. Durth und Kolvenbach, 2014). Entsprechend dem Arbeitsblatt A 198 wurde die durch häusliches Schmutzwasser verursachte CSB-Schmutzfracht mit 120 g/E·d festgelegt (ATV-DVWK, 2003). Daraus ergab sich die im Modell angesetzte CSB-Konzentration des häuslichen Abwassers von 857 mg/l. Die AFS-Konzentration des Schmutzwassers wurde nach Brombach und Fuchs (2003) auf 202 mg/l festgesetzt.

In dem betrachteten Einzugsgebiet waren zum Zeitpunkt der Untersuchungen 1997 Anwohner an das Kanalnetz angeschlossen. Durch die WSW Energie & Wasser AG wurden an zwei Stellen eine Fehleinleitung ermittelt. Dabei handelte es sich um einen Gastronomiebetrieb und ein Mehrfamilienhaus. Insgesamt leiteten 16 Personen ihr Schmutzwasser in den Regenwasserkanal ein.

Aus der ersten Schmutzfrachtsimulation, die nur mit den Messdaten der UV/Vis-Sonden, ohne Fehleinleiter durchgeführt wurden, konnte für das Einzugsgebiet eine Schmutzfracht von 2.755 kg CSB/a und 2.477 kg AFS/a errechnet werden. Durch die Fehlanschlüsse wurde eine zusätzliche CSB-Fracht von 832 kg/a und eine zusätzliche AFS-Fracht von 196 kg/a errechnet. Das entspricht für den CSB einer Frachterhöhung von rund 30 % und für AFS von rund 8 %.

13 Gesetzliche Vorgaben und Konzepte zur Beseitigung von Fehlanschlüssen

13.1 Gesetzliche Vorgaben mit Bezug zu Fehlanschlüssen

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 Fehlanschlüssen in Trennsystemen: „Fehlanschlüsse im Sinne des Erlasses sind Einleitungen von verschmutztem Wasser (z. B. Schmutzwasser) in das Regenwasserkanalnetz […]. Drainagewassereinleitungen stellen keine Fehlanschlüsse dar. Fehlanschlüsse 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 (Zwangsmaßnahmen) veranlassen, die zu einer Bußgeldzahlung führen.

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.

13.2 Maßnahmen zur Vermeidung und Beseitigung von Fehlanschlüssen

13.2.1 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. 90. 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.

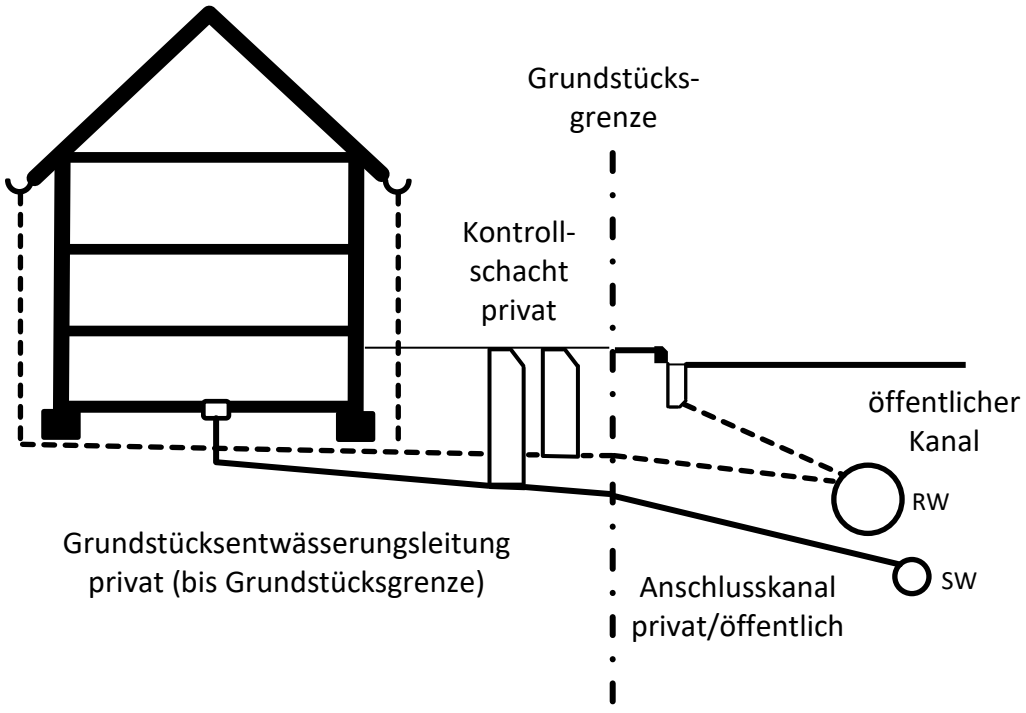


Abb. 90: Grundstücksentwässerungsanlage (GEA) mit Anschluss an die öffentliche Kanalisation bei einem Trennsystem

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 schadhaften 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.

13.2.2 Konzept einer Beispielkommune zur Beseitigung von Fehlanschlüssen

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

Nach Feststellung eines Fehlanschlusses 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 setzten 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 Fehlanschlusses 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).

14 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 Grundstückeigentümer 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 grundsätzlich auf individuelle Fehler bei der Planung, Genehmigung oder Ausführung zurückzuführen, deren Aufklärung mit Unannehmlichkeiten verbunden ist.

Die ökologische Belastung der Gewässer durch Fehleinleitungen ist unstrittig. Das aktuelle Ausmaß der Belastungen ist mit derzeitigem Stand der Erkenntnisse noch nicht quantifizierbar. Hier besteht weiterer Forschungsbedarf.

Zur Weiterentwicklung der DTS-Messtechnik zur Detektion von Fehleinleitungen durch Erfassung von Temperaturdifferenzen im Abfluss, erfolgten exemplarische Untersuchungen in der Kanalisation der Städte Warendorf und Wuppertal. Die beiden Städte zeichnen sich durch unterschiedliche Rahmenbedingungen aus.

Die Großstadt Wuppertal mit über 355 000 Einwohnern ist durch hohe topografische Unterschiede gekennzeichnet. In Wuppertal werden ca. 90 % des Stadtgebietes im Trennverfahren entwässert. An über 700 Stellen erfolgen Einleitungen aus der Regenwasserkanalisation in ein Gewässer. Der Anteil an Gewerbe- und Industrieunternehmen ist vergleichsweise hoch. In Wuppertal führt die Betriebsabteilung regelmäßige Fehleinleiterkontrollen im Kanalnetz durch.

Die Stadt Warendorf im östlichen Münsterland hat eine ländlich geprägte Struktur. In Warendorf leben über 37 000 Menschen. Das Gelände ist eben und das Kanalnetz weist dementsprechend nur ein geringes Gefälle auf. Vergleichsweise häufig werden Grundstücke durch Drainagepumpen entwässert. Probleme mit Fehleinleitungen waren in Warendorf zu Beginn des Projektes weitgehend unbekannt.

Die Untersuchungen des Projektes DETEK-T haben gezeigt, dass zur Detektion unterschiedliche Verfahren verfügbar sind. Dabei stellt die DTS-Messung ein genaues Verfahren zur exakten Detektion von Temperaturauffälligkeiten dar, die ein sicheres Indiz für Fehleinleitungen sind. Auch die in Warendorf zahlreichen Drainageeinleitungen mit vergleichsweise geringen Temperaturunterschieden wurden sicher detektiert, stellten aber keine Fehleinleitung dar. Die Auswertungen haben gezeigt, dass in erster Linie eine Temperaturdifferenz von mindestens 2 °C auf Fehleinleitungen in den Regenwasserkanal hindeuten.

Die im Rahmen des Projektes gewonnenen Erfahrungen haben verdeutlicht, dass eine kurzfristige Überprüfung möglicher Fehleinleiter, möglichst noch während der Messphase, die Chance der Ermittlung von Fehleinleitern steigert. 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.

Ein maßgebliches Ergebnis der Untersuchungen in Warendorf und Wuppertal war die Reduktion des Aufwandes und der Kosten bei der DTS-Messung. Durch Segmentierung der Kabelabschnitte mit Kabelverbindern (Connectoren) ist eine deutliche Reduktion des Aufwands beim Ein- und Ausbau möglich. Durch damit verbundene Mehrfachnutzung der Kabelsegmente können die Kosten für das Glasfaserkabel reduziert werden.

Ein weiteres Ergebnis der durchgeführten Untersuchungen sind ein Überblick und die Bewertung unterschiedlicher Detektionsmethoden. Die bisher in den meisten Fällen durchgeführte Benebelung 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.

Die landesweite Umfrage hat gezeigt, dass etwa ein Drittel der Kommunen systematisch nach Fehleinleitungen sucht. Dabei werden zumeist Benebelungen durchgeführt. Die Mehrheit der befragten Kommunen sehen Fehleinleitungen nicht als maßgebliches Problem. Dies zeigt, dass zur Vermeidung der Belastung der Gewässer mit unbehandelten Schmutzwasserabflüssen noch erheblicher Aufklärungsbedarf besteht.

Um Fehleinleitungen auszuschließen, ist eine konsequente Abnahme der Anschlussleitungen erforderlich. Darüber hinaus kann das Risiko des Fehlanschlusses 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.

15 Literatur

ATV-DVWK (2003): Arbeitsblatt A 198: Vereinheitlichung und Herleitung von Bemessungswerten für Abwasseranlagen.

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.

Brombach H. und Dettmar J. (2016): Im Spiegel der Statistik: Abwasserkanalisation und Regenwasserbehandlung in Deutschland. Korrespondenz Abwasser, Abfall 2016 (63) 2016: 176–186.

Brombach H. und Fuchs S. (2003): Datenpool gemessener Verschmutzungskonzentrationen in Misch- und Trennkanalisationen. KA - Korrespondenz Abwasser, Abfall: 441–450.

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.

Destatis (2018a): Öffentliche Wasserversorgung und Abwasserentsorgung in Nordrhein-Westfalen. Teil 2: Abwasserentsorgung. Statistisches Bundesamt 2018.

Destatis (2018b): Umwelt: Fachserie 19, Reihe 2.1.3: Öffentliche Wasserversorgung und Abwasserentsorgung. Strukturdaten zur Wasserwirtschaft 2016. Statistisches Bundesamt 2018.

Durth A. und Kolvenbach F.-J. (2014): Abwasser und Klärschlamm in Deutschland - statistische Betrachtungen. KA - Korrespondenz Abwasser, Abfall: 1106–1112.

DVGW (2015): DVGW-Information Wasser Nr. 54 - Arzneimittelrückstände im Wasserkreislauf; eine Bewertung aus Sicht der Trinkwasserversorgung.

DWA (2012) Merkblatt DWA-M 182: Fremdwasser in Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA), Hennef, April 2012

DWA (2013): Arbeitsblatt DWA-A 166: Bauwerke der zentralen Regenwasserbehandlung und -rückhaltung - Konstruktive Gestaltung und Ausrüstung. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA), Hennef, Dezember 2013

Ellis J.B. and Butler D. (2015): Surface water sewer misconnections in England and Wales: Pollution sources and impacts. Science of the Total Environment 526: 98–109.

Grüning H. (2005): Einsatz von Photometersonden zur Stoffparametermessung für die Bewirtschaftung des Entlastungssammlers Wupper. Mess- und Regelungstechnik in abwassertechnischen Anlagen. Gemeinschaftstagung der ATV-DVWK und VDI/DE Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik (GMA): 233–240.

Grüning H., Pecher K.-H. und Massing C. (2018): Technische Regenwasserfiltration an zentralen Standorten. Regenwasser in urbanen Räumen - aqua urbanica trifft RegenwasserTage - Schriftenreihe Wasser Infrastruktur Resourcen: S. 225-239.

Grüning H., Schmitz T., Pecher K.-H., Giga A., Massing C. und Schmidt C (2017): Regenwasserbehandlung in einer Großfilteranlage im Einzugsgebiet "In der Fleute" 2017

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 Regenwasserfitration: 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

Hoppe H., Messmann S., Giga A. und Grüning H. (2011). A real-time control strategy for separation of highly polluted storm water based on UV-Vis online measurements - from theory to operation Water Science & Technology Vol 63 No 10 pp 2287-2293 © IWA Publishing 2011 doi:10.2166/wst.2011.164

Hoppe H, Pecher KH, 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

Hoppe H., Dittmer U., Gruber G., und Rieckermann J. (2019). Datenbasierte Planungs-, Betriebs- und Vollzugskonzepte zur nachhaltigen Regenwasserbehandlung. In: Tagungsband zur 52. Essener Tagung. Schriftenreihe "Gewässerschutz – Wasser – Abwasser", Gesellschaft zur Förderung des Instituts für Siedlungswasserwirtschaft an der RWTH Aachen e.V., S. 26/1-26/16. ISBN 978-3-938996-56-0

Irvine, K., Rossi, M.C., Vermette, S., Bakert, J., Kleinfelder, K. (2011) Illicit discharge detection and elimination: low cost options for source identification and trackdown in stormwater systems. Urban Water J. 8 (6), 379-395

LWG (2016): Wassergesetz für das Land Nordrhein-Westfalen (Landeswassergesetz - LWG-). 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.

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

Panasiuk O., Hedström A., Marsalek J., Ashley R. M. and Viklander M. (2015) Contamination of stormwater by wastewater: A review of detection methods. Journal of Environmental Management 152 (2015) 241-250

Raman C.V. (1928): A new radiation. Indian Journal of Physics 1928: 387–398.

Schilperoort, R.P.S., Gruber, G., Flamink, C.M.L., Clemens, F.H.L.R., van der Graaf, J.H.J.M. (2006). Temperature and conductivity as control parameters for pollution-based real-time control. Water Science & Technology 54 (11-12), 257-263

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

Schilperoort R., Rudelle E.A., Vollertsen J., Hoppe H., Lautsen A. und Laschet U. (2014). CCTV vs. DTS: Comparison of Results in the Search for Infiltration and Inflow. 13th International Conference on Urban Drainage, Sarawak, Malaysia, 7-12 September 2014

Schmidt C., Hoppe H., Böckmann D. und Grüning H. (2019) Fehleinleitungen als Stoffquelle. 6. Wassertage Münster, Institut für Infrastruktur · Wasser · Ressourcen · Umwelt, 26./27. Februar 2019, Tagungsband (ISBN: 978-3-947263-07-3), S. 109 bis 119

Selker J.S., Thévenaz L., Huwald H., Mallet A., Luxemburg W., van de Giesen N., Stejskal M., Zeman J., Westhoff M. and Parlange M.B. (2006): Distributed fiber-optic temperature sensing for hydrologic systems. Water Resour. Res. 42.

Sieker F., Kaiser M. und Sieker H. (2006) Dezentrale Regenwasserbe-wirtschaftung im privaten, gewerblichen und kommunalen Bereich. Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart

Warendorf (2018): Zahlen, Daten & Fakten. https://www.warendorf.de/leben-in-warendorf/stadtportrait/zahlen-daten-fakten.html (12.03.2019).

Wicke D., Matzinger A. und Rouault P. (2015) Relevanz organischer Spurenstoffe im Regenwasserabfluss Berlins (Abschlussbericht). https://www.kompetenz-wasser.de/wp-content/uploads/2017/11/abschlussbericht_ogre_final_rev2.pdf

WHG (2009): Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts. https://www.gesetze-im-internet.de/whg_2009/BJNR258510009.html#BJNR258510009BJNG000100000 (04.2019).

wuppertal.de (2018): Daten und Fakten. https://www.wuppertal.de/wirtschaft-stadtentwicklung/daten_fakten/index.php (12.03.2019).