

Qualitätsabhängige Kanalnetzsteuerung- Konzeption und Umsetzung lokaler und stadtgebietsweiter Steuerungsstrategien

Katja Ines Raith, Holger Hoppe, Stefan Kutsch, Jens Ante, Christian Massing

Leitfaden

Version I (2017)

September 2017

SAMUWA Publikation

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

NaWaM
Nachhaltiges Wassermanagement



INIS

Qualitätsabhängige Kanalnetzsteuerung- Konzeption und Umsetzung

Leitfaden im Rahmen der Fördermaßnahme BMBF-INIS “Verbundprojekt SAMUWA: Die Stadt als hydrologisches System im Wandel - Schritte zu einem anpassungsfähigen Management des urbanen Wasserhaushalts”

Förderkennzeichen 033W004A

Bearbeitung:

Dr. Pecher AG
Klinkerweg 5
40699 Erkrath

<http://www.pecher.de>

Das Urheberrecht und die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegen bei den Autoren.

Beteiligte SAMUWA-Verbundpartner:



"Wasser ist keine übliche Handelsware, sondern ein ererbtes Gut, das geschützt, verteidigt und entsprechend behandelt werden muss" (*Auszug aus den Erwägungsgründen der europäischen Wasserrahmenrichtlinie*)

Vorwort

Das Forschungsprojekt SAMUWA (Die Stadt als hydrologisches System im Wandel. Schritte zu einem anpassungsfähigen Management des urbanen Wasserhaushalts) wurde als Verbundforschungsvorhaben innerhalb der BMBF-Fördermaßnahme „Intelligente und multifunktionelle Infrastruktursysteme für eine zukunftsfähige Wasserversorgung und Abwasserentsorgung“ (BMBF-INIS) durchgeführt. Der Fokus dieses Projektes lag in der Flexibilisierung und Überarbeitung von bestehenden Systemen. Der zukünftige Wandel der städtischen Wasserinfrastruktur wird, bedingt durch allgemeine Entwicklungen wie den demografischen und klimatischen Wandel, von stadtspezifischen Entwicklungen wie der Veränderung der Stadtstrukturen, sozio-ökonomischen und sozio-kulturellen Entwicklungen überlagert. Hinzu kommen veränderliche und mitunter konkurrierende Ansprüche der Gesellschaft hinsichtlich Kosten und Risiken sowie an die Qualität und Nutzbarkeit von Gewässern. Das Teilprojekt B1 „qualitätsabhängige Steuerung“ legte dabei den Fokus auf die Verbesserung des Bestandes durch technische Maßnahmen. Anspruch war es hierbei, das System intensiv zu analysieren und Verbesserungen hinsichtlich der Steuerung abzuleiten, die mit geringen Ertüchtigungsmaßnahmen möglich sind.

Nach wie vor sind deutschlandweit nur 6,7 % der Flüsse in einem sehr guten bis guten Zustand, 19,9 % hingegen in einem schlechten Zustand (Umweltbundesamt, 2016). Schwermetalle, industrielle Schadstoffe und Pestizide sind die Stoffgruppen, die zur Bewertung des chemischen Zustandes herangezogen werden. Der zunehmende Einfluss der urbanen Entwässerung auf die Qualität der Oberflächengewässer hat die Notwendigkeit von intelligenten Kanalnetzsteuerungen, welche die Anzahl der Entlastungen reduzieren und die Gewässer nach dem Stand der Technik schützen sollen, in das Bewusstsein gerufen.

Das oberste Ziel einer Verbundsteuerung ist es, Entlastungen nur bei einer vollständigen Ausnutzung des Systemvolumens zuzulassen. Unvermeidbare Entlastungen aus dem Kanalnetz sollen den geringstmöglichen Schaden verursachen. Die naheliegende Frage ist, ob und inwieweit die Leistung eines Verbundsteuerungssystems unter Verwendung von qualitätsabhängigen Kontrollstrategien weiter verbessert werden kann. Ziel sollte es sein, dass das am stärksten belastete Abwasser behandelt wird und nur gering belastetes Abwasser das System verlässt. Zusätzlich sollte unter Immissionsaspekten der Vulnerabilität der Gewässer für die Priorisierung von Entlastungspunkten Rechnung getragen werden.

Messkampagnen zeigen, dass Abflussverschmutzungen vielfach eine hohe zeitliche und räumliche Variabilität aufweisen (z. B. Spülstöße) und selten eine Korrelation mit hydraulischen Daten besteht. Kanalnetzsteuerungen, die nur auf Wasserstands- und Abflussmessungen beruhen, können diese Effekte daher nicht berücksichtigen. Realistischere und zeitlich aufgelöste modelltechnische Abbildungen von Verschmutzungskonzentrationen sind nach wie vor nur beschränkt möglich (Dotto et al., 2010; Al Ali et al., 2016; Sage et al., 2015). Nur Online-Messungen der Konzentrationsganglinie können heute die dynamischen Prozesse abbilden und stellen damit eine sichere Steuerungsgrundlage dar. Dies gilt insbesondere bei nicht wiederkehrenden Prozessen, beispielsweise durch jahreszeitliche Schwankungen, die eine Integration in die Steuerung auf Grundlage historischer Daten unmöglich machen. Des Weiteren schaffen Qualitätsdaten die Basis zur optimalen Planung und Netzbewirtschaftung, da der Bau von Behandlungsanlagen wie Sedimentations- oder Filteranlagen keine „Glaubensfrage“ mehr ist und die Planung nicht ausschließlich anhand von Referenzflächen und -verschmutzungen erfolgen muss.

Nur unter Berücksichtigung der qualitativen Aspekte von Steuerungsstrategien kann die in den bisherigen Regelwerken vorhandene Lücke zu zeitgemäßen Ansprüchen an den Gewässerschutz geschlossen werden. Der vorliegende Leitfaden soll die laufenden Arbeiten zu diesem Thema (u. a.) der DWA ergänzen, welche sowohl die notwendigen Überlegungen und Handlungsschritte zur Implementierung von Verbundsteuerungsstrategien aufgrund von hydraulischen Daten darlegt (Merkblatt DWA-M 180 (DWA, 2005)) als auch detaillierte Hinweise zur Messtechnik bietet (Merkblatt DWA-M 181 (DWA, 2011)) sowie Handlungsanweisungen zum Messdatenmanagement gibt (Merkblatt DWA-M 151 (DWA, 2014)). Daneben fußt das Arbeitsblatt DWA-A 102 (DWA, 2016) auf zahlreichen Messkampagnen, die benötigt wurden, um Referenzwerte für den Parameter AFS63 zu ermitteln. Kanalnetzsteuerungen stellen eine wichtige Möglichkeit dar, bestehende Kanalnetze an sich ändernde Randbedingungen wie den demographischen und klimatischen Wandel anzupassen. Dieser Leitfaden möchte hierzu einen weiteren Baustein liefern.

Zusammenfassung

Der vorliegende Leitfaden ist das Produkt des Teilprojektes B1 „Qualitätsabhängige Verbundsteuerung“ des BMBF-Forschungsprojektes INIS-SAMUWA (Förderkennzeichen 033W004D). Dieser Leitfaden stellt anhand des Praxisbeispiels Wuppertal und weiteren Beispielen von Qualitätsmessungen und Steuerungsstrategien eine Arbeitshilfe für die Konzeption und Umsetzung von lokalen und stadtgebietsweiten qualitätsabhängigen Steuerungsstrategien dar. Beispiele aus der Literatur sind mit der Aufzeichnung des innerhalb des Forschungsprojektes durchgeführten Maßnahmenpakets in Wuppertal verknüpft.

Der Leitfaden beinhaltet die allgemeinen Aspekte der qualitätsabhängigen Steuerung und der damit verbundenen Zielsetzungen. Insbesondere dient dieser Leitfaden zur Abschätzung des Nutzens einer qualitätsabhängigen Steuerung für das individuelle Entwässerungssystem. Gleichfalls gibt der Leitfaden grundsätzliche Hinweise zu Bauwerken, Parametern und Messtechnik sowie konkrete Hinweise zu möglichen Einbauorten der Messtechnik. Es werden Strategien zu Wartung, Betrieb und Datenpflege aufgezeigt und Hinweise zur Genehmigung gegeben.

Anhand des Praxisbeispiels Wuppertal wird eine Umsetzung in Deutschland beschrieben.

Praxisbeispiel Wuppertal

Für das Entwässerungssystem bedeutsame Regenbecken sind heute bereits mit Mess-, Steuer- und Regeltechnik ausgerüstet. Diese dienen der Überwachung des einzelnen Bauwerks und ggf. auch der Steuerung vor Ort. Wenige Beispiele gehen über diese lokalen Steuerungen hinaus und die vorhandene Technik wird zur Steuerung mehrerer Becken im Verbund verwendet. Vorhandene Netzsteuerungen basieren hierbei in der Mehrzahl ausschließlich auf Messungen von Wasserständen und Durchflüssen. Das Ziel ist die optimale Nutzung des Retentionsraums. Dabei wird „stillschweigend“ vorausgesetzt, dass somit auch Stofffrachten maßgebend reduziert werden. Durch die optimale Volumenausnutzung sollen Spülstöße mit einer hohen stofflichen Belastung (First oder Last Flush) behandelt werden, so dass verdünntes, vermeintlich gering verschmutztes Wasser dem Gewässer zugeführt wird. Eine Aussage, ob dieses Ziel erreicht werden kann, lässt sich ohne Messungen allerdings nicht treffen. Nach wie vor ist die Simulation von Verschmutzungen aufgrund komplexer Abtrags- und Akkumulationsprozesse in ihrer Dynamik sehr unsicher. *Lässt sich eine Steuerung effizient umsetzen, ohne die Zielgrößen messen?* In Wuppertal werden seit 2006 qualitätsabhängige Bauwerkssteuerungen umgesetzt.

Lokale qualitätsabhängige Steuerung und Wirkungsprinzip

Nicht zuletzt aufgrund der besonderen wasserwirtschaftlichen Randbedingung haben die Wuppertaler Stadtwerke Energie und Wasser AG (WSW), als einer der ersten Netzbetreiber überhaupt, eine qualitätsabhängige Kanalnetzsteuerung auf Basis von Online-Messungen in den Praxisbetrieb umgesetzt.

Die Wupper, der Hauptvorfluter verläuft entlang der Talachse. Die Wupper speisende Bachläufe sind im Zuge der Industrialisierung zum größten Teil Bestandteil des Entwässerungssystems geworden. Aktuell sind in NRW die Abflüsse von befestigten Flächen in Abhängigkeit von der Oberflächennutzung klärpflichtig. Die somit erforderlichen Behandlungsmaßnahmen würden auch die im Trennsystem kanalisiertes Bachläufe betreffen. Um hier eine zeitgemäße Behandlung ohne eine heute mittelfristig nicht umsetzbare Entflechtung zu schaffen, wird die

Abflussverschmutzung kontinuierlich messtechnisch erfasst. Auf diese Weise kann bei geringer Abflussverschmutzung, beispielsweise bei Trockenwetter (Gewässerabfluss), die Ableitung direkt in die Wupper erfolgen. Bei Erreichen eines bestimmten Grenzwertes, bietet ein Verzweigungsbauwerk (VZW) die Möglichkeit zur Ableitung des behandlungspflichtigen Abflussanteils (Drosselabfluss) (vgl. Abb. 1) in den Entlastungssammler Wupper (ESW). Am Ende des ESW dient ein Regenüberlaufbecken (RÜB) als zentrales Behandlungsbauwerk und zugleich als einzige Entlastungsmöglichkeit des

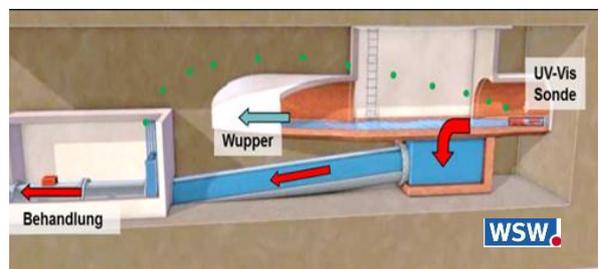


Abbildung 1: Prinzip der qualitätsabhängigen Steuerung

Systems, das ein Gesamtvolumen von rd. 46.000 m³ aufweist (vgl. Abbildung 2). Die Abflussverschmutzung wird über Spektromettermessungen erfasst.

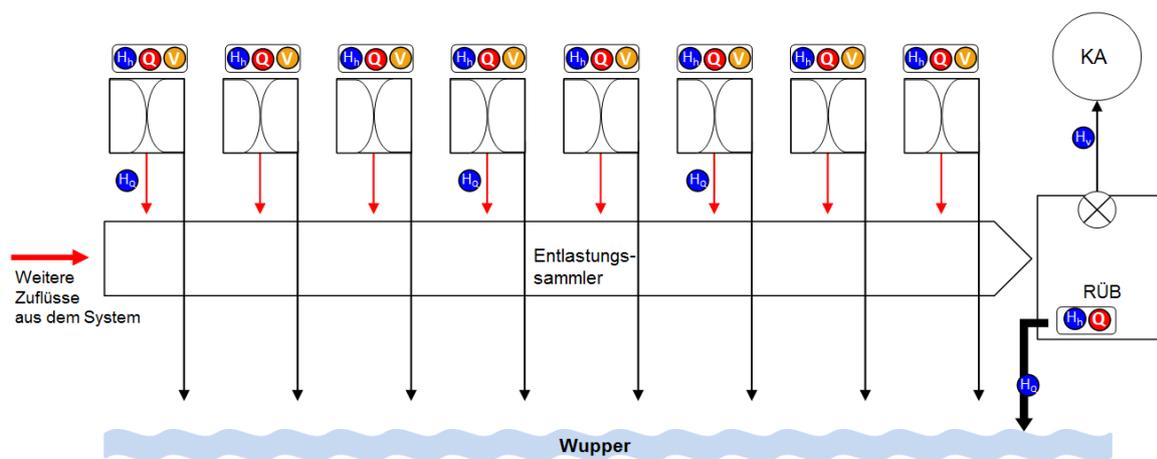
Technischer Aufbau, Datenanalyse und Strategien der Verbundsteuerung

Seit 2014 wird eine zusätzliche Spektrometersonde am Überlauf des RÜB am Ende des Entlastungssammlers Wupper betrieben. An acht großen VZW sind z. T. seit rd. 10 Jahren ebenfalls Spektrometersonden installiert und erfassen die dem System zufließenden Volumina.

Die bisher erhobenen Messdaten wurden zur Entwicklung einer Verbundsteuerung intensiv ausgewertet. Details zur Datenanalyse können Fricke et al., 2016 und Hoppe et al., 2016 entnommen werden.

Ziel der Verbundsteuerung ist es, die Verschmutzung der dem Gesamtsystem zufließenden Abflüsse und der Entlastung zu vergleichen. Stark verschmutzte Abflüsse sollen der Behandlung zugeführt werden.

Ist das Gesamtsystem gefüllt und kommt es zur Entlastung am Systemende, sollen zukünftig nur Abflüsse weiter zugeleitet werden, die stärker verschmutzt sind als die Entlastung selbst. Auf diese Weise kann der Gesamtwirkungsgrad des Systems ohne Beckenneubau erhöht werden bzw. Potential für weitere Anschlüsse aufgezeigt werden.



Legend:

- Qualitätsüberwachung
- Hydraulische Überwachung – Volumen (Q)
- Hydraulische Überwachung – Wasserstand (h)
- Video Kamera
- UV-vis – Sonden- basiert gesteuertes Verzweigungsbauwerk AFS_{eq}

Abbildung 2: Schemazeichnung des qualitätsabhängig gesteuerten Entwässerungssystems in Wuppertal

Inhaltsverzeichnis

1	Steuerungsstrategien	6
1.1	Einführung Echtzeit-Steuerungsstrategien	6
1.2	Volumenabhängige und qualitätsabhängige Steuerungsstrategien	6
2	Rahmenbedingungen – dynamische Belastung der Regenwetterabflüsse	10
3	Grundlage der Steuerungen: Online erfassbare Qualitätsparameter	10
3.1	Auswahl eines Qualitätsparameters	10
3.2	Anforderungen an Sensoren zur Online-Messung	10
3.2.1	Spektrometrische Messungen	11
3.2.2	Optische Trübungsmessungen	11
3.3	Hinweise zu wichtigen Qualitätsparametern	11
3.3.1	Chemischer Sauerstoffbedarf CSB und SAK	11
3.3.2	Abfiltrierbare Stoffe AFS und AFS63	11
3.3.3	Partikelgrößenverteilungen	12
3.3.4	Temperatur und Leitfähigkeit	12
3.3.5	pH-Wert ¹²	
4	Messtechnische Erfassung von Qualitätsparametern im Kanalnetz	14
4.1	Voraussetzungen	14
4.2	Bauwerke	14
4.3	Einbauort im Bauwerk	14
5	Betriebsüberwachung	20
5.1	Wartung der Messtechnik	20
5.2	Kontrolle der Messdaten	20
5.3	Kontrolle mittels Kamera und Ortsbegehungen	23
5.4	Notfallsteuerung	23
5.5	Nachweis über die Modellabbildung	25
5.6	Nachweis durch Betriebsdaten	26
6	Praxisbeispiel Wuppertal	27
6.1	Rahmenbedingungen	27
6.2	Steuerungsstrategie der lokalen qualitätsabhängigen Echtzeit-Steuerung	27
6.3	Entwässerungssituation in Wuppertal	27
6.4	Wahl des Qualitätsparameters	28
6.5	Messtechnische Erfassung	28
6.5.1	Vorraussetzungen in Wuppertal	28
6.5.2	Bauwerke und Einbauort	29
6.6	Erfahrungen zu Wartung, Messbetrieb und Datenpflege	29
6.6.1	Notfallsteuerung	31
6.6.2	Messdatenbasierte Entwicklung eines Verbundsteuerungskonzeptes	31
6.7	Genehmigung und Nachweis	38
6.7.1	Aktueller Stand der Nachweise	38
6.7.2	Geplante Systemerweiterungen zur Regenwasserbehandlung	38
7	Ausblick	38

Abbildungsverzeichnis	39
Tabellenverzeichnis	40
Literaturverzeichnis	41

1 Steuerungsstrategien

1.1 Einführung Echtzeit-Steuerungsstrategien

Im Merkblatt DWA-M 180 „Handlungsrahmen zur Abflusssteuerung in Kanalnetzen“ sind wichtige Grundlagen und Begriffsdefinitionen im Gebiet der Abflusssteuerung beschrieben (DWA, 2005). Die Umsetzung beschränkt sich in der Praxis zumeist jedoch auf lokale Steuerungen an einzelnen Bauwerken im Kanalnetz. In verschiedenen Großstädten, wie z. B. Wien, kommen auch Verbundsteuerungen zum Einsatz (Fuchs und Beeneken, 2005). Die Steuerungen basieren i. d. R. auf gemessenen Wasserständen oder Volumenströmen mit den vorrangigen Zielen, Beckenauslastungen zu verbessern und Entlastungshäufigkeiten zu vermindern (de Korte et al., 2009). Eine Literaturübersicht und eine Leistungsanalyse der Echtzeit-Steuerung ist in van Daal et al., 2017 zu finden.

Sollen zukünftig mittels einer Steuerung neben o. g. quantitativen Aspekten auch qualitative Aspekte unmittelbar berücksichtigt werden, um einen effizienten Gewässerschutz zu ermöglichen, sind qualitätsabhängige Steuerungen erforderlich (Hoppe et al., 2009; Lacour et al., 2011). Dass Messungen der Abwasserqualität mit Online-Sonden, die die Grundlage einer qualitätsabhängigen Abflusssteuerung bilden müssen, technisch möglich sind, zeigen zahlreiche bisher durchgeführte Pilotprojekte, u. a. Gruber et al., 2006 und entsprechende Verknüpfungen von Forschungs- und Praxiserfahrungen (Hoppe et al., 2009). Zudem entwickelt sich das Forschungsfeld zur intelligenten Überwachung von Netzsystemen durch den Einsatz neuer Messmethoden immer weiter (Schilperoot, 2011; Rieckermann et al., 2017).

Eine qualitätsabhängige Steuerung einzelner Bauwerke, insbesondere von Regenklärbecken ohne Dauerstau, oder darauf aufbauende Verbundsteuerungen sind bislang nicht im Regelwerk verankert. Erste Messungen deuten aber auf ein enormes Potential zur Verbesserung des Gewässerschutzes auf der einen Seite und Energieeinsparung auf der anderen Seite hin. In die Überarbeitung des Arbeitsblattes DWA-A 166 (DWA, 2013) haben diese Erkenntnisse aber noch keinen Eingang gefunden (vgl. auch Tabelle 1).

1.2 Volumenabhängige und qualitätsabhängige Steuerungsstrategien

Volumenabhängige Echtzeit-Steuerung

Laut dem Merkblatt DWA-M 180 (DWA, 2005) dienen volumenabhängige Echtzeit- Verbundsteuerungen der Reduktion der Gewässerbelastung und der Mischwassereinleitung, der optimierten Nutzung des Retentionsraums, sowie der Steigerung des in der Kläranlage behandelten Mischwasseranteils z. B. durch gezielte zeitweilige Erhöhung des Zuflusses. Die Steuerungen können lokal an einem Bauwerk oder im Verbund erfolgen (Verbundsteuerung).

Die verschiedenen Ansätze sind in Tabelle 2 zusammengefasst. Das größte Optimierungspotential haben Kanalnetze, bei denen zeitlich und räumlich ungleichmäßige Kapazitätsauslastungen vorliegen. Zusätzlich kann die volumenabhängige Echtzeit-Verbundsteuerung unter Einbeziehung von Systemzustandsinformationen der Kläranlage und/oder der Gewässer für die Festlegung der Steuerungsregeln erfolgen. Des Weiteren sind bereits Forschungsergebnisse zu modellprädiktiven Steuerungen vorhanden. Bei diesen Echtzeit-Verbundsteuerungen erfolgt die Steuerung unter Berücksichtigung eines vorausgesagten Systemverhaltens.

Qualitätsabhängige Echtzeit- Steuerung

Vorrangiges Ziel der qualitätsabhängigen (auch: verschmutzungsabhängigen) Steuerung ist die messdatenbasierte Reduzierung der stofflichen Gewässerbelastung. Es sind Steuerungen einzelner Bauwerke oder Steuerungen im Verbund möglich. Hierbei werden immer auch die klassischen Regeln der volumenabhängigen Echtzeit-Steuerung genutzt, um den Stauraum optimal zu nutzen und z. B. Entlastungshäufigkeiten zu reduzieren. Zusätzlich erfolgt die Betrachtung der Abwasserqualität. Ziel ist es, dass das am stärksten belastete Abwasser behandelt wird und nur gering belastetes Abwasser das System unbehandelt oder ggf. nur mittels Sedimentation vorgereinigt verlässt. Zusätzlich sollte der Vulnerabilität der Vorflut für die Priorisierung von Entlastungspunkten Beachtung geschenkt werden.

Im Folgenden werden wichtige Veröffentlichungen ohne Anspruch auf Vollständigkeit für die jeweilige Echtzeit-Steuerungsstrategie aufgeführt.

Volumenabhängige Echtzeit-Steuerung

- Integrierte Betrachtungen (Schilling, 1990; Vanrolleghem et al., 1999; Muschalla, 2008; Erbe, 2004; Rauch et al., 2005; Schütze und Muschalla, 2013; Benedetti et al., 2013)
- Modellprädiktive Steuerungen (Heusch, 2011; García et al., 2015)
- Echtzeit-Optimierung (Dirckx et al., 2011)

Qualitätsabhängige Echtzeit- Steuerungen

- Optimierung auf Grundlage historischer Daten und empirische Modelle für die Vorhersage der Abwasserqualität (Van Daal-Rombouts et al., 2013; Schilperoort et al., 2015)
- Betrachtung des Gewässers (Langeveld et al., 2013; Vanrolleghem et al., 2005). Bei der Systemsteuerung wird die Vulnerabilität der Vorflut betrachtet.
- Betrachtung der Entlastungsvolumenstroms im Verbund (Hochedlinger, Hofbauer et al 2006, Fricke et al., 2016) und lokal (Hoppe et al., 2011; Lacour et al., 2011)
- Modellbasiert mit Kalibrierung des Modells anhand von Qualitätsdaten (Risholt et al., 2002; Langeveld et al., 2014)

Tabelle 1: Wichtige Merk- und Arbeitsblätter der DWA zum Themenbereich Abflusssteuerung und Messdatenmanagement

	Titel
ATV-A 128 (1992)	Richtlinien für die Bemessung und Gestaltung von Regenentlastungsanlagen in Mischwasserkanälen (ATV-DVWK, 1992)
BWK-M 3 (2007)	Ableitung von immissionsorientierten Anforderungen an Misch- und Niederschlagswassereinleitungen unter Berücksichtigung örtlicher Verhältnisse (BWK, 2007)
BWK-M 7 (2008)	Detaillierte Nachweisführung immissionsorientierter Anforderungen an Misch- und Niederschlagswassereinleitungen gemäß BWK-Merkblatt 3 (BWK, 2008)
DWA-A 100 (2006)	Leitlinien der integralen Siedlungsentwässerung (DWA, 2006a)
DWA-A 102 Entwurf (2016)	Anforderungen an niederschlagsbedingte Siedlungsabflüsse (DWA, 2016)
DWA-A 166 (2013)	Bauwerke der zentralen Regenwasserbehandlung und -rückhaltung – Konstruktive Gestaltung und Ausrüstung (DWA, 2013)
DWA-M 151 (2014)	Messdatenmanagementsysteme (MDMS) in Entwässerungssystemen (DWA, 2014)
DWA-M 153 (2012)	Handlungsempfehlungen zum Umgang mit Regenwasser (DWA, 2012)
DWA-M 180 (2005)	Handlungsrahmen zur Planung der Abflusssteuerung in Kanalnetzen (DWA, 2005)
DWA-M 181 (2011)	Messung von Wasserstand und Durchfluss in Entwässerungssystemen (DWA, 2011)

Tabelle 2: Ansätze der Echtzeit-Steuerungsstrategien

System	Mischsystem oder Trennsystem		
Steuerung	Lokal	Global/im Verbund	
Bauwerke	Sonderbauwerke im Kanalnetz	Kanalnetz + Kläranlage (Integriert)	Kanalnetz + Gewässer (Integriert)
Ansätze	Emission Betrachtung des Entlastungsstroms	Immission Betrachtung des Vorfluters	Emission Betrachtung des Entlastungsstroms

Eingangsgrößen lokaler oder globaler Steuerungen

Messdaten	Hydraulische Daten und Niederschlag Integrierte Betrachtung: Hydraulische Daten der Kläranlage und des Gewässers	Daten zur Abwasserqualität zusätzlich zu den hydraulischen Daten der verschiedenen Systeme und des Niederschlags	
Integration in die Steuerung	Dynamische Datenerfassung	Dynamische Datenerfassung	Statistische Datenerfassung (Berücksichtigung z. B. als Einheitsganglinie)

Dieser Leitfaden behandelt in erster Linie die qualitätsabhängige Echtzeit-Verbundsteuerung (Messung des Entlastungsvolumenstroms, Steuerungsstrategie mehrerer Bauwerke, Steuerung auf Basis von Echtzeitwerten). Im Rahmen des Projektes SAMWUA ist ein weiterer Leitfaden zum Thema „Integrale Abflusssteuerung in Mischsystemen“ entstanden (Haas et al., 2016), der die Aspekte der volumenabhängigen Steuerungen aufbauend auf dem Merkblatt DWA-M 180 (DWA, 2005) beschreibt.

Begriffe	
Dynamische Datenerfassung	Die Messdaten werden online erfasst und stehen als Basis von Steuerungsentscheidungen zur Verfügung (<i>auch bezeichnet als Echtzeit- oder Online-Datenerfassung</i>).
Emissionsansatz	Betrachtung der Belastung bedingt durch den Entlastungsvolumenstrom (Austrag).
Globale Steuerung	Die Steuerung umfasst mehrere Bauwerke, z. B. Teilnetze oder das stadtgebietsweite Netz (<i>auch bezeichnet als Verbundsteuerung</i>).
Hydraulische Daten	Daten zu Wasserstand und/oder Durchfluss.
Immissionsansatz	Betrachtung der Belastung des Vorfluters (Eintrag). Steuerungen, die Immissionsaspekte berücksichtigen, werden in der Fachliteratur auch als <i>immission-based control</i> bezeichnet (z. B. Meirlaen, 2002).
Integrierte Steuerung	Zusätzliche Einbeziehung von Systemzustandsinformationen aus der Kläranlage und/oder der Gewässer für die Festlegung der Steuerungsentscheidung im Kanalnetz (DWA, 2005). In der Fachliteratur wird diese dann auch als <i>integrated real time control</i> (Kläranlage) und als <i>impact-based control</i> (z. B. Weijers et al., 2012) oder <i>water quality-based control</i> (Vorfluter) bezeichnet.
Lokale Steuerung	Voneinander unabhängiger Betrieb der Stellorgane an einem Sonderbauwerk, z. B. RÜB, im Entwässerungssystem. Informationen aus einem örtlich begrenzten Bereich dienen als Grundlage für die Steuerungsentscheidung (DWA, 2005). In der Fachliteratur wird diese dann auch als <i>local control</i> bezeichnet.
Qualitätsabhängige Steuerung	Eine Steuerungsstrategie, die als Steuerungsgröße Konzentrationen (oder Frachten) eines bestimmten Qualitätsparameters nutzt. In der Fachliteratur auch bezeichnet als <i>pollution-based real time control</i> oder (<i>water</i>) <i>quality-based real time control</i> (verschmutzungsabhängig).
Steuerung	Beeinflussung eines Systems aufgrund von Messdaten ohne Soll/Ist-Vergleich (offener Wirkungsablauf) (DWA, 2005). Der Begriff Steuerung beschreibt hier auch die Abflusssteuerung, also planmäßige Eingriffe in die Abfluss-, Speicherungs- und Entlastungsvorgänge innerhalb eines Kanalisationssystems. In der Literatur auch bezeichnet als Kanalnetzsteuerung, Kanalnetzbewirtschaftung oder Speicherraumbewirtschaftung (englisch: <i>control, real-time control (Echtzeitsteuerung) RTC</i>).
Steuerung auf Basis von statistischen Qualitätsdaten	Eine auf der Wasserqualität basierende Steuerungsstrategie kann auf gemessenen (historischen) Informationen über Konzentration beruhen. Hieraus kann eine „statistische“ Steuerungsstrategie abgeleitet werden. Dabei kann die Entlastung auf die am wenigsten belasteten Gebiete priorisiert werden (Van Daal-Rombouts et al., 2013). Auch bezeichnet als Verbundsteuerung basierend auf <i>statischen</i> oder <i>temporären</i> Daten. Möglich ist auch z. B. die Berücksichtigung von Einheitsganglinien (Weilandt, 2007).
Verbundsteuerung	Modifizierung der Sollwerte der jeweiligen lokalen Regelkreise in Abhängigkeit von aktuellen und ggf. vorausgerechneten Systemzuständen an anderen Bauwerken im Entwässerungsnetz. Hierfür findet eine Übertragung steuerungsrelevanter Daten zu einer Steuerungszentrale statt, die eine Steuerungsentscheidung, ausgehend vom Gesamtzustand des Entwässerungssystems, trifft (DWA, 2005).

2 Rahmenbedingungen – dynamische Belastung der Regenwetterabflüsse

Mischwassereinleitungen tragen den wesentlichen Anteil der Gesamtemissionen in Oberflächengewässer (Gruber et al., 2004; Yu et al., 2013). Die emittierten Schadstoffbelastungen sind nicht nur auf den Trockenwetterabfluss und den Oberflächenabfluss zurückzuführen, sondern auch bedingt durch die Remobilisierung von Kanalablagerungen während der Niederschlagsereignisse. Resuspendierte Ablagerungen können einen großen Anteil an der Gesamtbelastung verursachen (Hochedlinger, 2005).

Auch im Trennsystem können Niederschlagsabflüsse zum Teil stark belastet sein und bergen dadurch ein großes Risiko der Gewässerverschmutzung. Hierbei spielt nicht nur die über die Flächennutzung abgeschätzte Verschmutzungsquelle eine wichtige Rolle, sondern auch solche, die kurzfristig auftauchen, wie beispielsweise durch Verkehrsunfälle.

Zur Beschreibung der stofflichen Belastung von Regenwetterabflüssen wird zunehmend der Erfassung der Feststoffe eine wichtige Bedeutung zugeschrieben. Die abfiltrierbaren Stoffe (AFS) und insbesondere feine abfiltrierbare Stoffe (AFS63; Anteile < 63 µm) sind hoch mit Schwermetallen, polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) oder weiteren organischen Schadstoffen beladen (Dierschke, 2014). Im Arbeitsblatt DWA-A 102 (DWA, 2016) sind AFS als wichtiger Leitparameter aufgenommen.

3 Grundlage der Steuerungen: Online erfassbare Qualitätsparameter

3.1 Auswahl eines Qualitätsparameters

Das maßgebliche Kriterium für die online-qualitätsabhängige Steuerung ist sowohl die Auswahl eines repräsentativen Parameters und dessen Grenzwertes als auch die Wahl robuster Messtechnik. Insbesondere seit der Publikation des Arbeitsblattes DWA-A 102 (DWA, 2016) gilt AFS63 zukünftig als Referenzparameter in der Regenwasserbewirtschaftung. Da die wichtigste Grundlage einer qualitätsabhängigen Steuerung die Verfügbarkeit von robusten, kontinuierlichen Messdaten ist (Van Daal-Rombouts et al., 2013), können nur online messbare Parameter als Steuergröße dienen. Die Genauigkeit der Messung muss dem Anwendungszweck entsprechen.

Qualitätsmessungen im Entwässerungssystem ermöglichen einen Informationsgewinn über das Verschmutzungspotential von Oberflächenabflüssen und Einleitungsfrachten. Darüber hinaus lassen sich die Schmutzfrachtreduktion und somit die Effizienz von Regenwasserbehandlungsanlagen überprüfen.

In verschiedenen Praxisbeispielen dienten unterschiedliche Qualitätsparameter zur online-qualitätsabhängigen Steuerung, zur Steuerung auf Grundlage von statistischen Qualitätsdaten oder zur Kalibrierung von Schmutzfrachtmodellen, u. a:

- Clichy, Frankreich (Lacour et al., 2011)
- Eindhoven, Niederlande (Langeveld et al., 2013)
- Kopenhagen, Dänemark (Vezzaro et al., 2014)
- Odenthal, Deutschland (Risholt et al., 2002) (in diesem Aufsatz wurden auch Gebiete in Trondheim und Fredrikstad in Norwegen beschrieben)
- Oslo, Norwegen (Weinreich et al., 1997)
- Tielt, Belgien (Vanrolleghem et al., 2005)
- Wien, Österreich (Fuchs und Beeneken, 2005)
- Wuppertal, Deutschland (Hoppe et al., 2011; Fricke et al., 2016)

3.2 Anforderungen an Sensoren zur Online-Messung

Die Auswahl der Sensoren basiert auf den Anforderungen der verschiedenen Überwachungsstandorte und der Erfahrung hinsichtlich der Zuverlässigkeit und Präzision. Darüber hinaus müssen die Sensoren für den Einsatzort

zugelassen sein. In Deutschland ist eine ATEX-Zulassung erforderlich. Es ist zusätzlich auf einen Spritz- bzw. Tauchwasserschutz zu achten (IP68).

In diesem Leitfaden werden Spektrometersonden (spektrometrische Messungen) hinsichtlich des Messbetriebs, Messprinzips und der Einbauorte detaillierter vorgestellt, da für dieses Messverfahren zahlreiche Anwendungsbeispiele bekannt sind. Weitere Messverfahren werden ergänzend zusammengefasst. Es besteht jedoch kein Anspruch auf Vollständigkeit.

3.2.1 Spektrometrische Messungen

Spektrometrische Messungen kommen seit vielen Jahren in Entwässerungssystemen zum Einsatz. Die im Abwasser (Messstrom) enthaltenen Partikel schwächen den entsandten Lichtstrahl (sichtbares und nicht sichtbares Licht) ab. Die Adsorption wird von einem Detektor aufgezeichnet (s.:can Messtechnik GmbH, 2017). Bei den bisher in der Praxis eingesetzten UV-vis-Spektrometersonden wird die Adsorption im Wellenlängenbereich zwischen etwa 200 nm und 708-750 nm (je nach Hersteller) detektiert und das ermittelte Ergebnis aufgezeichnet.

Ein Vorteil dieser Messtechnik ist die Vielzahl von Parametern – z. B. CBSeq, DOSeq, TOSeq, AFSeq und Nitrat–, welche gleichzeitig mit nur einem einzigen Instrument gemessen werden können (Gruber et al., 2005). Spektrometrische Messverfahren sind für einzelne Substanzen (z. B. Nitrat, Nitrit, Benzol, Xylol und Toluol) sowie für Äquivalenzparameter (SAK, Trübung / suspendierte Feststoffe, CBSeq, DOSeq, TOSeq) definiert. Die aus spektrometrischen Messungen resultierenden Äquivalenzparameter sind mit einem Anhang „eq“ angegeben.

3.2.2 Optische Trübungsmessungen

Die Trübungsmessung dient in vielen Bereichen zur Qualitätsbeurteilung von Flüssigkeiten. Die Erfassung erfolgt entweder über die Streulichtmessung oder eine Durchlichtmessung. Bei beiden Messungen wird nach DIN EN 7027 Formazin als Kalibrierstandard verwendet. Zumeist wird ein Ein-Strahl-Streulichtsensor verwendet. Die optische Trübungsmessung erfolgt im nahen Infrarotbereich (860 nm) gem. DIN EN ISO 7027 (DIN EN ISO 7027, 2000). Bei der Streulichtmessung wird die Seitwärtsstreuung des Lichtstrahls nach dem 90°-Streulichtverfahren angewendet, während wiederum bei der Durchlichtmessung die Schwächung des durchgehenden Lichtstrahls erfasst wird.

3.3 Hinweise zu wichtigen Qualitätsparametern

3.3.1 Chemischer Sauerstoffbedarf CSB und SAK

Zur Bestimmung der Konzentrationen von organischen Stoffen im Abwasser, unabhängig von ihrer Zusammensetzung und biologischen Abbaubarkeit, wird der chemische Sauerstoffbedarf (CSB) genutzt (Gujer, 2007). Eine direkte Online-Messung als Grundlage einer Kanalnetzsteuerung ist jedoch nicht möglich. Viele organische Stoffe absorbieren Licht bei einer Wellenlänge von 254 nm. Dieser Zusammenhang wird bei der UV-Sensorik für die Ermittlung von CSB über den Parameter SAK genutzt (Endress+Hauser Management AG, 2017). Auch über UV-vis-Spektrometersonden lässt sich der Parameter CSB indirekt bestimmen.

Bis zum Inkrafttreten des Arbeitsblattes DWA-A 102 (DWA, 2016) wird die Jahresschmutzfracht des CSB als allgemeiner Indikator für die Verschmutzung herangezogen. Bemessungs- und Nachweiskriterium ist damit eine rechnerische, fiktive CSB-Jahresfracht, die im langjährigen Mittel bei mittleren Verhältnissen durch ablaufendes Niederschlagswasser in das Gewässer gelangt (ATV-DVWK, 1992).

3.3.2 Abfiltrierbare Stoffe AFS und AFS63

Insbesondere seit der Publikation des Arbeitsblattes DWA-A 102 (DWA, 2016) gilt AFS63 als Referenzparameter in der Regenbewirtschaftung.

Viele Veröffentlichungen zeigen zuverlässige Ergebnisse von Trübungssonden und Spektrometersonden, die genutzt wurden, um AFS und CSB indirekt zu ermitteln (z. B. Bertrand-Krajewski, 2004). Auch die damit verbundenen Unsicherheiten wurden vielfach untersucht (Lepot et al., 2013; Zamora und Torres, 2014).

Derzeit kann der Parameter AFS direkt nur labortechnisch erfasst werden. Die größten Probleme bei der Erfassung der Qualität auf Grundlage von Laborproben sind die geringe Anzahl der Proben (wenige Flaschen in einem Probenehmer), Kosten insbesondere für die Probenahme, zeitliche Verzögerung zwischen Probenahmen und Analyseergebnis (Bertrand-Krajewski et al., 2008). Vielfach konnte ein guter Zusammenhang zwischen Trübung und AFS bestätigt werden (z. B. Hannouche et al., 2011; Rugner et al., 2013; Al-Yaseri et al., 2013; Grayson et al., 1996). Zu beachten ist jedoch, dass insbesondere in Mischsystemen dieser Zusammenhang stark zwischen Trockenwetter- und Regenwetterabfluss sowie zwischen verschiedenen Untersuchungsorten variiert. Spektrometersonden nutzen (ebenfalls) den Zusammenhang zwischen „Trübung“ und AFS. Hierbei besteht in der Regel die Möglichkeit, eine globale Kalibrierung der Hersteller auf die entsprechende Abwassermatrix zu nutzen oder lokale Kalibrierungen auf Grundlage von Laborproben umzusetzen. Der Einfluss dieser Kalibrierungen war Gegenstand zahlreicher Veröffentlichungen, beispielweise: Caradot et al., 2015, 2013; Bertrand-Krajewski et al., 2007; Lepot et al., 2016.

3.3.3 Partikelgrößenverteilungen

Messgeräte, die Rückschlüsse auf die Partikelgrößenverteilung erlauben und als Grundlage einer Netzsteuerung dienen, sind in der Praxis noch nicht verfügbar. Aktuell laufen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zu einem Prototypensystem, das Konzentrationen und weitere Eigenschaften von Partikeln (z. B. die Größenverteilung) im Abwasserstrom messen und entsprechende Daten online zur Verfügung stellen kann (Klepiszewski, 2017).

3.3.4 Temperatur und Leitfähigkeit

Eine Echtzeit-Verbundsteuerung kann sich auch auf die Daten der Leitfähigkeit stützen (Schilperoort et al., 2006). Diese Messdaten dienen jedoch nicht als alleinige Steuerungsgröße, sondern werden in umgesetzten Projekten ergänzend z. B. zur Ereigniszeitdefinition berücksichtigt.

3.3.5 pH-Wert

Für das Vorkommen von Schwermetallen sind unter anderem Metaldächer und der Straßenverkehr verantwortlich. Schwermetalle liegen im Regenwasserabfluss in erster Linie gelöst vor. Ob Schwermetalle auch partikulär vorkommen, ist stark vom pH-Wert abhängig (Brombach et al., 2005; Dierschke, 2014). Für zusätzliche Informationen zum vorliegenden Milieu und zur Einschätzung von jahreszeitlichen Schwankungen kann eine kontinuierliche Aufzeichnung des pH-Wertes wertvolle Hinweise über das System geben. Insbesondere bei einem Einsatz von Teilstrombehandlungen mit Filtermaterialien spielt der Säuregehalt für die Rückhaltekapazität und die Materialbeständigkeit eine große Rolle (Wichern et al., 2015; Huber und Helmreich, 2016).

Begriffe	
Abfiltrierbare Stoffe [AFS]	<p>Entsprechend der DIN 38409-2 (DIN ISO 38409-2, 1987) sind abfiltrierbare Stoffe die volumenbezogen Masse der im Wasser enthaltenen ungelösten Stoffe, die unter bestimmten Bedingungen abfiltriert und im Anschluss an eine festgelegtes Trocknungsverfahren ausgewogen werden. Nach US-EPA, 2005 sind diese definiert als Partikel, die einen 2 µm Filter nicht passieren.</p> <p>Auch bezeichnet als <i>TSS: Total suspendierte Stoffe</i>, englisch <i>Total Suspended Solids (TSS)</i>, <i>Gesamte ungelöste Stoffe (GUS)</i> (Gujer, 2008); im Unterschied zu <i>TS (total solids)</i>; inkl. Salze.</p>
AFS63	<p>Der Parameter AFS63 ist bisher in keiner Norm definiert worden. Er stellt die Fraktion der feineren Anteile der abfiltrierbaren Stoffe im Korngrößenbereich ≤ 63 µm dar (Dierschke, 2014). Auch bezeichnet als <i>PM63 (particulate matter ≤ 63 µm)</i> und <i>AFS_{fein}</i>.</p>
Chemischer Sauerstoffbedarf [CSB]	<p>Summenparameter, der ausdrückt, wieviel Sauerstoff zur vollständigen Oxidation von organischen Stoffen zu CO₂ und Wasser erforderlich ist (Gujer, 2008). Englisch: <i>Chemical Oxygen Demand, COD</i>.</p>
Leitfähigkeit	<p>Die elektrische Leitfähigkeit des Wassers ist ein einfacher Summenparameter, der mit der Konzentration der Ionen im Wasser zunimmt (Gujer, 2008).</p>
pH-Wert	<p>Der pH-Wert gibt an, wie groß die Aktivität (≈Konzentration in Mol l⁻¹) der Protonen H⁺ im Wasser ist ($pH = -\log(H^+)$). Er bestimmt die Gleichgewichte zwischen Säuren und Basen und beeinflusst die Geschwindigkeit der Auflösung oder Ausfällung von vielen Mineralien etc. (Gujer, 2008). Der pH-Wert hat insbesondere in der Regenwasserbewirtschaftung eine große Bedeutung. In Abhängigkeit von verschiedenen Bedingungen, unter anderem des pH-Wertes, liegen z. B. Inhaltsstoffe gelöst oder partikulär vor (Dierschke, 2014).</p>
Trockensubstanz [TS] / Trockenrückstand [TR]	<p>Trockensubstanz TS in kg m⁻³ angegeben, wenn die gelösten Stoffe abgetrennt wurden oder als Trockenrückstand in %TR (Gewichtsanteil), wenn die gelösten Stoffe miterfasst werden (Gujer, 2008).</p>
Trockensubstanzgehalt [TS _R]	<p>Die nach einem festgelegten Trocknungsverfahren erhaltene Massenkonzentration der abfiltrierbaren Stoffe [g/l; selten kg/m³]. Auch bezeichnet als <i>TS-Gehalt</i>, <i>Feststoffkonzentration</i>, <i>Schlammgehalt</i>, oft verwechselt mit <i>Trockensubstanz</i> bzw. <i>Trockenmasse</i> [TS in kg].</p>
Trübung	<p>Trübung ist die Verringerung der Durchsichtigkeit einer Flüssigkeit, verursacht durch die Gegenwart ungelöster Substanzen. (ISO, 2000)</p>

```

graph TD
    A["Gesamte Inhaltsstoffe  
TR (Deutschland)  
TS (USA)"] --> B["Gelöste Stoffe  
TDS (USA)"]
    A --> C["Abfiltrierbare Stoffe  
AFS (Deutschland)  
GUS (Schweiz)  
TSS/SS (USA)"]
  
```

AFS: Abfiltrierbare Stoffe
 TR: Trockenrückstand (Deutschland)
 GUS: gesamte ungelöste Stoffe (Schweiz)
 TDS: total dissolved solids
 TS: total solids
 TSS: total suspended solids
 SS: sediment solids (englischsprachige Länder)

Quelle: nach Dierschke, 2014

4 Messtechnische Erfassung von Qualitätsparametern im Kanalnetz

4.1 Voraussetzungen

Messtechnik im Entwässerungssystem, sowohl im Kanal als auch in Bauwerken, ist rauen Bedingungen ausgesetzt. Hierbei gilt es den Wartungsaufwand zu minimieren und dennoch einen hohen Informationsgehalt zu erreichen. Dies ist sowohl vom Einbauort als auch von der eingesetzten Messtechnik abhängig. Zusätzlich spielt in den meisten Fällen der Kostenrahmen eine wichtige Rolle. Des Weiteren bestehen (zumindest in Deutschland) gesetzliche Einschränkungen in der Einsetzbarkeit von Messtechnik im Entwässerungssystem.

In Deutschland gilt die Explosionsschutzverordnung. Diese schreibt eine Gefährdungsbeurteilung mit Zoneneinteilung für abwassertechnische Anlagen vor. Explosionsgefahren in abwassertechnischen Anlagen entstehen zum einen durch eingeleitete oder eindringende brennbare Stoffe und zum anderen durch Faulprozesse (Endress+Hauser Messtechnik GmbH+Co. KG, 2017). Dementsprechend müssen eingesetzte Messgeräte die ATEX-Produktrichtlinie 2014/34/EU (2014) (Amtsblatt der Europäischen Union, 2014) erfüllen. Seit einigen Jahren erweitert sich das Angebot der Messgeräte, die dieser Richtlinie entsprechen.

4.2 Bauwerke

Für die Überwachung der Konzentration in einem Volumenstrom bieten sich verschiedenste Einbauorte an. Diese erstrecken sich von Schachtbauwerken vor Einleitungsstellen bis zu Übergabepunkten innerhalb des Kanalnetzes (Hoppe et al., 2009). Dienen die Konzentrationsdaten jedoch der Implementierung einer qualitätsabhängigen Steuerung, sind die Daten zur Qualität des Entlastungsvolumenstroms in der Regel von besonderer Bedeutung. Für die Entwicklung einer qualitätsabhängigen Steuerung, die die Konzentrationsdaten als konkrete Steuerungsgröße nutzt, müssen die Daten des zu steuernden Volumenstroms vorliegen. Daher sollten Regenüberlaufbecken oder Verzweigungsbauwerke gewählt werden. Hierbei ist es wichtig, dass es nicht zur Vermischung, z. B. durch Rückstau aus dem Gewässer in den Entlastungskanal, kommt. Nur so kann sichergestellt sein, dass die gemessenen Parameter belastbar sind.

4.3 Einbauort im Bauwerk

Für den Einbau einer Qualitätssonde gelten viele Hinweise, die bereits zum Einbau von Durchflusssonden in verschiedenen Regelwerken festgehalten wurden (DWA, 2011). Wünschenswert ist der Einsatz akkubetriebener Sonden, die ohne Druckluft- oder Wasserreinigung auskommen oder einer sehr seltenen Wartung bedürfen. Für relevante Parameter wie den AFS stehen solche Geräte aktuell jedoch nicht zur Verfügung. Die folgenden Hinweise sind daher ergänzend zur der genannten Literatur zu verstehen und beziehen sich insbesondere auf Spektrometersonden und Trübungssonden.

In unmittelbarer Nähe des Einbauortes muss die Möglichkeit bestehen, einen Schaltschrank zu installieren. Hier müssen neben einer Stromversorgung und je nach Fabrikat in der Regel die folgenden Verbauteile vorhanden sein:

- Installation des Bediengeräts zur Datenverwaltung
- bei Online-Steuerung: Integration in das Leitsystem

Die Spektrometersonde wird vorwiegend liegend installiert. Dabei steht der Messspalt senkrecht. Die Sonde wird mithilfe einer Einbauarmatur oder eines Sondenschuhs verbaut. Diese Positionierung verringert das Risiko von Anhaftungen und ermöglicht das Entweichen der Gasblasen aus der Druckluftreinigung. Generell muss sichergestellt werden, dass Verzopfungen nicht zum Blockieren des Einbauortes führen können. Ab einer Strömungsgeschwindigkeit von etwa 1 m/s kann die Spektrometersonde auch vertikal stehend installiert werden.

Bei allen bekannten Installationen (Abbildung 3) muss bisher mit einer Druckluftreinigung gearbeitet werden. Zusätzlich zu dieser automatischen Reinigung ist eine manuelle Reinigung in Abhängigkeit der vorliegenden

Messstrecke durchzuführen. Zu Sonden, die unmittelbar im Kanalnetz dauerhaft eingesetzt werden und die keiner automatischen Reinigung bedürfen oder mit einer Frischwasserreinigung ohne manuelle Reinigung auskommen, lagen zum Zeitpunkt der Erstellung des Leitfadens keine Informationen zu einem dauerhaften Praxisbetrieb vor.

Bei einer Druckluftreinigung muss darauf geachtet werden, dass es bei geringen Fließgeschwindigkeiten zu keiner Remobilisierung von Sedimenten der Kanalsohle oder Ablagerungen auf der Sonde kommen kann. Die Messwerte können dann nicht die Konzentration des zu messenden Volumenstroms widerspiegeln. Hier ist auf die Hinweise des jeweiligen Herstellers zur Installation der Reinigungseinheit zu achten.

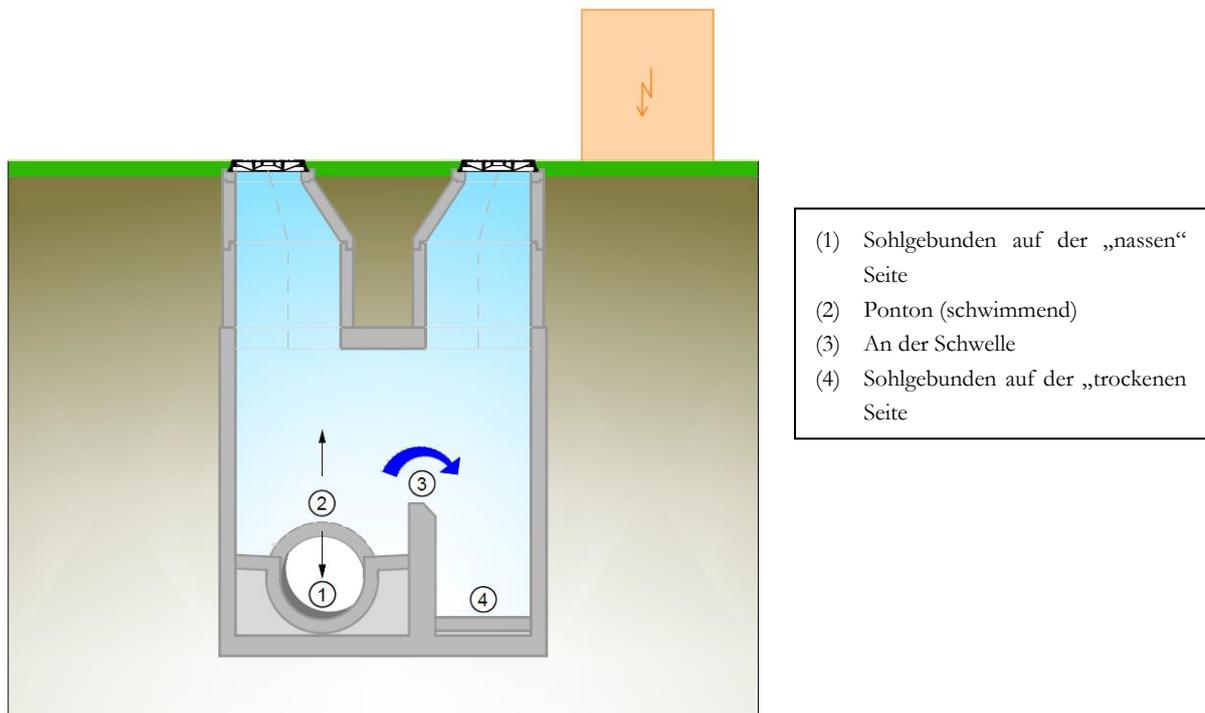


Abbildung 3: Mögliche Messorte zur Qualitätserfassung im Kanalnetz

Auf den folgenden Fotos (Abbildung 4 bis Abbildung 9) sind verschiedene Einbauorte der Sonde gezeigt. Darüber hinaus enthält Tabelle 3 die wichtigsten Vor- und Nachteile für die unterschiedlichen Einbauorte. Erfahrungen sind unter anderem aus Gruber et al., 2006 entnommen. Bei der Installation von schwimmenden Sensoren sind ggf. Schutzrechte zu beachten.



Abbildung 4: Bypass-Installation, von oben befülltes Bassin (Quelle: TU Graz)



Abbildung 5: Bypass-Installation, seitlich befülltes Bassin (Quelle: TU Graz)

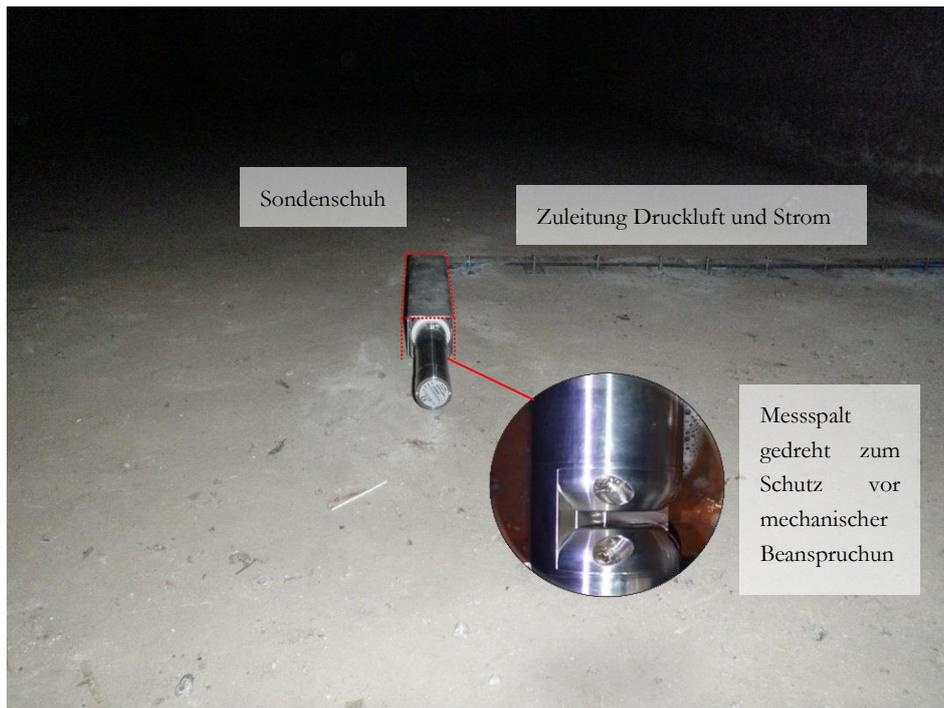


Abbildung 6: Sohlgebundene Installation



Abbildung 7: Installation an der Schwelle, links: feste Installation, rechts: klappbare Installation



Abbildung 8: Schwimmende Installation (Quelle: TU Graz)



Abbildung 9: Schwimmende Installation (Quelle: TU Graz)

Tabelle 3: Vor- und Nachteile der Installationsorte

Bypass-Installation (Bassin)	Sohlgebunden	An der Schwelle	Schwimmend (Ponton)
+ Ansaugstück kann/muss direkt im Kanal platziert werden	+ Einfache Installation z. B. im Sondenschuh	<u>Installation auf der nassen Seite:</u>	+ Stichproben aus dem Entlastungsvolumenstrom
+ Stabile Messbedingungen bei funktionierender Probenahme; Reinigung im Container möglich	+ Messung im volleingestauten Kanal möglich	+ Bei niedriger Schwelle kann die Wartung von der trockenen Seite erfolgen	- Bohrungen im Kanal sind notwendig
+ Zugang zum Kanal muss möglich sein, jedoch selten	+ Platzsparend, kein Bauwerk notwendig	<u>Installation auf der trockenen Seite:</u>	- Mechanischer Defekt möglich
+ Automatische Druckluftreinigung empfohlen	+ Kontinuierliche Erfassung	+ Sehr gute Zugänglichkeit	- Sonde muss im Kanal gereinigt werden, Zugang zum Kanal häufig notwendig
+ Mechanischer Defekt unwahrscheinlich	+ i. d. R. kein Trockenfallen	- Trockenfallen der Sonde	- Aufwendige Ponton-Installation
+ Gute Möglichkeit zur zeitgleichen Entnahme von Proben für die Laboranalytik	+ Gute Zugänglichkeit	<u>Installation auf der nassen Seite:</u>	- Platz für den Ponton ist notwendig
+ Gute Möglichkeit den Zufluss über z. B. ein MID zu erfassen, bestehende Möglichkeit einer volumenproportionalen Probenahme	- Wartung und Reinigung nur bei Trockenwetter	- Bei hoher Schwelle kann nur bei Trockenwetter eine Wartung stattfinden	Messung nur an Wasseroberfläche (kann Vorteil oder Nachteil sein)
- ATEX-Zertifizierung der Sonden z. T. nicht notwendig	- Schutz vor mechanischen Belastungen notwendig	- Bohrungen sind notwendig	
- Zeitverzögerung der Probenahme	- Bohrungen notwendig	- Schutz vor mechanischen Belastungen notwendig	
- Probennahmezubehör notwendig (Probenehmer, Flaschen, Pumpe mit MID)	- Messung an der Sohle (kann Vorteil oder Nachteil sein)	- Gefahr von Verzopfungen	
- Höherer Energieverbrauch	- Gefahr von Verzopfungen		
- Wartung von Ansaugstück und Schlauch			
- Messcontainer notwendig			
- Biofilmbildung im Probenahmschlauch			
- für eine kurzzeitige Messkampagne nicht empfehlenswert			
- Gefahr von Verzopfungen des Ansaugschlauchs			
- Pumpe zur Befüllung muss mit MID ausgerüstet sein (Befüllung nicht dokumentiert, Fehlerquelle)			

5 Betriebsüberwachung

5.1 Wartung der Messtechnik

Jede MSR-Technik benötigt ein Mindestmaß an Wartungs- und Kontrollaufwand. Dies gilt umso mehr, wenn von den ermittelten Parametern direkte Steuerentscheidungen im Kanalnetz abhängen. Allgemeine Angaben, wie häufig die jeweilige Technik zu inspizieren, zu warten und zu kontrollieren ist, liefern unter anderem die Hersteller, die entsprechenden Selbstüberwachungs- oder Eigenkontrollverordnungen der Länder oder das Arbeitsblatt DWA-A 147 (DWA, 2017). Letztendlich sind diese Werte aber für jede Messstelle neu zu prüfen. Umfangreiche Betriebserfahrungen haben dennoch gezeigt, dass bei einer Steuerung im Kanalnetz, unabhängig ob lokal oder integriert, eine **bedarfsgerechte Wartung** der gesamten Technik zielführender ist als routinemäßig festgesetzte starre Wartungsintervalle. Messtechnik, die zur Erfassung von Qualitätsparametern verwendet wird, hat, je nach Parameter, Zusammensetzung der Abwassermatrix und Einbaulage, unter Umständen einen höheren Wartungsbedarf als bspw. „Standardmesstechnik“ zur Erfassung des Wasserstandes. Eine kontinuierliche Auswertung der gewonnen Messdaten, z. B. mittels eines Messdatenmanagementsystems (MDMS) nach Merkblatt DWA-M 151, hilft, mögliche Betriebsprobleme frühzeitig zu erkennen und dann zeitnah zu beheben. Auf diese Weise lässt sich ein spezifisches Wartungsintervall für die Messstelle festlegen. Für alle Messungen gilt es, neben der Reinigung auch eine regelmäßige Kontrolle der Messkette und einen Nullpunktgleich sicher zu stellen.

5.2 Kontrolle der Messdaten

Eine softwareunterstützte Datenkontrolle bietet die Möglichkeit, einen Reinigungs- bzw. Wartungsbedarf frühzeitig zu erkennen, ohne dass eine Sichtkontrolle vor Ort notwendig ist. Für die Messung von AFSeq stellen sich wiederkehrende Auffälligkeiten (z. B. Drift) ein, die durch verschiedene statistische Auswertungen erkannt werden können. Hier können unter anderem die Ausreißertests und die Trendanalyse der Tagesminima Hinweise geben (DWA, 2011).

Die folgenden Abbildungen (Abbildung 10 bis Abbildung 14) zeigen diese Auffälligkeiten beispielhaft. Diese stellen keinen Defekt der Sonde dar, sondern können u. a. durch Reinigung behoben werden.

In Abbildung 10 ist ein durch eine Verlegung bedingtes „Rauschen“ des Messsignals zu erkennen.

In Abbildung 12 werden unplausible Messwerte aufgezeichnet, die sich als sprunghafte Plateau-Bildung erkennbar machen. Nach der Reinigung von Anhaftungen und Biofilm konnten wieder belastbare Werte aufgezeichnet werden.

In Abbildung 13 werden unplausible Ausreißer-Werte aufgezeichnet. Diese waren durch ein defektes Magnetventil und Einperlungen der Druckluftreinigung bedingt. Praxiserfahrungen zeigen, dass durch (defekte oder ungeeignete) Kompressoren z. B. Wasser oder Öl aus dem Kompressor in die Druckluftleitung und somit vor den Messspalt gelangen können (Kroll, 2017). Hier sollte auf eine bewährte Gerätekombination zurückgegriffen werden. In Abbildung 14 wird über mehrere Minuten der Messbereich überschritten. Hier sollte der Messbereich überprüft werden.

Begriffe	
In situ-Messung	Lat. für am (Ursprungs-)Ort. Die Messung findet im Kanalnetz statt. Auch bezeichnet als <i>Inline-Messung</i> .
Ex situ-Messung	Lat. für außerhalb des (Ursprungs-)Ortes. Die Messung findet außerhalb des Kanalnetzes statt, z. B. durch einen Bypass.

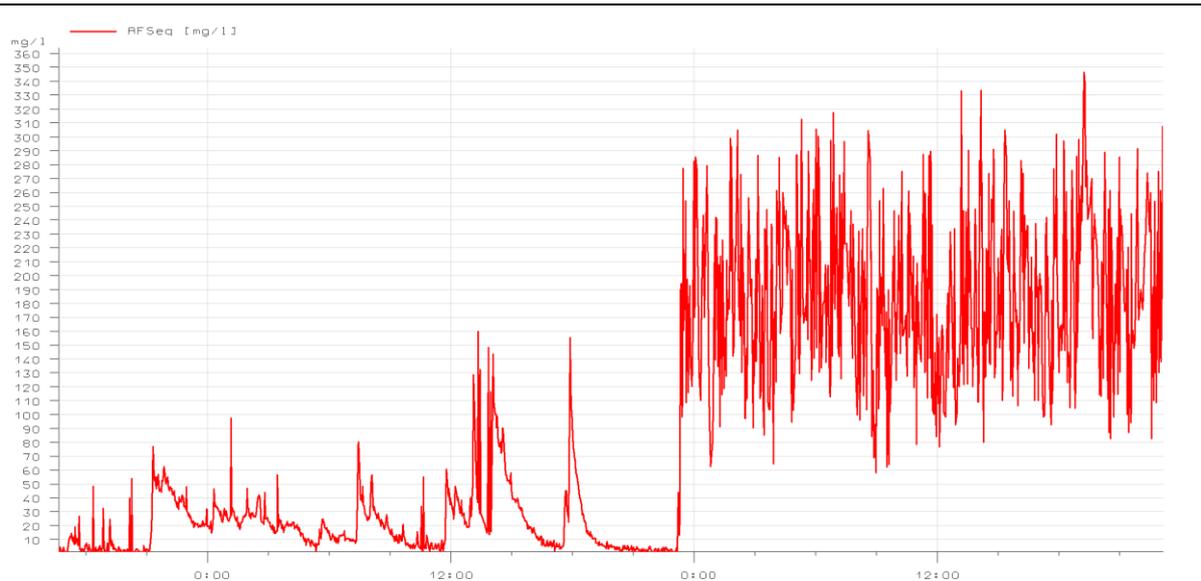


Abbildung 10: „Rauschen“ des Messsignals durch Verlegung des Messfensters einer Spektromettermessung

In Abbildung 11 entwickelt sich eine Drift durch die Bildung eines Biofilms. Nach der Reinigung wird das Tagesminimum wieder erreicht.

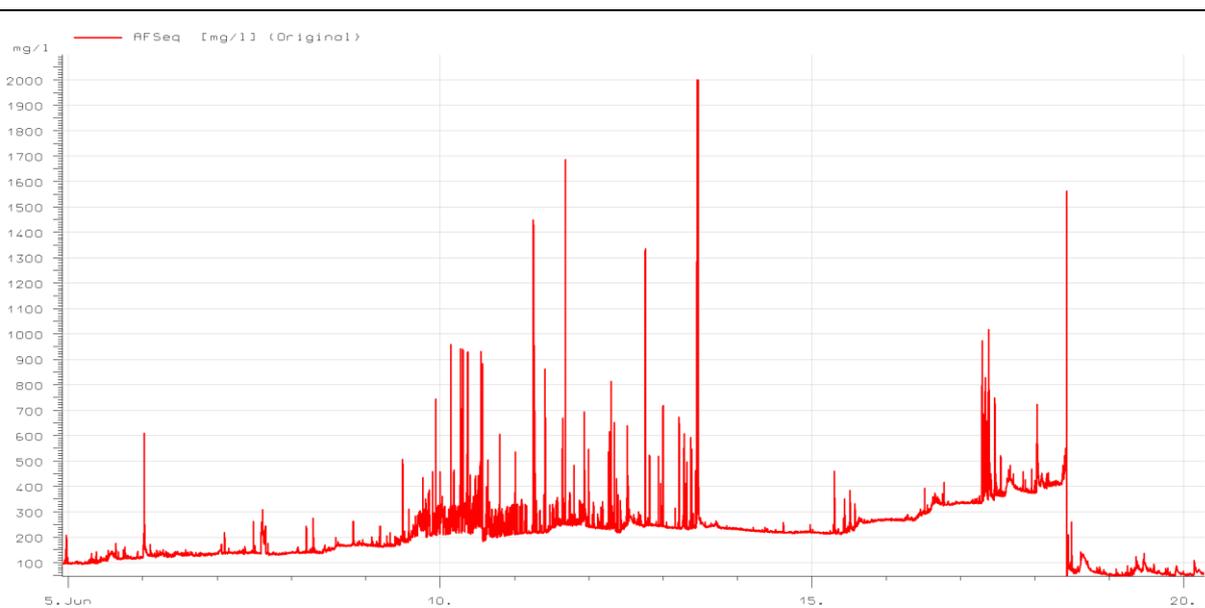


Abbildung 11: Entwicklung einer Drift bedingt durch die zunehmende Verschmutzung des Messfensters einer Spektromettermessung

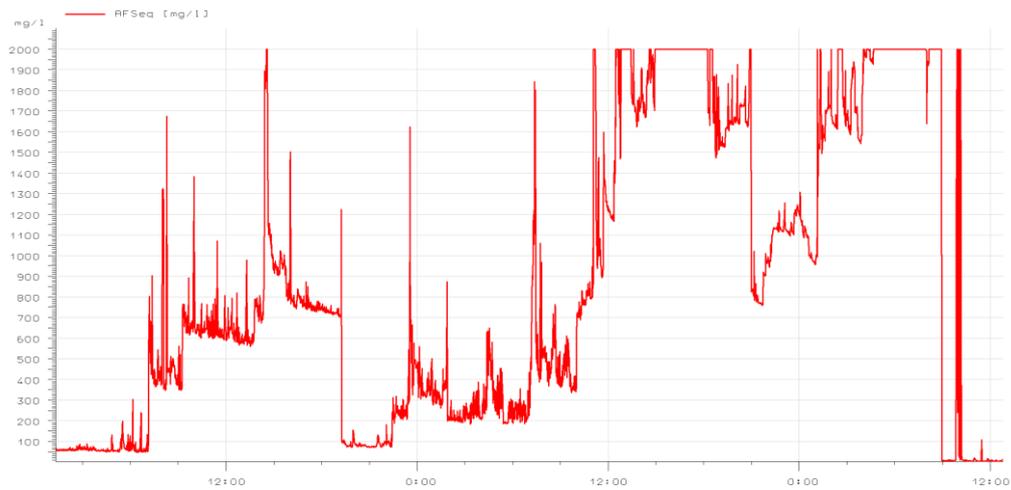


Abbildung 12: Sprunghafte Plateau-Bildung der Messwerte durch Verschmutzung des Messfensters einer Spektromettermessung

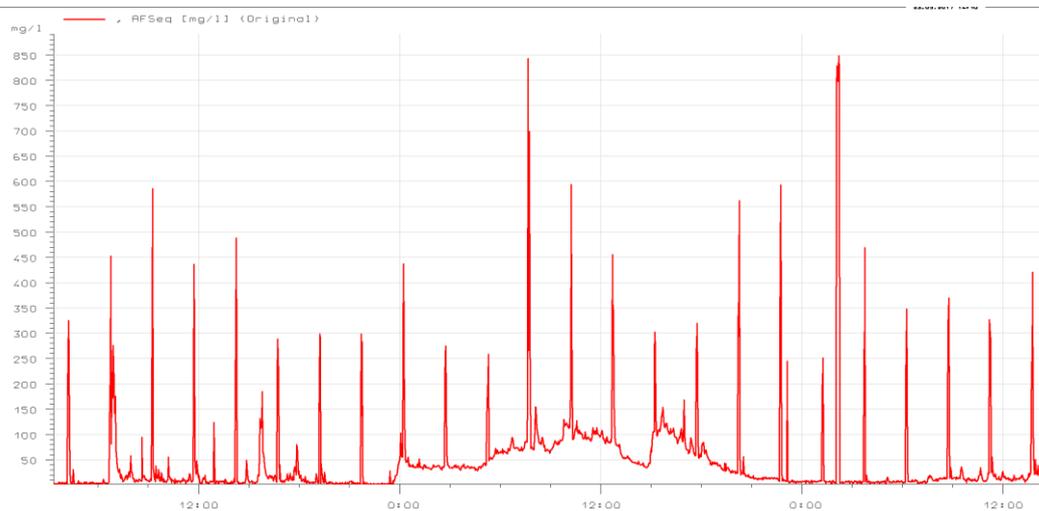


Abbildung 13: Ausreißer einzelner Messwerte verursacht durch Lufteinperlungen einer Reinigungseinrichtung

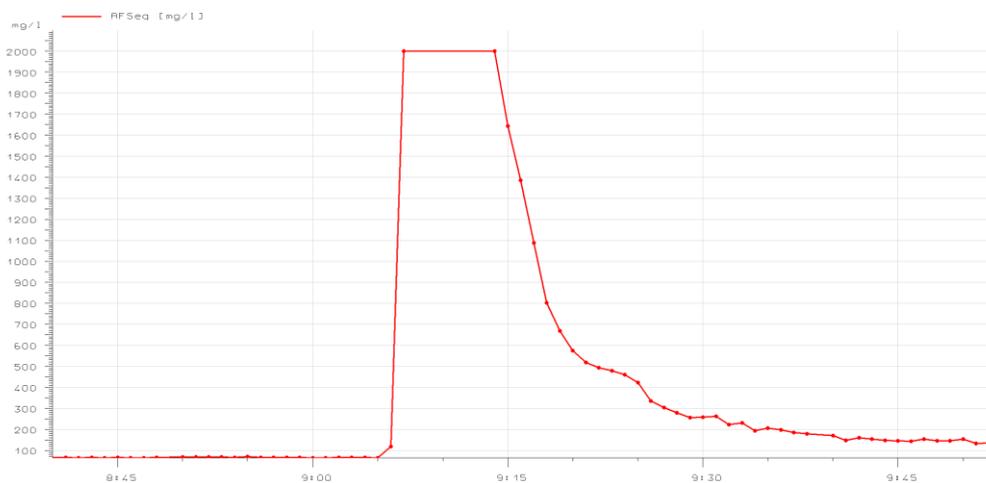


Abbildung 14: Überschreitung des Messbereichs bei extremer Verschmutzung

5.3 Kontrolle mittels Kamera und Ortsbegehungen

Bei nicht eindeutigen Messwerten hat sich im Praxisbetrieb der Einsatz von Kameras bewährt. Auf Grundlage der Kamerabilder konnten Defekte am Material (defekte Bodenschwellen, Defekte an Halterungen etc.) diagnostiziert und im Rahmen der Ortsbegehung behoben werden. Des Weiteren kann eine Ereignisüberwachung und die Aufnahme der hydraulischen Situation stattfinden (vgl. Abbildung 15).

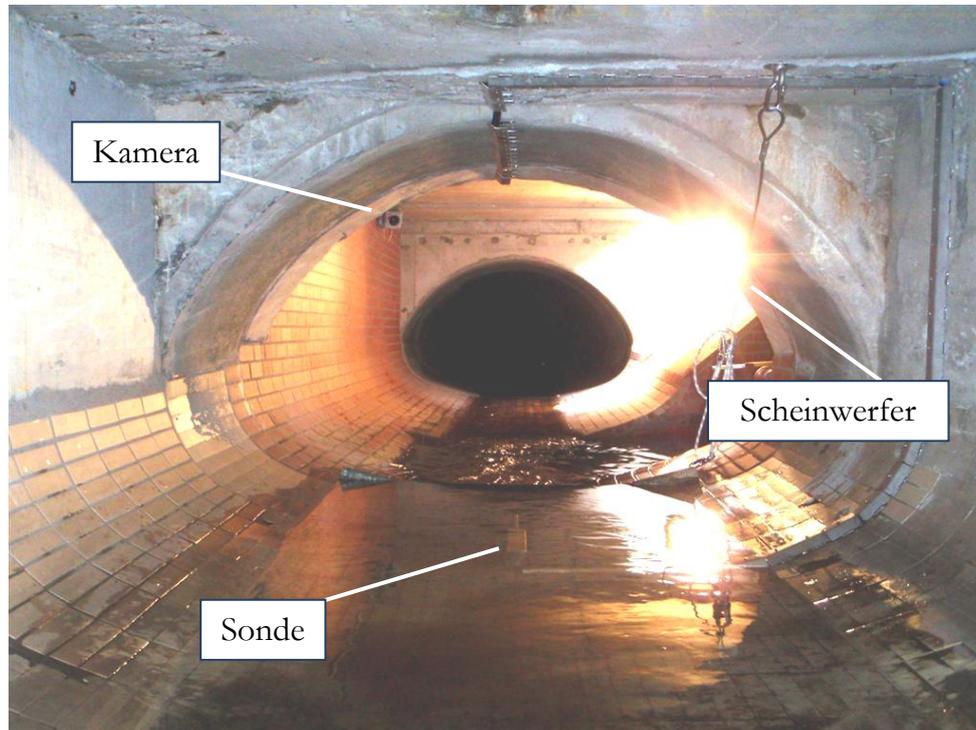
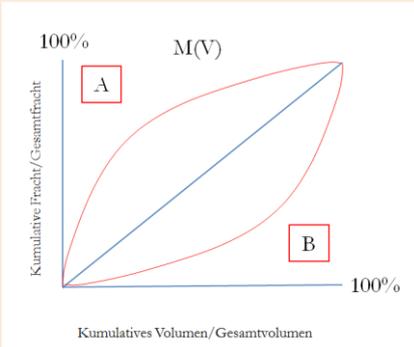


Abbildung 15: Installation eines Kamerasystems, bestehend aus Scheinwerfer und Kamera

5.4 Notfallsteuerung

Wenn Messdaten online erhoben werden und als Eingangssignal der Steuerung dienen, sollte – wie bei jeder anderen Kanalnetzsteuerung auch – ein Notfallkonzept bei Datenausfall oder unplausiblen Daten entwickelt werden. Hierbei muss zum einen eine (softwareunterstützte) Datenprüfung den Fehler erkennen und zum anderen eine weitere Messgröße, eine redundante Messung oder eine feste Steuerregel als Notfallprogramm geschaltet werden können. Neben dem aktuellen Ausfall der Steuerung kommt es durch die mit dem Ausfall von Messungen verbundenen Datenlücken zu Problemen bei der nachträglichen Auswertung der Datenreihen (z. B. Bilanzierungen).

Die Identifikation von Problemen der Messtechnik kann durch unterschiedliche messgrößenspezifische Datenprüfungen erfolgen (siehe Kapitel 5.2). Hieraus muss sich die Aktivierung einer Notfallsteuerung ableiten. Bei Ausfall der Qualitätsmessdaten können z. B. auf Grundlage einer im Vorfeld durchgeführten Datenauswertung einzugsgebietsspezifische Charakteristika abgeleitet und die Steuerung auf Grundlage von Wasserstand- oder Abflussmessdaten daran angepasst werden. Beispiele hierfür sind die Erhöhung des Drosselabflusses zu Beginn eines Ereignisses bei bekannten First Flush-Charakteristika. Denkbar sind neben Wasserstand- und Abflussmessungen auch redundante Messungen oder bei Einsatz teurer Spektrometernmessungen der Einsatz günstigerer Trübungsmessungen, wenn diese dauerhaft zuverlässig betrieben werden können. Des Weiteren können Niederschlagsdaten in die Steuerung integriert werden.

Begriffe	
Ausreißer	Nach DWA-Merkblatt 181: Messwert liegt außerhalb eines festgelegten Bereiches, z. B. der dreifachen Standardabweichung vom (gleitenden) Mittelwert ($3\text{-}\sigma$ -Test). Statt des (gleitenden) Mittelwerts kann auch eine bereichsweise gültige Approximationsfunktion verwendet werden (DWA, 2011).
Drift	Nach DWA- M 181: Die Messwerte eines konstanten Sollwertes verändern sich langsam und stetig (DWA, 2011).
First Flush	Der First Flush wird zumeist so definiert, dass bei Erreichen von 30 % des Ereignisvolumens 80% der Fracht abgeflossen sind (siehe M(V)-Diagramm Zone A)
Last Flush	Der Last Flush bildet sich als Verschmutzungsspitze am Ende eines Ereignisses aus (siehe M(V)-Diagramm Zone B).
M(V)-Diagramm	Für die Untersuchung der Frachtverteilung innerhalb eines Ereignisses können Massen-Volumen-Diagramme (M(V) –Diagramme) genutzt werden. Hierbei wird das kumulative Volumen bezogen auf das Gesamtvolumen auf der x-Achse und die kumulative Fracht bezogen auf die Gesamtfracht auf der y-Achse aufgetragen. Spülstoß-Charakteristika können auf diese Weise dargestellt werden (Bertrand-Krajewski et al., 1998; Leutnant et al., 2016; Lacour et al., 2009).
	 <p>(nach Lacour et al., 2009)</p>
Rauschen	Nach DWA-M 181: Die Standardabweichung von n-Messwerten überschreiten deutlich einen festen als Gleitwert ermittelten Wert (DWA, 2011).

5.5 Nachweis über die Modellabbildung

Der Betrieb von Kanalnetzen ist den Aufsichtsbehörden anzuzeigen. Maßgebend sind hierbei die spezifischen gesetzlichen Regelungen der Bundesländer und das technische Regelwerk. Die Nachweise der qualitätsabhängigen Steuerungseingriffe lassen sich daher in diese Anzeigen und Nachweise integrieren.

Neben den Anforderungen hinsichtlich Überstau und Überflutung nach DIN EN 752:2008 (derzeit in Überarbeitung) und Arbeitsblatt DWA-A 118 (DWA, 2006b) sind Anforderungen an die Regenwasserbehandlung einzuhalten. Das technische Regelwerk (u. a. ATV-DVWK, 1992; BWK, 2007, 2008, DWA, 2012, 2016) wird dabei durch weitergehende Regelungen der Bundesländer (z. B. „Trennerlass“ in NRW) ergänzt.

Die komplexen Transportprozesse im Einzugsgebiet und Kanalnetz lassen sich derzeit mit Modellen nur begrenzt abbilden. Während Jahresfrachten mit kalibrierten Modellen noch ermittelt werden können, lassen sich Konzentrationsverläufe innerhalb eines Ereignisses nur mit großem Aufwand für einzelne Bauwerke realitätsnah abbilden.

Im Rahmen der Nachweiskonzeption wird daher empfohlen, modelltechnische Berechnungen durch Messungen zum Betrieb zu ergänzen (Kapitel 5.2). Diese Messungen sind in vielen Bundesländern in den Selbstüberwachungsverordnungen ohnehin vorgesehen und bedeuten daher – in diesem Fall – keinen betrieblichen Mehraufwand. Auch die Anforderungen des Arbeitsblattes DWA-A 166 (DWA, 2013) (Probetrieb und Betriebsanweisung) lassen sich sehr gut in ein Nachweiskonzept „Modellierung & Messungen“ integrieren. Weitere Hinweise enthält das Merkblatt DWA-M 180 (DWA, 2005).

Überstaunachweise und Überflutungsbetrachtungen

Für die Überstaunachweise und Überflutungsbetrachtungen können qualitätsabhängige Steuerungskonzepte in den gängigen hydrodynamischen Modellen hinreichend genau abgebildet werden, auch ohne dass Konzentrationsverläufe zeitgleich berechnet werden müssen. Die Modelle sollten an Abflussmessungen kalibriert sein. Vielfach sind Module zur Abbildung von Steuerungsregeln vorhanden, die sich jedoch i. d. R. nur auf Wasserstände und Abflüsse beziehen.

Für die entsprechenden (seltenen) Bemessungsniederschläge (Überstau bis $T = 5$ a; Überflutungsbetrachtungen bis $T = 50$ a) sollten Sensitivitätsuntersuchungen zu den möglichen qualitätsabhängigen Steuerungsoptionen durchgeführt werden (z. B. Regelschieber vollständig geöffnet/geschlossen). Ergänzend sind Betrachtungen zum Betrieb des Notfallsteuerungskonzeptes durchzuführen (DWA, 2005). Es wird empfohlen zu prüfen, ob für diese Lastfälle eine weitere, qualitätsunabhängige Steuerungsvariante („Ableitung“) aktiviert werden sollte und die qualitätsabhängigen Eingangsgrößen im Starkregenfall nicht mehr führend sind.

Nachweise der Regenwasserbehandlung

Die Nachweise der Regenwasserbehandlung erfordern eine differenzierte Betrachtung des Kanalnetzes hinsichtlich der Emissions- und Immissionswirkung und damit auch der qualitätsabhängigen Steuerungen.

Grundsätzlich wird daher empfohlen – je nach Randbedingungen – eine Langzeitbetrachtung mittels eines hydrodynamischen oder hydrologischen Modells zum Stoffaustag durchzuführen. Die qualitätsabhängigen Steuerungsregeln sind je nach Möglichkeiten des verwendeten Modells möglichst realitätsnah abzubilden. Synergien ergeben sich, wenn das vorliegende hydrodynamische Modell zum Überstaunachweis – ergänzt um Stofftransportgleichungen – genutzt werden kann.

Lassen sich mit dem eingesetzten Modell (einfache) Sedimentations- und Remobilisierungsprozesse mittels berechneter Konzentrationsverläufe abbilden, kann auch das mittlere Netzverhalten hinsichtlich der (Jahres-) Frachten abgebildet werden. Qualitätsabhängige Steuerungsregeln können unmittelbar oder ggf. nur vereinfacht in dem Modell abgebildet werden. Die Ergebnisse sind mit den Messdaten der Qualitätsmessungen abzugleichen. Aussagen zu Einzelereignissen sind aufgrund der zahlreichen Einflussfaktoren jedoch i. d. R. nicht möglich.

In Modellen, die Prozesse zum Stofftransport nicht detailliert, sondern nur einfache Mischungsrechnungen abbilden, müssen entsprechende Ersatzsysteme erarbeitet werden, die zumindest die Volumenströme der qualitätsabhängigen

Steuerung realitätsnah abbilden. Über mittlere Ereigniskonzentrationen sind dann (Jahres-)Frachten zu ermitteln und mit den Messdaten der Qualitätsmessungen abzugleichen.

Da die Konzeption einer qualitätsabhängigen Steuerung auf den Erfahrungen einer Messkampagne im Vorfeld aufbauen sollte, können diese Messdaten auch als Grundlage der Modellbetrachtungen im Rahmen der Genehmigung und Nachweisberechnungen genutzt werden. Die Messdauer im Vorfeld sollte mindestens 12 Monate betragen, um erste belastbare Ergebnisse zu liefern und jahreszeitliche Effekte erfassen zu können.

Die modelltechnischen Nachweise qualitätsabhängiger Steuerung unterscheiden sich damit im Vorgehen nicht grundsätzlich von dem bisherigen. Lediglich die Herausforderung, Transportprozesse realitätsnah abzubilden, tritt deutlicher hervor, wenn Messdaten zur Qualität vorliegen und als Eingangsgröße einer Steuerung genutzt werden. Diese Grenzen der bisher eingesetzten Modelle, in denen zudem auf einen Abgleich mit Messdaten häufig verzichtet wird, wurden bisher nur wenig thematisiert.

5.6 Nachweis durch Betriebsdaten

Werden qualitätsabhängige Kanalnetzsteuerungen umgesetzt, bieten diese den „Nebeneffekt“, dass die Messdaten, die zur Betriebsüberwachung in Kanalnetzen z. B. im Rahmen der Selbstüberwachung oder des Probebetriebs nach Arbeitsblatt DWA-A 166 (DWA, 2013) zu erheben sind, nicht nur ohnehin anfallen, sondern zu einem optimierten Netzbetrieb beitragen.

Im Rahmen des Probebetriebs sind die Steuerungsregeln zu analysieren und ggf. anzupassen (DWA, 2013). Parallel zu den modelltechnischen Nachweisen kann die Wirksamkeit einer Steuerung dann durch die Dokumentation der Betriebsdaten erfolgen. Die DWA empfiehlt Messdaten in Entwässerungssystemen in einem angepassten Messdatenmanagementsystem zu verwalten (DWA, 2014). Dieses System kann auch zur Dokumentation der qualitätsabhängigen Steuerungen genutzt werden. Idealerweise lassen sich Dokumentationslayouts etc. voreinstellen und Aufgaben der Datenprüfung ggf. softwareunterstützt umsetzen.

Der Umfang und die Fristen zur Vorlage der Betriebsdokumentation sollten schon im Rahmen der Genehmigung mit der Aufsichtsbehörde abgestimmt werden.

6 Praxisbeispiel Wuppertal

6.1 Rahmenbedingungen

Neben den bundesweiten gesetzlichen Vorschriften und geltenden Regelwerken gibt es zusätzlich weiterführende länderspezifische Vorgaben für den Umgang mit Niederschlagswasser. In Nordrhein-Westfalen (NRW) ist das neben dem Landeswassergesetz der NRW-Trennerlass (MUNLV, 2004). Dieser legt Flächenkategorien nach Herkunftsbereichen der Niederschlagsabflüsse fest, welche den Verschmutzungsgrad des Abflusses wiedergeben sollen. Unterschieden wird zwischen Kategorie I unbelastet, Kategorie IIa, b schwach belastet und Kategorie III stark belastet.

6.2 Steuerungsstrategie der lokalen qualitätsabhängigen Echtzeit-Steuerung

Die Wuppertaler Stadtwerke Energie und Wasser AG (WSW) betreibt seit dem Jahr 2005 Online-Qualitätsmessungen (Spektrometersonden) in dem Entwässerungssystem der Stadt Wuppertal. Die Messungen bilden die Grundlage lokaler Steuerungen an acht Bauwerken der Regenwasserbehandlung im Trennsystem. Hierbei wurden bereits umfassende Erfahrungen zu den Aspekten Planung und Betrieb gesammelt und durch ein Projekt zu einer umfassenden Kostenbetrachtung zentraler und dezentraler Niederschlagswasserbehandlungsmaßnahmen ergänzt (Grüning, 2010). Alle Messungen erfolgten bis 2014 im Alltagsbetrieb ohne Förderung im Rahmen von Forschungs- oder Entwicklungsprojekten. Damit liegen seit mehr als 10 Jahren Betriebserfahrungen vor (Fricke et al., 2016).

6.3 Entwässerungssituation in Wuppertal

Wuppertal wird nahezu vollständig im Trennsystem entwässert. Der Hauptvorfluter Wupper verläuft entlang der Talachse. Neben der üblichen Regenwasserkanalisation sind, im Zuge der Industrialisierung zufließende Bachläufe im Stadtgebiet von Wuppertal zum größten Teil Bestandteil des Entwässerungssystems. Entflechtungen sind kurz- bzw. mittelfristig technisch und ökonomisch nicht umsetzbar (Grüning, 2010). Eine enge Verflechtung von Regenwassernetzen und kanalisierten Bachläufen (Abflussspitzen bis 20 m³/s) sind daher auf absehbare Zeit unvermeidlich. Als zentrales Ableitungs-, Speicher und Behandlungselement des Trennsystems wurde daher in den letzten Jahren der Entlastungssammler Wupper (ESW) erstellt, der behandlungspflichtige Abflüsse aufnimmt und der Regenwasserbehandlung in einem Sedimentationsbecken (RÜB) bzw. der Kläranlage (KA) zuleitet. Der Sammler mit einer Länge von rd. 10 km und rd. 46.000 m³ Speichervolumen besteht aus fünf Staustufen.

Die erforderlichen Behandlungsmaßnahmen betreffen damit grundsätzlich auch die mehreren hundert Zuflüsse des Trennsystems zu den kanalisierten Bachläufen, an die auch Straßenabläufe direkt angeschlossen sind. Um unter diesen schwierigen Randbedingungen eine Regenwasserbehandlung zu ermöglichen und den nicht verschmutzten Bachabfluss bei Trockenwetter zu berücksichtigen, wird die Abflussverschmutzung derzeit an acht Bauwerken kontinuierlich messtechnisch erfasst. Damit wird der Niederschlagsabfluss von rd. 50 % der befestigten Fläche in Wuppertal über diese Bauwerke zur Behandlung abgeleitet. An den ESW sind außerdem kleine Mischsysteme angeschlossen. Bei Starkregen bestehen zudem Verknüpfungen zum Hauptschmutzwassersammler.

Bei Erreichen eines bestimmten Grenzwertes bietet ein Verzweigungsbauwerk (VZW) die Möglichkeit zur Ableitung des „verschmutzten“ behandlungspflichtigen Abflussanteils (Drosselabfluss) in den Entlastungssammler Wupper (ESW). „Saubere“ Abflüsse können direkt in die Wupper geleitet werden.

Die Funktion des Gesamtsystems hat die WSW 2012 anlässlich der Inbetriebnahme eines neuen Verzweigungsbauwerks (VZW) in einem Film zusammengefasst (WSW Wuppertal, 2012), der die Randbedingungen und Funktionsweisen beschreibt (vgl. Abbildung 16).

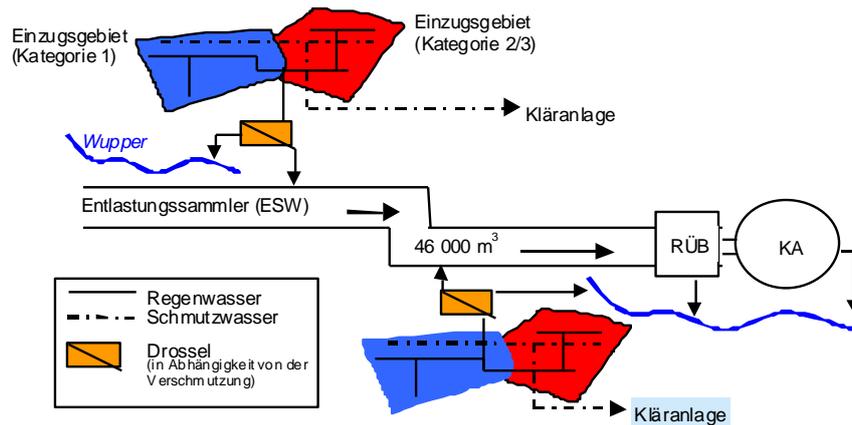


Abbildung 16: Vereinfachtes Funktionsschema des Entwässerungssystems in Wuppertal – Trennsysteme in Gebieten mit unterschiedlicher Flächennutzung (Kategorie 1, 2 und 3 nach Trennerlass NRW) leiten das Niederschlagswasser dem System ESW-RÜB-KA zu

6.4 Wahl des Qualitätsparameters

In Wuppertal wird der mittels Spektrometersonden gemessene Parameter AFS_{eq} als Grundlage der Kanalnetzsteuerung verwendet (Hoppe et al., 2011). In Abstimmungen mit den Aufsichtsbehörden wurde ein Grenzwert für AFS_{eq} (derzeit 100 mg/l) festgelegt, ab dem die Behandlung des Niederschlagswassers erfolgen muss. Grundlage hierfür waren u. a. Publikationen zu Anforderungen an AFS -Konzentrationen in Lachslachgewässern (BWK, 2008).

6.5 Messtechnische Erfassung

Die Spektrometersonden (Scan spectrolyser TM) sind an allen Bauwerken auf der Kanalsohle in einer speziell entwickelten Aufnahmeeinheit (Sondenschuh) installiert. Die Messsignale aller Messsonden werden direkt in das Leitsystem der WSW übertragen und automatisch an das MDMS (AquaZIS®) übergeben. An allen Bauwerken werden zusätzlich weitere Messdaten messtechnisch erfasst. Die Standardausrüstung bei jedem Bauwerk besteht aus einer Spektrometersonde mit Druckluftreinigung und mindestens einem Durchfluss- bzw. Wasserstandsensor. Auf diese Weise kann auch der Abfluss in Richtung des ESW direkt erfasst oder über den Wasserstand ermittelt werden. Die Bauwerke sind mit Kameras und Scheinwerfern ausgestattet. Die Scheinwerfer und Kameras können über die AFS_{eq} -Messung mittels der Spektrometersonden automatisch aktiviert und damit alle relevanten Ereignisse aufgezeichnet werden. Alle Bauteile sind nach der ATEX-Richtlinie zum Einsatz im Kanalnetz zugelassen.

6.5.1 Voraussetzungen in Wuppertal

In Wuppertal galt es in verhältnismäßig kleinen Bauwerken die Mess- und Regeltechnik zu installieren. Abbildung 17 zeigt beispielhaft einen typischen Aufbau eines qualitätsabhängig gesteuerten Verzweigungsbauwerks.

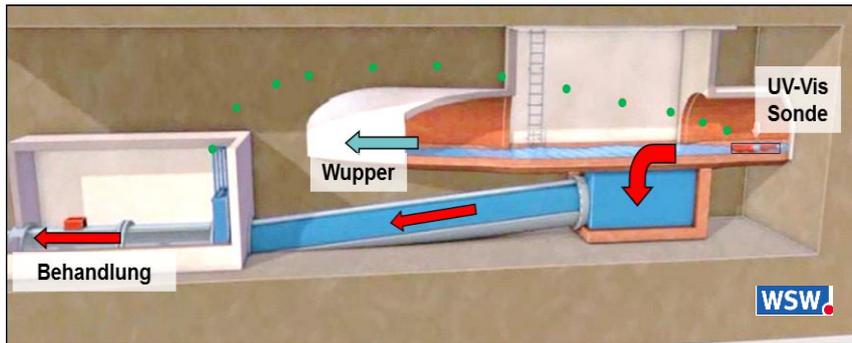


Abbildung 17: Prinzip der qualitätsabhängigen lokalen Steuerung in einem Verzweigungsbauwerk in Wuppertal (Bildquelle: WSW)

6.5.2 Bauwerke und Einbauort

Um ein Trockenfallen der Sonde zu vermeiden, ist hinter den Spektrometersonden in Wuppertal bei Bedarf eine Bodenschwelle installiert (vgl. Abbildung 18).

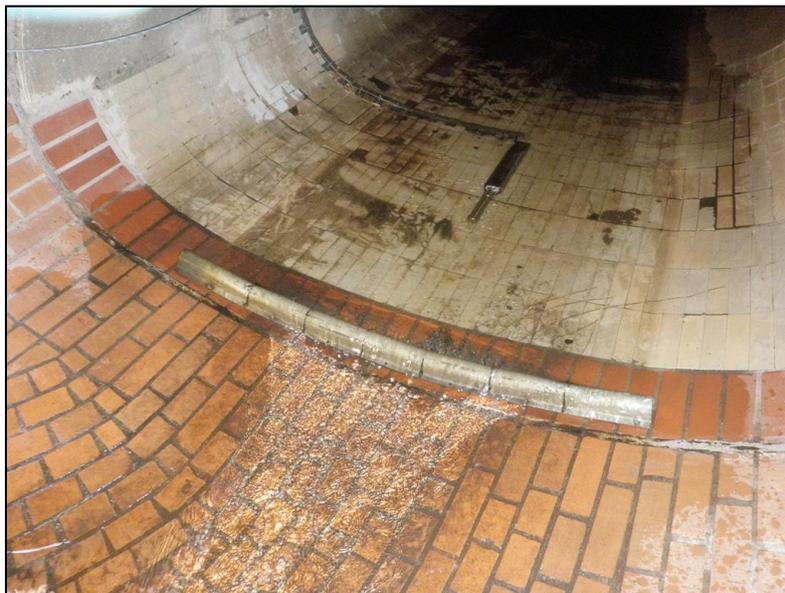


Abbildung 18: Einbausituation einer Spektrometermessung auf der Kanalsohle mit nachfolgender Bodenschwelle (hier bei Trockenwetterabfluss)

6.6 Erfahrungen zu Wartung, Messbetrieb und Datenpflege

Die Umsetzung der Steuerung bietet den Vorteil, dass kontinuierlich Messdaten zum Systemzustand vorliegen. Mit der Umsetzung eines MDMS sind die maßgebenden Daten nicht nur im Prozessleitsystem verfügbar. Mitarbeiter im Bereich der Planung können die Daten ebenfalls einsehen und zur Optimierung der Steuerung und Erfolgskontrolle nutzen.

Als sehr vorteilhaft hat sich der Betrieb der Kamerasysteme (Abbildung 19) erwiesen. Im Zusammenspiel mit der zeitnahen softwareunterstützten Datenanalyse (Drifterkennung vgl. Abbildung 20) lässt sich eine bedarfsorientierte Wartung umsetzen. Die eingesetzten Sonden, die über eine automatische Druckluftreinigung verfügen, erfordern eine zusätzliche manuelle Reinigung in Intervallen zwischen 4 Wochen und einigen Monaten.

Im Rahmen der Datenanalyse wurden die bereits vom Kanalbetrieb festgestellten Fehleinleitungen von Schmutzwasser bei Trockenwetter in die Bachverrohrungen bestätigt. Diese Fehleinleitungen führen in der Regel nicht zu einem signifikanten Füllstandanstieg. Die qualitätsabhängige Steuerung stellt jedoch sicher, dass diese erkannt und zur Behandlung geleitet werden. Neben einer Überwachung über den Parameter AFSeq lassen sich auch „Abweichungen“ im gesamten gemessenen Spektrum als „Alarmparameter“ einrichten.



Abbildung 19: Detektion von Fehleinleitungen (Schaum deutet auf häusliches/gewerbliches Abwasser hin) in einen verrohrten Bachkanal an einem qualitätsabhängig gesteuerten Bauwerk und Ableitung zu Behandlung im ESW-RÜB-Kläranlage (Kamera wird über Qualitätsmessung aktiviert)

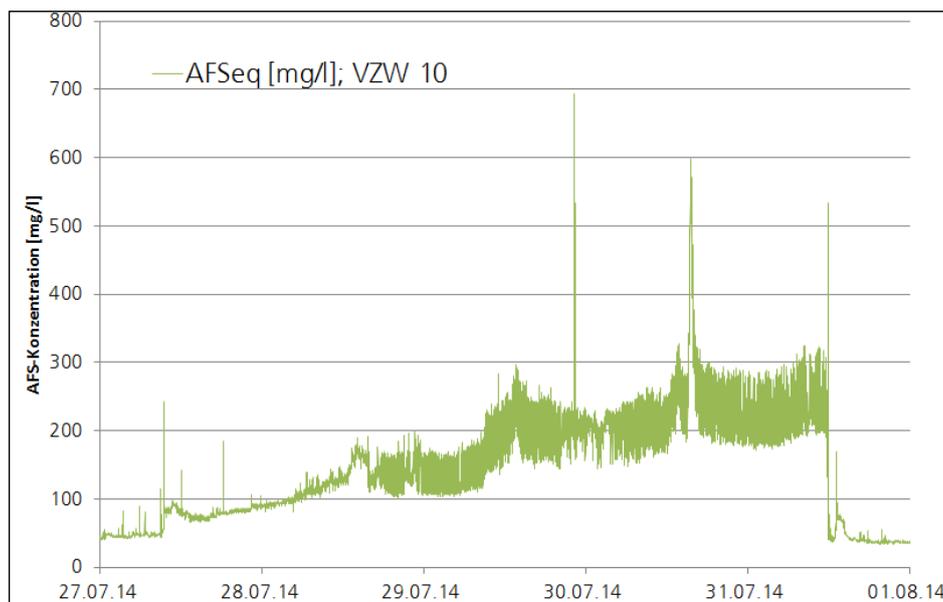


Abbildung 20: Entwicklung einer „Drift“ am Verzweigungsbauwerk 10 in Wuppertal; nach der Reinigung wird der Messwert wieder zuverlässig angezeigt

6.6.1 Notfallsteuerung

Die Notfallsteuerung in Wuppertal ist abhängig von Niederschlagsereignissen im Stadtgebiet. Wird an drei der zwölf Regenschreiber Niederschlag gemessen, werden die Drosselschieber geöffnet und 30 Minuten nach Ende des Niederschlagsereignisses wieder geschlossen. Zusätzlich tritt die Notfallsteuerung in Wuppertal in Kraft, wenn an einer Sonde über längere Zeit AFS-Werte über 200 mg/l gemessen werden.

6.6.2 Messdatenbasierte Entwicklung eines Verbundsteuerungskonzeptes

Da nicht alle Zuflüsse zum Entlastungssammler mit Messtechnik ausgestattet sind, wurden die AFS-Messungen hinsichtlich der Verschmutzung mit der Gebietsnutzung verglichen (Verschmutzungskategorien Trennerlass) und ein Ranking der angeschlossenen Einzugsgebiete erstellt. Ein direkter Zusammenhang zwischen den Kategorien des Trennerlasses und der AFS-Konzentration ließ sich dabei nicht herstellen. Die Kategorien des Trennerlasses zielen nicht nur auf die AFS-Konzentration selbst, sondern auch auf AFS als Leitparameter u. a. für Schwermetalle (AFS ist in Wohngebieten mit weniger Schwermetallen belastet, ggf. ist die AFS-Konzentration aber dennoch hoch).

Die Datenauswertungen zeigen, dass es deutliche Unterschiede hinsichtlich der AFS-Konzentrationen in den Einzugsgebieten gibt. Dies bestätigt den Ansatz, zu prüfen, ob der behandlungspflichtige Abflussanteil variabel aufgrund der jeweils aktuellen Verschmutzung im Vergleich zu anderen Bauwerken (im Verbund) festgelegt werden sollte, um das Behandlungsvolumen optimal zu nutzen. Zudem zeigen die VZW stark variierende Konzentrationsganglinien bedingt durch ihre Lage in verschiedenen Teileinzugsgebieten. Eindeutige wiederkehrende Muster, die einen Verzicht der Online-Qualitätsmessungen nahelegen würden, lassen sich nicht beobachten. Beispielsweise weist der Abfluss des VZW 37 für einige Ereignisse ausgeprägte Spülstöße aus, für andere Ereignisse hingegen nicht. Am VZW 73 ist die Variabilität jedoch deutlich geringer.

Anpassung der Messtechnik – von der lokalen Steuerung zur Verbundsteuerung

Im Rahmen des Projektes SAMUWA wurden ergänzend zu den acht lokalen Steuerungen an den VZW entlang des ESW zwei zusätzliche Spektrometersonden im Ablaufkanal des RÜB zur Kläranlage und dem Entlastungskanal des RÜB eingebaut und betrieben (Abbildung 21).

Damit sind die größten acht Zuläufe, der Ablauf zur Kläranlage und die Entlastung in die Wupper des rd. 46.000 m³ großen Transport- und Behandlungssystems mit Online-Messtechnik ausgestattet. Diese Messausstattung bildet die Grundlage einer neu zu entwickelnden Verbundsteuerung zur Bewirtschaftung des ESW. Bei der Bewertung der Messdaten ist jedoch zu beachten, dass dem ESW über rd. 50 weitere kleinere Verzweigungsbauwerke behandlungspflichtiges Niederschlagswasser zufließt.

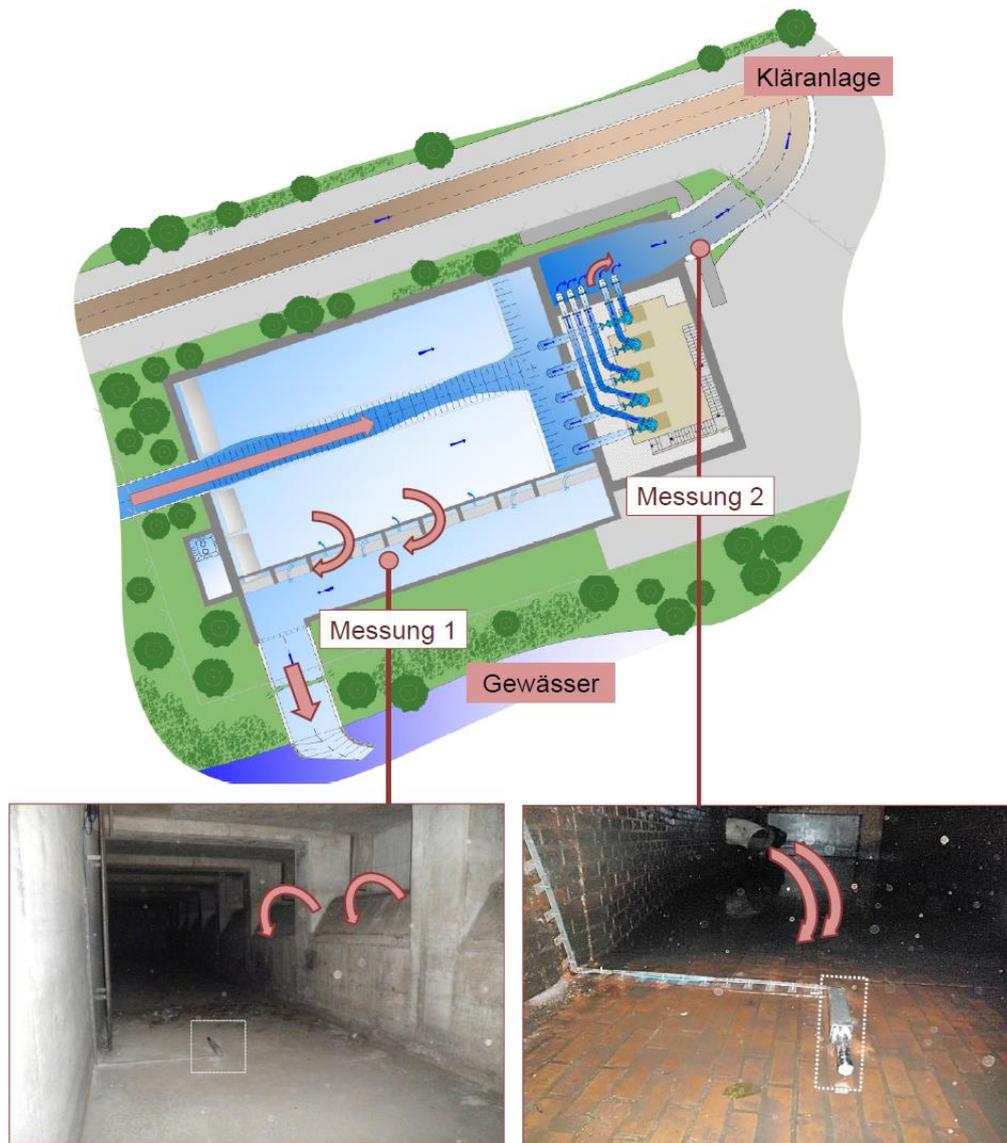


Abbildung 21: Einbausituation der neuen Online-Sonden zur Ermittlung der Verschmutzung des Niederschlags im Projekt zum Aufbau einer Verbundsteuerung

Datenanalyse zur Beschreibung des Systemverhaltens

Nach der Installation der neuen Messtechnik am RÜB wurden neben den bereits vorliegenden Daten auch die neu erhobenen Messdaten ausgewertet, um das Abflussverhalten im Gesamtsystem zu analysieren und ein Verbundsteuerungskonzept zu entwickeln. Umfangreiche Untersuchungsergebnisse der Messdaten sind in Fricke et al., 2016 zusammengefasst.

In einem ersten Schritt wurden Ereignisse ausgewählt, für die an möglichst vielen Messstellen belastbare Daten vorlagen. In der detaillierten Datenanalyse wurden daraufhin sieben Entlastungsereignisse des RÜB und die zeitgleich erhobenen Messdaten an den Verzweigungsbauwerken untersucht.

Einfluss der Nutzung im Einzugsgebiet – Übertragbarkeit der Messergebnisse

Die zu Beginn des Projektes aufgestellte Hypothese, dass die stark verschmutzten Abflussspitzen zu Niederschlagsbeginn das Transport- und Speichersystem des ESW füllen und nachfolgende geringer verschmutzte Abflüsse zu einer Verdrängung in den Vorfluter führen können, wurde durch Messungen belegt.

Ziel der Verbundsteuerung ist es daher, bei der Bewirtschaftung des Speicherraums im ESW und RÜB, die aktuelle Verschmutzung der, bisher lokal gesteuerten, Verzweigungsbauwerke und die Verschmutzung der Entlastung im RÜB zu berücksichtigen. Findet bereits eine Entlastung statt, soll der Zufluss von geringer verschmutztem Wasser in das System und damit ein Schmutzaustrag unterhalb vermieden werden (Abbildung 23).

Da die Datenauswertung zudem belegt, dass es deutliche Unterschiede hinsichtlich der Verschmutzung an den verschiedenen Verzweigungsbauwerken gib, ist ein einheitlicher bzw. von der Flächennutzung abhängiger spezifischer Zufluss zum ESW – unabhängig von der tatsächlichen Verschmutzung – dauerhaft nicht sinnvoll (Abbildung 22).

Die im Stadtgebiete betriebenen Niederschlagsschreiber und die fünf Staustufen innerhalb des ESW wurden ebenfalls in eine entwickelte Steuerungsstrategie eingebunden.

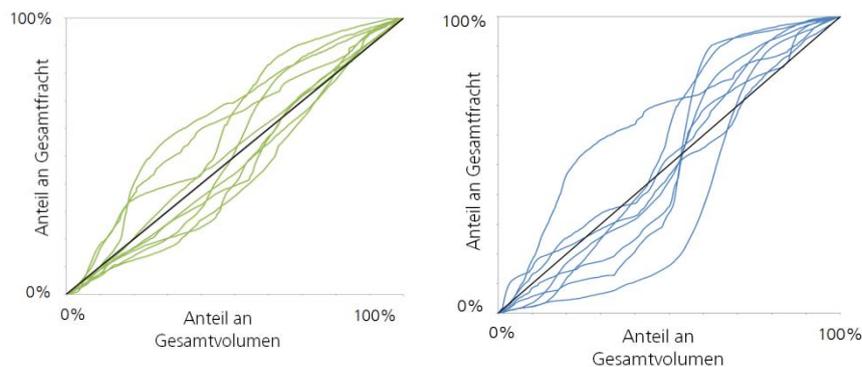


Abbildung 22: Exemplarische Datenauswertung von Massen-Volumen-Kurven der VZW 73 und VZW 37 zur Beschreibung des Systemverhaltens als Grundlage zur Entwicklung einer Verbundsteuerung

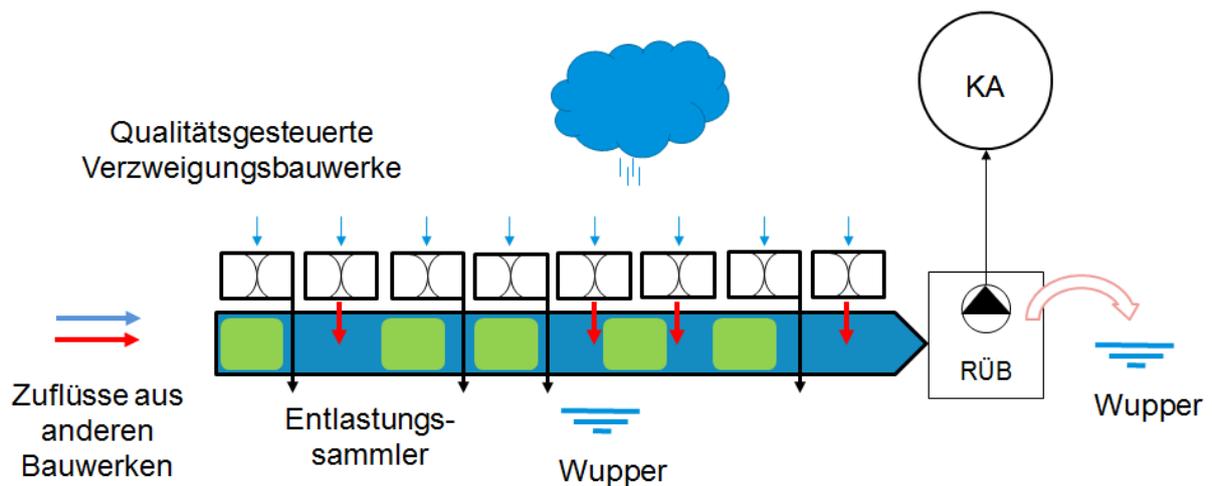


Abbildung 23: Beispiel eines Systemzustandes der qualitätsabhängige Steuerung im Verbund – Abflüsse zum Entlastungssammler ESW werden in Abhängigkeit von der Verschmutzung der Entlastung in die Wupper (RÜB) gesteuert (grün: Staufstufen im ESW; rote Pfeile: VZW mit aktueller Einleitung Q_{Dr} oder Q_{max} in ESW; schwarze Pfeile: VZW mit direkter Einleitung in Wupper)

Datenauswertung im Verbund – Zulauf und Entlastung des Systems ESW

Im Rahmen des Projektes SAMUWA konnten für verschiedene Niederschläge zugehörige Entlastungsereignisse ausgewertet werden. Für die beobachteten Entlastungsereignisse am Systemauslass (RÜB) wurden die Zuflüsse an den Verzweigungsbauwerken und die Konzentration an der Entlastung verglichen. Ein vereinfachtes Systemschema der Verzweigungsbauwerke, des ESW und des RÜB am Systemende ist in Abbildung 24 dargestellt.

Die Auswertungen bestätigen die Aussagen aufgrund historischer Daten, die zeigen, dass zu Beginn der Niederschläge stark verschmutztes Niederschlagswasser dem ESW-RÜB zufließt. Die Entlastungen aus den Mischsystemen und der Überlauf aus dem Hauptschmutzwassersammler werden derzeit nur über den Wasserstand an der Schwelle erfasst, erhöhen aber die Konzentration im ESW gegenüber den Zuflüssen aus den VZW tendenziell.

Ist das System ESW-RÜB gefüllt, kommt es am RÜB zur Entlastung in die Wupper. Die Messungen zeigen, dass der Entlastungsabfluss bei verschiedenen Ereignissen stärker verschmutzt ist als das Niederschlagswasser, das dem System an den Verzweigungsbauwerken während der Entlastungsphase noch zufließt. Der Zufluss in den ESW wird in der bisher betriebenen lokalen Steuerung erst beim Unterschreiten des Grenzwertes von $AFS_{eq} = 75 \text{ mg/l}$ beendet.

Das in dem System gespeicherte stark verschmutzte Wasser wird demnach bei längeren Regenereignissen durch geringer verschmutztes Niederschlagswasser verdrängt (Abbildung 24 und Abbildung 25). Diese Effekte lassen sich nur mittels der Online-Messungen aufzeigen und bilden den Ausgangspunkt zur Entwicklung der neuen Verbundsteuerung.

Die Datenauswertungen zeigen zudem, dass die bisher getroffenen Festlegungen zu den Grenzwerten der lokalen Steuerungen an den Verzweigungsbauwerken (Behandlung $> 100 \text{ mg/l}$; Ende der Behandlung bei Unterschreitung von 75 mg/l) sinnvoll waren. Auf diese Weise werden lange, weniger stark verschmutzte Abflüsse nicht mehr in das zumeist gefüllte ESW-System geleitet.

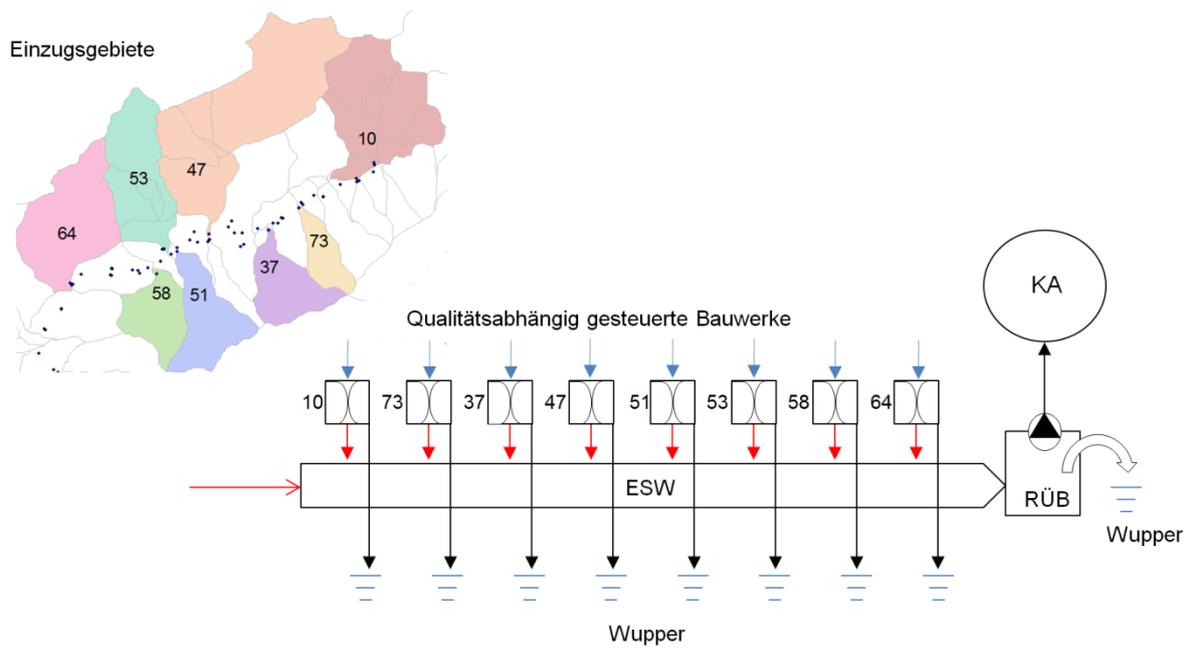


Abbildung 24: Übersicht über die „AFSeq-Messpunkte“ (Bauwerke 10-73) als Grundlage der Datenauswertung im Verbund – qualitätsabhängig gesteuerte Bauwerke und der Systemauslass (RÜB) mit Ableitung zur Kläranlage bzw. Entlastung in die Wupper (links: Einzugsgebiete der gesteuerten Bauwerke in Wuppertal)

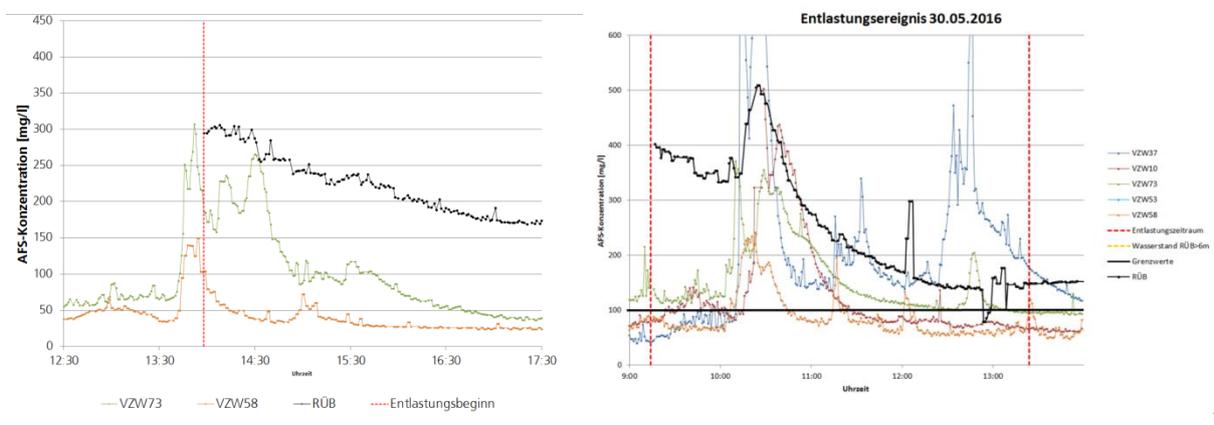


Abbildung 25: links: Datenauswertung im Verbund (Ereignis trifft auf leeres System) – AFSeq-Konzentrationen für ein Entlastungsereignis am RÜB (Ende ESW) und an zwei Verzweigungsbauwerken (VZW) im Einzugsgebiet (Zuflüsse zum ESW; dargestellt nur Bauwerke mit höchster und geringster Verschmutzung der acht VZW); rechts: Datenauswertung im Verbund (Folgeereignis trifft auf gefülltes System) – AFSeq-Konzentrationen für ein Entlastungsereignis am RÜB (Systemauslass ESW) und an fünf ausgewählten Verzweigungsbauwerken (VZW) im Einzugsgebiet (Zuflüsse zum ESW ab AFS > 100 mg/l)

Zusammenfassung der Datenauswertung

Die Datenauswertung lässt sich wie folgt zusammenfassen.

- Die Abflüsse zum ESW an den Verzweigungsbauwerken weisen (zeitlich und räumlich) stark variierende AFS_{eq}-Konzentrationen auf.
- Die angeschlossenen Gebiete zeigen bezogen auf die Ereignismittelwerte z. T. deutliche Unterschiede hinsichtlich der Verschmutzung (stark verschmutzte Gebiete, weniger stark verschmutzte Gebiete).
- An allen Bauwerke weisen die Abflüsse hohe AFS-Konzentrationen zu Ereignisbeginn auf, die häufiger, aber nicht immer mit den Abflussspitzen zusammenfallen (daher z. T. keine klassischen „Spülstöße“ nach Definition über M-V-Diagramme). Die AFS_{eq}-Konzentrationen können deutlich über 500 mg/l liegen.
- Bei länger anhaltenden Niederschlägen nimmt die AFS_{eq}-Konzentration deutlich ab (>> 100 mg/l).
- Die Abflussverschmutzung zeigt keinen einfachen Zusammenhang zu den Verschmutzungskategorien des Trennerlasses NRW, d. h. zu den dort beschriebenen Kategorien der Flächennutzung.
- Die Muster der Abflussverschmutzung sind von zahlreichen Einflussfaktoren abhängig und nur schwer vorhersagbar (Trockenwetterperiode, Nutzung, Jahreszeit, Straßenreinigung, Flächennutzung des Einzugsgebietes...).

Initiale zur Entwicklung einer qualitätsabhängigen Verbundsteuerung in Wuppertal

Insbesondere die deutliche zeitliche und räumliche Variabilität der Verschmutzung belegen, dass eine Weiterentwicklung der lokalen Steuerung sinnvoll ist. Es besteht ein hohes Potential zur optimierten Nutzung des vorhandenen Speicherraums bzw. zum Anschluss weiterer Flächen an das bestehende Ableitungs- und Behandlungssystem.

Die hohe zeitliche und räumliche Variabilität der Verschmutzung im Niederschlagswasserabfluss wurde nicht nur innerhalb einzelner Ereignisse beobachtet, sondern auch bei der Betrachtung der Ereignisse im Jahresverlauf. Die Verbundsteuerung sollte daher – wie die bisher umgesetzten lokalen Steuerungen – auf der Messung der Verschmutzung basieren und nicht auf „getroffenen Annahmen“.

Vergleichbare Untersuchungen in den Niederlanden zeigen, dass eine Steuerung allein auf Basis des Füllstandes nicht dazu geeignet ist, Verschmutzungsspitzen zuverlässig einer Behandlung zuzuführen (Schilperoort et al., 2015). Steuerungen, die auf Wasserstands- oder Durchflussmessungen basieren, bieten sich (nur) in Systemen an, die lediglich eine sehr geringe Variabilität hinsichtlich der Verschmutzung aufweisen. Dies kann durch temporäre Messkampagnen untersucht werden (Tenner und Schwerdorf, 2014).

Stufenkonzept zur Verbundsteuerung und pilothafte Umsetzung

Auf Grundlage der Datenanalyse wurde ein gestuftes Konzept zur Verbundsteuerung entwickelt.

Zum einen wird bei höheren Konzentrationen ($>150 \text{ mg/l AFS}_{\text{eq}}$) der Drosselabfluss an den Verzweigungsbauwerken zum ESW erhöht. Zum anderen wird im Entlastungsfall, bei dem die Konzentration am RÜB höher ist als die im Zufluss zum ESW-System am VZW, der Abfluss auch bei Erreichen des Grenzwertes in die Wupper geleitet.

Diese Verbundsteuerungsregeln wurden pilothaft für das VZW 37 umgesetzt und mit der Genehmigungsbehörde abgestimmt. Bei der Umsetzung gab es zahlreiche Steuerungsregeln, die zu implementieren waren.

Wie in Abbildung 23 schematisch dargestellt sind im Projekt u. a. die folgenden hydraulisch- und qualitätsabhängigen Steuerungsregeln implementiert worden:

Stufe 1: Niederschlagsstationen und Aktivierung von Stauraum im ESW

- Bei Detektion von Niederschlag an drei Niederschlagschreibern im Stadtgebiet schließen sich die fünf Staubauwerke im ESW und es erfolgt eine Aktivierung des Retentionsvolumens.
- In Abhängigkeit vom Füllstand des RÜB öffnen sich die fünf Staubauwerke bis zur Begrenzung auf 100 % des jeweiligen Drosselabflusses.
- Die Öffnung der Staubauwerke nach Ende des Niederschlags erfolgt sequenziell (Spülwelle).

Stufe 2.1: Verzweigungsbauwerke

- Steuerung des Drosselabflusses (Q_{Dr}) an den Verzweigungsbauwerken zum ESW:
 - $\text{AFS}_{\text{eq}} > 100 \text{ mg/l}$ wird Q_{Dr} zur Behandlung im ESW geleitet.
 - $\text{AFS}_{\text{eq}} > 150 \text{ mg/l}$ wird Q_{Dr} auf Q_{max}^1 erhöht.
 - $\text{AFS}_{\text{eq}} < 75 \text{ mg/l}$ wird der Schieber verschlossen (keine Ableitung zum ESW).

Stufe 2.2: Verzweigungsbauwerke

- Bei Entlastung des RÜB (Ermittlung über Füllstandmessung im RÜB) wird der aktuelle AFS_{eq} -Wert am Klärüberlauf des RÜB mit dem aktuellen AFS_{eq} -Wert an den VZW (pilothaft am VZW 37) verglichen.
 - $\text{AFS}_{\text{VZW}} < \text{AFS}_{\text{RÜB/Entlastung}}$ wird der Schieber verschlossen, so dass keine weitere Zuleitung von weniger verschmutztem Wasser zum ESW/RÜB erfolgt (direkte Entlastung in die Wupper).

¹ Die max. Ableitung zum ESW wird hydraulisch durch die zuführenden Haltungen zum ESW begrenzt.

Bei vollständiger Umsetzung dieser qualitätsabhängigen Verbundsteuerung wird bei Detektion von Niederschlag das Retentionsvolumen aktiviert. Bei starken Niederschlagsereignissen und Ansprungen der Entlastung am RÜB werden die AFS_{eq} -Konzentrationen online verglichen. Liegt die Belastung am RÜB über der Belastung an einem VZW, wird an der „weniger verschmutzten“ Stelle das Niederschlagswasser in die Vorflut geleitet und nur die „stärker verschmutzten“ Volumenströme werden zur weiteren Behandlung geleitet.

6.7 Genehmigung und Nachweis

6.7.1 Aktueller Stand der Nachweise

Die qualitätsabhängige Steuerung in Wuppertal ist von den zuständigen Aufsichtsbehörden genehmigt. Der aktuelle Betrieb wird über eine jährliche zusammenfassende Datenauswertung dokumentiert. Für die Teilnetze der Verzweigungsbauwerke liegen hydrodynamische Modelle vor, die im Rahmen der Generellen Entwässerungsplanung (GEP) und Netzanzeige erstellt und fortgeschrieben werden (Überstaunachweise und Überflutungsbetrachtungen).

Bisher erfolgte ergänzend ein modellbasierter Nachweis der Regenwasserbehandlung des ESW über eine Schmutzfrachtberechnung. Die Steuerung wurde dabei – basierend auf den Messungen – vereinfacht angesetzt.

Eine Weiterentwicklung der modellbasierten Bewertung der qualitätsabhängigen Steuerung ist Gegenstand aktueller Forschungsbetrachtungen (Fricke et al., 2016).

6.7.2 Geplante Systemerweiterungen zur Regenwasserbehandlung

Die zusätzlich installierten Messungen und die Datenauswertungen am RÜB haben gezeigt, dass das Gesamtsystem nur selten entlastet und damit auch Potential zur Behandlung weiterer Gebiete besteht. Auf Grundlage der Projektergebnisse und parallel erfolgter hydraulischer Berechnungen plant die WSW aktuell den Bau eines weiteren qualitätsabhängig gesteuerten Verzweigungsbauwerks.

7 Ausblick

Die im Forschungsprojekt SAMUWA entwickelte Verbundsteuerung soll sukzessive an allen Bauwerken umgesetzt werden. Hierzu wird der Testbetrieb am VZW 37 derzeit detailliert ausgewertet und mit den Aufsichtsbehörden abgestimmt.

Die Daten der Verzweigungsbauwerke sollen für die Trockenwetterphasen noch weitergehend analysiert und Erkenntnisse zur Detektion von Fehleinleitungen in dem Projekt DETEK-T weiterverfolgt werden (Grüning und Schmidt, 2017).

Die eingesetzte Messtechnik arbeitet bereits sehr zuverlässig. Wünschenswert ist aus Betreibersicht jedoch auch in diesem Bereich eine Weiterentwicklung hin zu wartungsarmen Lösungen.

Ergänzend sollen die modellbasierten Nachweise der Steuerung weiterentwickelt werden. Dies erfolgt im Rahmen einer Kooperation zwischen der WSW Energie und Wasser AG, der Dr. Pecher AG und der TU Graz.

Folgende Aspekte sollten zukünftig noch näher betrachtet werden:

- Verknüpfungen von Schmutzwasser-, Mischwasser-, Regenwassersystem und deren Wirkung
- Einflüsse aus natürlichen Einzugsgebieten auf die AFS-Konzentration
- Anschlussmöglichkeiten neuer Flächen an das Gesamtsystem

Die Wirkung der Steuerung auf die Kläranlage bzw. eine Integration des Kläranlagenzuflusses in das Systemkonzept stellen wichtige weitere Optionen zu Weiterentwicklung der Steuerung dar.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Prinzip der qualitätsabhängigen Steuerung	2
Abbildung 2: Schemazeichnung des qualitätsabhängig gesteuerten Entwässerungssystems in Wuppertal	3
Abbildung 3: Mögliche Messorte zur Qualitätserfassung im Kanalnetz	15
Abbildung 4: Bypass-Installation, von oben befülltes Bassin (Quelle: TU Graz)	16
Abbildung 5: Bypass-Installation, seitlich befülltes Bassin (Quelle: TU Graz)	16
Abbildung 6: Sohlgebundene Installation	17
Abbildung 7: Installation an der Schwelle, links: feste Installation, rechts: klappbare Installation	17
Abbildung 8: Schwimmende Installation (Quelle: TU Graz)	18
Abbildung 9: Schwimmende Installation (Quelle: TU Graz)	18
Abbildung 10: „Rauschen“ des Messsignals durch Verlegung des Messfensters einer Spektrometermessung	21
Abbildung 11: Entwicklung einer Drift bedingt durch die zunehmende Verschmutzung des Messfensters einer Spektrometermessung	21
Abbildung 12: Sprunghafte Plateau-Bildung der Messwerte durch Verschmutzung des Messfensters einer Spektrometermessung	22
Abbildung 13: Ausreißer einzelner Messwerte verursacht durch Lufteinperlungen einer Reinigungseinrichtung	22
Abbildung 14: Überschreitung des Messbereichs bei extremer Verschmutzung	22
Abbildung 15: Installation eines Kamerasystems, bestehend aus Scheinwerfer und Kamera	23
Abbildung 16: Vereinfachtes Funktionsschema des Entwässerungssystems in Wuppertal – Trennsysteme in Gebieten mit unterschiedlicher Flächennutzung (Kategorie 1, 2 und 3 nach Trennerlass NRW) leiten das Niederschlagswasser dem System ESW-RÜB-KA zu	28
Abbildung 17: Prinzip der qualitätsabhängigen lokalen Steuerung in einem Verzweigungsbauwerk in Wuppertal (Bildquelle: WSW)	29
Abbildung 18: Einbausituation einer Spektrometermessung auf der Kanalsohle mit nachfolgender Bodenschwelle (hier bei Trockenwetterabfluss)	29
Abbildung 19: Detektion von Fehleinleitungen (Schaum deutet auf häusliches/gewerbliches Abwasser hin) in einen verrohrten Bachkanal an einem qualitätsabhängig gesteuerten Bauwerk und Ableitung zu Behandlung im ESW-RÜB-Kläranlage (Kamera wird über Qualitätsmessung aktiviert)	30
Abbildung 20: Entwicklung einer „Drift“ am Verzweigungsbauwerk 10 in Wuppertal; nach der Reinigung wird der Messwert wieder zuverlässig angezeigt	30
Abbildung 21: Einbausituation der neuen Online-Sonden zur Ermittlung der Verschmutzung des Niederschlags im Projekt zum Aufbau einer Verbundsteuerung	32
Abbildung 22: Exemplarische Datenauswertung von Massen-Volumen-Kurven der VZW 73 und VZW 37 zur Beschreibung des Systemverhaltens als Grundlage zur Entwicklung einer Verbundsteuerung	33
Abbildung 23: Beispiel eines Systemzustandes der qualitätsabhängige Steuerung im Verbund – Abflüsse zum Entlastungssammler ESW werden in Abhängigkeit von der Verschmutzung der Entlastung in die Wupper (RÜB) gesteuert (grün: Staustufen im ESW; rote Pfeile: VZW mit aktueller Einleitung Q_{Dr} oder Q_{max} in ESW; schwarze Pfeile: VZW mit direkter Einleitung in Wupper)	34
Abbildung 24: Übersicht über die „AFSeq-Messpunkte“ (Bauwerke 10-73) als Grundlage der Datenauswertung im Verbund – qualitätsabhängig gesteuerte Bauwerke und der Systemauslass (RÜB) mit Ableitung zur Kläranlage bzw. Entlastung in die Wupper (links: Einzugsgebiete der gesteuerten Bauwerke in Wuppertal)	35
Abbildung 25: links: Datenauswertung im Verbund (Ereignis trifft auf leeres System) – AFSeq-Konzentrationen für ein Entlastungsereignis am RÜB (Ende ESW) und an zwei Verzweigungsbauwerken (VZW) im Einzugsgebiet (Zuflüsse zum ESW; dargestellt nur Bauwerke mit höchster und geringster Verschmutzung der acht VZW); rechts: Datenauswertung im Verbund (Folgeereignis trifft auf gefülltes System) – AFSeq-Konzentrationen für ein Entlastungsereignis am RÜB (Systemauslass ESW) und an fünf ausgewählten Verzweigungsbauwerken (VZW) im Einzugsgebiet (Zuflüsse zum ESW ab AFS > 100 mg/l)	35

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Wichtige Merk- und Arbeitsblätter der DWA zum Themenbereich Abflusssteuerung und Messdatenmanagement	7
Tabelle 2: Ansätze der Echtzeit-Steuerungsstrategien	8
Tabelle 3: Vor- und Nachteile der Installationsorte	19

Literaturverzeichnis

- Al Ali, S., Bonhomme, C. und Chebbo, G. (2016) Evaluation of the Performance and the Predictive Capacity of Build-Up and Wash-Off Models on Different Temporal Scales. *Water*, 8, 312.
- Al-Yaseri, I., Morgan, S. und Retzlaff, W. (2013) Using Turbidity to Determine Total Suspended Solids in Storm-Water Runoff from Green Roofs. *Journal of Environmental Engineering-Asce*, 139(6), 822–828.
- Amtsblatt der Europäischen Union (2014) Richtlinie 2014/34/EU des Europäischen Parlaments und des Rates zur Harmonisierung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten für Geräte und Schutzsysteme zur bestimmungsgemäßen Verwendung in explosionsgefährdeten Bereichen (Neufassung).
- ATV-DVWK (1992) Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 128 - Richtlinien zur Bemessung und Gestaltung von Regenentlastungsanlagen in Mischwasserkanälen. GFA - Gesellschaft zur Förderung der Abwassertechnik e. V., Hennef, Germany.
- Benedetti, L., Langeveld, J., Comeau, A., Corominas, L., Daigger, G., Martin, C., Mikkelsen, P. S., Vezzaro, L., Weijers, S. und Vanrolleghem, P. A. (2013) Modelling and monitoring of integrated urban wastewater systems: review on status and perspectives. *Water Science and Technology*, 68(6), 1203–1215.
- Bertrand-Krajewski, J. L. (2004) TSS concentration in sewers estimated from turbidity measurements by means of linear regression accounting for uncertainties in both variables. *Water Science and Technology*, 50(11), 81–88.
- Bertrand-Krajewski, J.-L., Winkler, S., Saracevic, E., Torres, A. und Schaar, H. (2007) Comparison of and uncertainties in raw sewage COD measurements by laboratory techniques and field UV-visible spectrometry. *Water Science and Technology*, 56(11), 17–25.
- Brombach, H., Weiss, G. und Fuchs, S. (2005) A new database on urban runoff pollution: Comparison of separate and combined sewer systems. *Water Science and Technology*, 51, 119–128.
- BWK (2008) BWK-Merkblatt 7. Detaillierte Nachweisführung immissionsorientierter Anforderungen an Misch- und Niederschlagswassereinleitungen gemäß BWK-Merkblatt 3.
- BWK (2007) Merkblatt BKW-M3 - Ableitung von immissionsorientierten Anforderungen an Misch- und Niederschlagswassereinleitungen unter Berücksichtigung örtlicher Verhältnisse. Bund der Ingenieure für Wasserwirtschaft, Abfallwirtschaft und Kulturbau (BWK) e.V., Pfullingen, Germany.
- Caradot, N., Sonnenberg, H., Riechel, M., Matzinger, A. und Rouault, P. (2013) The influence of local calibration on the quality of UV-VIS spectrometer measurements in urban stormwater monitoring. *Water Practice and Technology*, 8(3–4), 417–424.
- Caradot, N., Sonnenberg, H., Rouault, P., Gruber, G., Hofer, T., Torres, A., Pesci, M. und Bertrand-Krajewski, J.-L. (2015) Influence of local calibration on the quality of online wet weather discharge monitoring: feedback from five international case studies. *Water Science and Technology*, 71(1), 45–51.
- van Daal, P., Gruber, G., Langeveld, J., Muschalla, D. und Clemens, F. (2017) Performance evaluation of real time control in urban wastewater systems in practice: Review and perspective. *Environmental Modelling & Software*, 95, 90–101.
- Dierschke, M. (2014) Methodischer Ansatz zur Quantifizierung von Feinpartikeln (PM₆₃) in Niederschlagsabflüssen in Abhängigkeit von der Herkunftsfläche (Methodical approach for quantifying of fine particles (PM₆₃) in rainfall runoffs depending on the surface of origin). [online] <https://kluedo.ub.uni-kl.de/frontdoor/index/index/docId/3808>.

- Dirckx, G., Thoeye, C., De Gueldre, G. und Van De Steene, B. (2011) CSO management from an operator's perspective: a step-wise action plan. *Water Science and Technology*, 63(5), 1044–1052.
- Dotto, C. B. S., Kleidorfer, M., Deletic, A., Fletcher, T. D., McCarthy, D. T. und Rauch, W. (2010) Stormwater quality models: performance and sensitivity analysis. *Water science and technology*, 62(4), 837–843.
- DWA (2005) Merkblatt DWA-M 180 - Handlungsrahmen zur Planung der Steuerung von Kanalnetzen (in German). Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., Hennef, Germany.
- DWA (2006a) Arbeitsblatt DWA-A 100 - Leitlinien der integralen Siedlungsentwässerung (ISiE). Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., Hennef, Germany.
- DWA (2006b) Arbeitsblatt DWA-A 118 - Hydraulische Bemessung und Nachweis von Entwässerungssystemen. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., Hennef, Germany.
- DWA (2011) Merkblatt DWA-M 181 - Messung von Wasserstand und Durchfluss in Entwässerungssystemen. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., Hennef, Germany.
- DWA (2012) DWA-M 153 - Handlungsempfehlungen zum Umgang mit Regenwasser (August 2007); korrigierter Stand: August 2012. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., Hennef, Germany.
- 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., Hennef, Germany.
- DWA (2014) Merkblatt DWA-M 151 - Messdatenmanagementsysteme (MDMS) in Entwässerungssystemen. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., Hennef, Germany.
- DWA (2016) Gelbdruckvorlage DWA-A 102 - Grundsätze zur Bewirtschaftung und Behandlung von Regenwetterabflüssen zur Einleitung in Oberflächengewässer. DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., Hennef, Germany.
- DWA (2017) Merkblatt DWA-M 147 - Betriebsaufwand für kommunale Entwässerungssysteme – Betriebsaufgaben und Häufigkeiten. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., Hennef, Germany.
- Endress+Hauser Management AG (2017) TOC-, CSB- und SAK-Analysatoren. [online] <https://www.de.endress.com/de/messgeraete-fuer-die-prozesstechnik/fluessigkeitsanalyse-produktuebersicht/TOC-CSB-SAK-Analysatoren>, 09.03.2017.
- Endress+Hauser Messtechnik GmbH+Co. KG (2017) Explosionsschutz in Abwasseranlagen Bedeutung und Konsequenzen für Anlagenbetreiber. Online, 09.03.2017. https://www.netinform.de/GW/files/pdf/Ex_Schutz_Abwasser_EH.pdf.
- Erbe, V. (2004) Entwicklung eines integralen Modellansatzes zur immissionsorientierten Bewirtschaftung von Kanalnetz, Kläranlage und Gewässer (in German).
- Fricke, K., Hellmig, M., Hoppe, H. und Muschalla, D. (2016) 10 years spectrometry based P-RTC in Wuppertal in 9th International Conference NOVATECH Lyon, planning and technologies for sustainable urban water management Proceedings. Lyon, France.
- Fuchs, L. und Beeneken, T. (2005) Development and implementation of a real-time control strategy for the sewer system of the city of Vienna. *Water Science and Technology*, 52(5), 187–194.

- García, L., Barreiro-Gomez, J., Escobar, E., Téllez, D., Quijano, N. und Ocampo-Martinez, C. (2015) Modeling and real-time control of urban drainage systems: A review. *Advances in Water Resources*, 85, 120–132.
- Grayson, R. B., Finlayson, B. L., Gippel, C. J. und Hart, B. T. (1996) The potential of field turbidity measurements for the computation of total phosphorus and suspended solids loads. *Journal of Environmental Management*, 47(3), 257–267.
- Gruber, G., Bertrand-Krajewski, J. L., de Benedittis, J., Hochedlinger, M. und Lettl, W. (2006) Practical aspects, experiences and strategies by using UV/VIS sensors for long-term sewer monitoring. *Water Practice and Technology*, 1(1).
- Gruber, G., Winkler, S. und Pressl, A. (2005) Continuous monitoring in sewer networks an approach for quantification of pollution loads from CSOs into surface water bodies. *Water Science and Technology*, 52(12), 215–223.
- Gruber, G., Winkler, S. und Pressl, A. (2004) Quantification of pollution loads from CSOs into surface water bodies by means of online techniques. *Water Science and Technology*, 50(11), 73–80.
- Grüning, H. (2010) Kurzbericht zum Forschungsvorhaben Gegenüberstellung der Möglichkeiten zentraler und dezentraler Regenwasserbehandlungsmaßnahmen für zwei Gewässereinzugsgebiete. [online] https://www.lanuv.nrw.de/uploads/tx_mmkresearchprojects/Kurzbericht_zwei.pdf.
- Grüning, H. und Schmidt, C. (2017) Schmutzwasser im Regenwasser - was - nun? 6. Kommunaler Erfahrungsaustausch Regenwassermanagement, Gelsenkirchen, 28.04.2016.
- Gujer, W. (2007) Siedlungswasserwirtschaft. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, Germany.
- Haas, U., Ruf, O., Dittmer, U. und Schütze, M. (2016) Integrale Abflusssteuerung in Mischsystemen. Aspekte zu deren Einführung. Leitfaden. Unter Mitarbeit von A. Bachmann-Machnik, H. Besier, M. Papas und C. Weber.
- Hannouche, A., Chebbo, G., Ruban, G., Tassin, B., Lemaire, B. J. und Joannis, C. (2011) Relationship between turbidity and total suspended solids concentration within a combined sewer system. *Water Science and Technology*, 64(12), 2445–2452.
- Heusch, S. (2011) Modellprädiktive Abflusssteuerung mit hydrodynamischen Kanalnetzmodellen. [online] <http://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/2559/>.
- Hochedlinger, M. (2005) Assessment of Combined Sewer Overflow Emissions (U.-P. Dd.-I. D. techn. H. Kainz, ed.), Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau, Graz, Austria.
- Hoppe, H., Messmann, S., Giga, A. und Grüning, H. (2009) Options and limits of quantitative and qualitative online-monitoring of industrial discharges into municipal sewage systems. *Water Science & Technology*, 60(4), 859–867.
- Hoppe, H., Messmann, S., Giga, A. und Gruening, H. (2011) A real-time control strategy for separation of highly polluted storm water based on UVVis online measurements from theory to operation. *Water Science & Technology*, 63(10), 2287–2293.
- Huber, M. und Helmreich, B. (2016) Stormwater Management: Calculation of Traffic Area Runoff Loads and Traffic Related Emissions. *Water*, 8(7), 294.
- Klepiszewski, K. (2017) E-Mail Partikelmessung. 19.04.2017.
- de Korte, K., van Beest, D., van der Plaats, M., de Graaf, E. und Schaart, N. (2009) RTC simulations on large branched sewer systems with SmarTControl. *Water Science and Technology*, 60(2), 475–482.

- Kroll, S. (2017) Persönliche Korrespondenz zu Betriebserfahrungen mit Spektrometermessungen (unveröffentlicht).
- Lacour, C., Joannis, C., Schuetze, M. und Chebbo, G. (2011) Efficiency of a turbidity-based, real-time control strategy applied to a retention tank: a simulation study. *Water Science and Technology*, 64(7), 1533–1539.
- Langeveld, J., Benedetti, L., de Klein, J. J. M., Nopens, I., Amerlinck, Y., van Nieuwenhuijzen, A., Flaming, T., van Zanten, O. und Weijers, S. (2013) Impact-based integrated real-time control for improvement of the Dommel River water quality. *Urban Water Journal*, 10(5), 312–329.
- Langeveld, J., Boogaard, F., Liefing, H., Schilperoort, R., Hof, A., Nijhof, H., de Ridder, A. und Kuiper, M. (2014) Selection of monitoring locations for storm water quality assessment. *Water Science & Technology*, 69(12), 2397–2406.
- Lepot, M., Aubin, J. B. und Bertrand-Krajewski, J. L. (2013) Accuracy of different sensors for the estimation of pollutant concentrations (total suspended solids, total and dissolved chemical oxygen demand) in wastewater and stormwater. *Water Science and Technology*, 68(2), 462–471.
- Lepot, M., Torres, A., Hofer, T., Caradot, N., Gruber, G., Aubin, J.-B. und Bertrand-Krajewski, J.-L. (2016) Calibration of UV/Vis spectrophotometers: A review and comparison of different methods to estimate TSS and total and dissolved COD concentrations in sewers, WWTPs and rivers. *Water Research*, 101, 519–534.
- MUNLV (2004) Anforderungen an die Niederschlagsentwässerung im Trennverfahren. RdErl. d. Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz NRW - IV-9 031 001 2104.
- Muschalla, D. (2008) Optimization of Integrated Urban Water Systems Using Multi-Objective Evolution Strategies. *Urban Water Journal*, 5(1), 57–65.
- Rauch, W., Seggelke, K., Brown, R. und Krebs, P. (2005) Integrated approaches in urban storm drainage: Where do we stand? *Environmental management*, 35(4), 396–409.
- Rieckermann, J., Gruber, G. und Hoppe, H. (2017) Zukunftsfähige Systeme zur Regenwasserbehandlung brauchen datenbasierte Betriebs-, Planungs- und Vollzugskonzepte. Schriftenreihe zur Wasserwirtschaft–Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau, Graz, Austria.
- Risholt, L. P., Schilling, W., Erbe, V. und Alex, J. (2002) Pollution based real time control of wastewater systems. *Water Science and Technology*, 45(3), 219–228.
- Rugner, H., Schwientek, M., Beckingham, B., Kuch, B. und Grathwohl, P. (2013) Turbidity as a proxy for total suspended solids (TSS) and particle facilitated pollutant transport in catchments. *Environmental Earth Sciences*, 69(2), 373–380.
- s::can Messtechnik GmbH (2017) Intelligent. Optisch. [online] <http://s-can.at/de/produkte>, 09.03.2017.
- Sage, J., Bonhomme, C., Al Ali, S. und Gromaire, M.-C. (2015) Performance assessment of a commonly used accumulation and wash-off? model from long-term continuous road runoff turbidity measurements. *Water research*, 78, 47–59.
- Schilling, W. (1990) Operationelle Siedlungsentwässerung: Konzeptionen zur Abflusssteuerung und Speicherbewirtschaftung in Entwässerungssystemen. Oldenbourg, München, Wien.
- Schilperoort, R., Gruber, G., Flamink, C., Clemens, F. und van der Graaf, I. (2006) Temperature and conductivity as control parameters for pollution-based real-time control. *Water Science and Technology*, 54(11–12), 257–263.

- Schilperoort, R. P. S. (2011) Monitoring as a tool for the assessment of wastewater quality dynamics. Dissertation, Technical University of Delft, Delft, Netherlands.
- Schilperoort, R., Palsma, B., Renkens, G., und Langeveld, J. (2015) "Pollution based real-time control of improved storm water sewers in the Netherlands" in Proceedings UDM 2015 - 10th International Urban Drainage Modelling Conference. Québec, Canada, 167–169.
- Schütze, M. und Muschalla, D. (2013) Special Issue on Real time control of urban drainage systems. *Urban Water Journal*, 10(5), 291–292.
- Tenner, R. und Schwerdorf, I. (2014) Online-Qualitätsmessungen als Grundlage der Netzbewirtschaftung in Köln. 4. Kommunalen Erfahrungsaustausch Regenwasserbehandlung in der Praxis, Gelsenkirchen.
- Umweltbundesamt (2016) Factsheet- Aktueller Zustand der deutschen Gewässer. [online] https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/dokumente/uba_factsheet_aktueller_zustand_der_deutschen_gewaesser.pdf.
- Van Daal-Rombouts, P., Langeveld, J. G. und Clemens, F. H. L. R. (2013) Requirements for quality of monitoring data for water quality based RTC. 7th International Conference on Sewer Processes and Networks (SPN 7), Sheffield, U.K.
- Vanrolleghem, P. A., Benedetti, L. und Meirlaen, J. (2005) Modelling and real-time control of the integrated urban wastewater system. *Environmental Modelling & Software*, 20(4), 427–442.
- Vanrolleghem, P. A., Schilling, W., Rauch, W., Krebs, P. und Alderink, H. (1999) Setting up measuring campaigns for integrated wastewater modelling. *Water Science and Technology*, 39(4), 257–268.
- Vezzaro, L., Christensen, M. L., Thirsing, C., Grum, M. und Mikkelsen, P. S. (2014) Water Quality-based Real Time Control of Integrated Urban Drainage Systems: A Preliminary Study from Copenhagen, Denmark. 12th International Conference on Computing and Control for the Water Industry. Perugia, Italy, 1707–1716. [online] <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705814001908>.
- Weijers, S. R., de Jonge, J., van Zanten, O., Benedetti, L., Langeveld, J., Menkveld, H. W. und van Nieuwenhuijzen, A. F. (2012) KALLISTO: Cost effective and integrated optimization of the urban wastewater system Eindhoven. *Water Practice and Technology*, 7.
- Weilandt, M. (2007) Berechnung von Belastungsgrößen zur immissionsorientierten Betrachtung von urbanen stofflichen Einträgen in Fließgewässer. Gesellschaft zur Förderung des Lehrstuhls für Siedlungswasserwirtschaft und Umwelttechnik (LSU) an der Ruhr-Universität Bochum, Bochum, Germany.
- Weinreich, G., Schilling, W., Birkely, A. und Moland, T. (1997) Pollution based real time control strategies for combined sewer systems. *Water Science and Technology*, 36(8–9), 331–336.
- Wichern, M., Vesting, A., Pecher, K. H., Giga, A., Wolke, M., Helmreich, B., Huber, M. und Li, Y. (2015) Untersuchungs- und Entwicklungsvorhaben im Bereich Abwasser zum Themenschwerpunkt Niederschlagswasserbeseitigung: Vergabe-Nr. 08/058.2. Reduktion von Kohlenwasserstoffen und anderen organischen Spurenstoffen durch ein dezentrales Behandlungssystem für Verkehrsflächenabflüsse, gefördert durch das Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, wissenschaftlich begleitet durch das Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (IV-7–042 600 002E). Ruhr-Universität Bochum, Bochum, Germany.
- WSW Wuppertal (2012) Regenwasserbehandlung in Wuppertal. Film. 01.06.2017. [online] https://www.youtube.com/watch?v=UJ_wylU5nYo&list=PL68413E29FD34E45F&index=2.

- Yu, Y., Kojima, K., An, K. und Furumai, H. (2013) Cluster analysis for characterization of rainfalls and CSO behaviours in an urban drainage area of Tokyo. *Water Science and Technology*, 68(3), 544–551.
- Zamora, D. und Torres, A. (2014) Method for outlier detection: A tool to assess the consistency between laboratory data and ultraviolet- Visible absorbance spectra in wastewater samples. *Water Science and Technology*, 69(11), 2305–2314.

Kontakt und Impressum

Qualitätsabhängige Kanalnetzsteuerung- Konzeption und Umsetzung lokaler und stadtgebietsweiter Steuerungsstrategien

Katja Ines Raith, Holger Hoppe, Stefan Kutsch, Jens Ante, Christian Massing

Leitfaden

Herausgeber

Dr.-Ing. Holger Hoppe

Dr. Pecher AG, Klinkerweg 5, Erkrath

holger.hoppe@pecher.de, www.pecher.de

Layout

Deckblattgestaltung: Dipl.-Ing- Fabian Brenne (ILPÖ, Universität Stuttgart)

Eingebettete Abschlussarbeiten:

Maren Hellmig (2016): *Analyse und Weiterentwicklung einer qualitätsabhängigen Abflusssteuerung der Regenwasserableitung im Stadtgebiet Wuppertal*. Masterarbeit. Univ.-Prof. Andreas Schlenkhoff, LuFG Wasserwirtschaft und Wasserbau FB D Abteilung Bauingenieurwesen Bergische Universität Wuppertal und Dr. Holger Hoppe, Dr. Pecher AG, Erkrath

Stand

September 2017

Alle Rechte vorbehalten. Teile dieses Leitfadens dürfen nicht ohne schriftliche Genehmigung des Herausgebers in irgendeiner Form reproduziert oder veröffentlicht werden. Die wissenschaftliche Richtigkeit der Texte, Abbildungen und Tabellen unterliegt nicht der Verantwortung des Herausgebers.

Danksagung

Bedanken möchten wir uns bei dem Kanalbetrieb der WSW, Wuppertal. Hier insbesondere bei Herrn Thorsten Gigl für hilfreiche Anregungen und konstruktive Kritik sowie bei Herrn Richard Liske, Herrn Berndt Schnicks, Herrn Thomas Vollbrecht und Herrn Lutz Winter für viel Engagement und gute Ideen bei der Wartung und der Umsetzung der Steuerungsideen. Außerdem gilt Frau Maren Hellmig unser Dank für Ihre Masterarbeit und den unermüdlichen Einsatz bei der Auswertung der Daten. Dank Herrn Prof. Dirk Muschalla, Herrn Prof. Günter Gruber, Herrn Stefan Kroll, Herrn Dr. Ulrich Dittmer und Frau Anna Bachmann-Machnik konnten wir auf viele Hinweise, ehrliche Betriebsberichte und einen wertvollen fachlichen Austausch zurückgreifen.