HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN FÜR DIE PRAXIS – TEIL 2

MESSKONZEPT UND MESSBETRIEB

PILOTPROJEKT :: REGEN 4.0

„Hinweise zur einheitlichen Umsetzung der Anforderungen an die Selbstüberwachung von Regenbecken für Betreiber und Aufsichtsbehörden in NRW am Beispiel der Entwässerungssysteme der Stadt Bielefeld und des Erftverbandes“

Die vorliegende Handlungsempfehlung „Teil 2 – Messkonzept und Messbetrieb“ wurde im Rahmen des Pilotprojektes :: Regen 4.0 „Hinweise zur einheitlichen Umsetzung der Anforderungen an die Selbstüberwachung von Regenbecken für Betreiber und Aufsichtsbehörden in NRW am Beispiel der Entwässerungssysteme der Stadt Bielefeld und des Erftverbandes“ erarbeitet.

Bearbeitung des Pilotprojektes - Projektpartner

Umweltbetrieb der Stadt Bielefeld
Lothar Dören

Erftverband
Horst Baxpehler
Kai Thormeyer

Dr. Pecher AG
Dr. Holger Hoppe
Alexa von Schledorn

KISTERS AG
Marc Hoffmann
Torsten Lüngen

aquaplan GmbH
Gerd Langstädtler

Fachliche Begleitung des Pilotprojektes

LANUV – Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein Westfalen
Birgit Wienert
Kirsten Oermann

Bezirksregierung Detmold
Tobias Strodtmann

Bezirksregierung Köln
Thomas Bölter

Förderung des Pilotprojektes

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

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis 4

Tabellenverzeichnis 6

1 Erarbeitung eines Messkonzeptes und Überwachung des Messbetriebes 7

2 Individuelles Messkonzept 8

2.1 Grundsteine für die Erarbeitung eines Messkonzeptes 10

2.1.1 Messaufgaben im Bauwerk – Beispiele 10
2.1.2 Hydraulische Randbedingungen 13
2.1.3 Energieversorgung und Datenübertragung 16
2.1.4 Zugänglichkeit des Bauwerks und der Messungen 17

2.2 Gestaltung der einzelnen Messstellen 18

2.2.1 Anzahl der Messstellen 18
2.2.2 Positionierung der Messstellen 20
2.2.3 Wahl des Messgerätes 24
2.2.4 Hinweise zur Datenaufzeichnung vor Ort 29

3 Dokumentation zum Messkonzept 31

4 Hinweise zur Verknüpfung von Messungen und Betriebssystemen 32

5 Hinweise zum Messbetrieb 33

5.1 Überprüfung der Messtechnik und Messkette (Wartung und Betrieb) 34

Zitierte und verwendete Literatur 36

Anhang 41

A1 Beispiele für ein Messkonzept in Abhängigkeit vom Bauwerkstyp und der Bauwerksanordnung 41

A2 Beispielhafte Installation der Messtechnik 47

A3 Hydraulische Randbedingungen 50

A4 Messtechnische Überwachung des Bauwerksbetriebs (Beispiele) 61

A5 Beispielhaftes Dokumentationsprotokoll (Bauwerk und Messtechnik) 67

A6 Beispielhafte Wartungsprotokolle für die Messtechnik (Echolote und Drucksonden) 68

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Erarbeitung eines durchgängigen Messkonzeptes 7

Abbildung 2: Überwachungsrelevante Komponenten des RÜB „Beispielbecken“ ...10

Abbildung 3: Messaufgaben im RÜB „Beispielbecken“ nach SüwVO Abw.....12

Abbildung 4: Belüfteter und unbelüfteter Überfallstrahl an einem scharfkantigen Wehr (aus Merkblatt DWA-M 181, 2011) 13

Abbildung 5: Beispielhafte Platzierung der Messgeräte (roter Kreis/Dreieck) zur Erfassung des Beckeneinstaus (Kreis rechts) und des Wasserstands an der Schwelle (Dreieck links), Distanz der Messungen rund 25 m; Beckentiefe > 3 m.....19

Abbildung 6: Lage der Wasserstandsmessung an Entlastungsschwellen (aus Merkblatt DWA-M 181, 2011).....20

Abbildung 7: Mögliche Montageposition an einem vertikal angeströmten Klärüberlauf (nach Bayerischem Landesamt, 2001) 21

Abbildung 8: Mögliche Position eines berührungslosen Echolotes (Dreieck) und einer Drucksonde an einem Streichwehr (Bayerisches Landesamt, 2001).....21

Abbildung 9: Messgeräteauswahl und deren Befestigung: Ultraschallsonde an einem Notüberlauf (links oben, Sonnenschutz fehlt), Befestigung einer Drucksonde (oben rechts), Zweistabsonde an einem Beckenüberlauf (unten links), Radarsonde in einer Beckenkammer (rechts unten). 25

Abbildung 10: Schwellenoberkante in Bezug zur Bauwerkssohle und zum Nullpunkt einer Drucksonde 26

Abbildung 11: Beispielhaftes Messkonzept im RÜB „Beispielbecken“.....28

Abbildung 12: Glieder der Messkette 32

Abbildung 13: Beispielhafte messtechnische Ausrüstung eines Stauraumkanals mit untenliegender Entlastung (Arbeitsblatt DWA-A 166, 2013) 41

Abbildung 14: Beispielhafte messtechnische Ausrüstung eines Stauraumkanals mit obenliegender Entlastung (Arbeitsblatt DWA-A 166, 2013) 42

Abbildung 15: Beispielhafte messtechnische Ausrüstung eines Fangbeckens im Hauptschluss (Arbeitsblatt DWA-A 166, 2013) 43

Abbildung 16: Beispielhafte messtechnische Ausrüstung eines Fangbeckens im Nebenschluss (Arbeitsblatt DWA-A 166, 2013) 44

Abbildung 17: Beispielhafte messtechnische Ausrüstung eines Durchlaufbeckens im Hauptschluss (Arbeitsblatt DWA-A 166, 2013).....45

Abbildung 18: Beispielhafte messtechnische Ausrüstung eines Durchlaufbeckens im Nebenschluss (Arbeitsblatt DWA-A 166, 2013).....46

Abbildung 19: Links: Echolot (Ultraschallsonde) in einem RÜB im Hauptschluss oberhalb der Trockenwetterrinne, rechts: Echolot (Ultraschallsonde) in einem RÜB im Nebenschluss an einer Rundschwelle 47

Abbildung 20: Links und rechts: Echolote (Ultraschallsonden) in geschlossenen Bauwerken (Stauraumkanäle) 47
Abbildung 21: Links und rechts: Drucksonden am tiefsten Punkt (Pumpensumpf) zweier RÜB im Nebenschluss 48
Abbildung 22: Echolot (Ultraschallsonde) an einem RRB, welches über ein PV-Modul mit Energie versorgt wird 48
Abbildung 23: Echolot (Ultraschallsonde) an einem RRB, waagerechtes Metallblech sorgt für konstante Messbedingungen (Nullpunkt) 49
Abbildung 24: Positionierung einer Messsonde in einem eigenständigen Messschacht auf der Bauwerksoberkante bei Straßenlage 49
Abbildung 25: Befestigungsmöglichkeiten der Messtechnik, über der Trockenwetterrinne (links) und oberhalb der Bauwerksabdeckung (Kragträger, rechts, außerhalb der Ex-Zone) 49
Abbildung 25: Überfallhöhe an einer Entlastungsschwelle 50
Abbildung 26: Beispiele aus der Praxis: Breite Schwellenoberkante, die deutliche Betonkorrosion aufweist (links), unebene Schwelle aufgrund eines entfernten Dammbalkens (rechts) 51
Abbildung 27: Überfallbeiwerte (aus Merkblatt DWA-M 176, 2013) 52
Abbildung 28: Beispielhaftes Foto einer in Segmente unterteilten Schwelle 54
Abbildung 29: Beispielhafte Darstellung eines Klärschlitzes (gemäß Arbeitsblatt DWA-A 111, 2010) 55
Abbildung 30: Beispielhafte Abbildung einer unterströmten Stauklappe (links) und einer überströmten Biegeklappe (rechts) 56
Abbildung 31: Beispielhafte Abbildung einer unterströmten Stauklappe und deren Kennlinie (Öffnungsmenge/Überfallmenge) 56
Abbildung 32: Fehlerhafte Aufzeichnung des Entlastungsvolumens auf Basis eines Drehwinkelgebers mit hinterlegter Auswertelogik 57
Abbildung 33: Position einer Tauchwand vor einer festen Schwelle (nach Arbeitsblatt DWA-A 166, 2013) 58
Abbildung 34: Beispielhafte Darstellung eines unvollkommenen Überfalls aufgrund von Rückstau aus dem Gewässer nach Arbeitsblatt DWA-A 111 (2010). 59
Abbildung 35: Überblick über das Regenüberlaufbecken und die installierte Messtechnik (Beispiel) 61
Abbildung 36: Trennbauwerk des Regenüberlaufbeckens (links) und Beckenkammer mit Pumpensumpf und Wirbeljet (rechts) 62
Abbildung 37: Übersicht über die Ganglinien innerhalb eines gesamten Jahres 62
Abbildung 38: Übersichtsplan des Regenüberlaufbeckens und des nachgeschalteten Retentionsbodenfilters mit Angabe des Stauziels 64
Abbildung 39: Ultraschallsonden Klärüberlauf der Vorstufe: Überwachung des Wasserstands in der Speicherkammer (links) und im Bodenfilter (rechts) 65
Abbildung 40: Übersicht über die Ganglinien über mehrere Monate 65

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Beispielhafte Auflistung wichtiger Metadaten des RÜB „Beispielbecken“ 11

Tabelle 2: Möglichkeiten der Energieversorgung, Datenspeicherung und -übertragung für Wasserstandsmessungen an Regenbecken 17

Tabelle 3: Zusammenfassende praktische Hinweise zur Positionierung der Messgeräte 23

Tabelle 4: Überblick über häufig verwendete Messsysteme zur Wasserstands-messung in abwassertechnischen Anlagen (weitere Hinweise sind im Merkblatt DWA-M 181 (2011) zu finden) ... 24

Tabelle 5: Grundlegende Hinweise zur Installation von Wasserstandsmessgeräten (weitere Hinweise sind im Merkblatt DWA-M 181 (2011) zu finden) 25

Tabelle 6: Zusammenfassung des Messkonzeptes für das RÜB „Beispielbecken“ 27

Tabelle 7: Messkonzept in Abhängigkeit von Bauwerkstyp und Bauwerksanordnung: Stauraumkanal mit untenliegender Entlastung im Hauptschluss 41

Tabelle 8: Messkonzept in Abhängigkeit von Bauwerkstyp und Bauwerksanordnung: Stauraumkanal mit obenliegender Entlastung im Hauptschluss 42

Tabelle 9: Messkonzept in Abhängigkeit von Bauwerkstyp und Bauwerksanordnung: Fangbecken im Hauptschluss 43

Tabelle 10: Messkonzept in Abhängigkeit von Bauwerkstyp und Bauwerksanordnung: Fangbecken im Nebenschluss 44

Tabelle 11: Messkonzept in Abhängigkeit von Bauwerkstyp und Bauwerksanordnung: Durchlaufbecken im Hauptschluss 45

Tabelle 12: Messkonzept in Abhängigkeit von Bauwerkstyp und Bauwerksanordnung: Durchlaufbecken im Nebenschluss 46

1 Erarbeitung eines Messkonzeptes und Überwachung des Messbetriebes

Um geeignete Voraussetzungen für die Erhebung von belastbaren Datenreihen an entwässerungstechnischen Anlagen sicherzustellen, ist eine ordnungsgemäße Auswahl, Installation und Wartung der Messstellen, u. a. gemäß Merkblatt DWA-M 181 (2011), zwingend notwendig. Besonderes Augenmerk ist zusätzlich auf die Dokumentation der eingerichteten Messstellen und der Bauwerkskenndaten (als Teil der Metadaten) zu legen. Abbildung 1 fasst die einzelnen Aspekte, die bei der Erarbeitung eines Messkonzeptes eine wichtige Rolle spielen, zusammen.

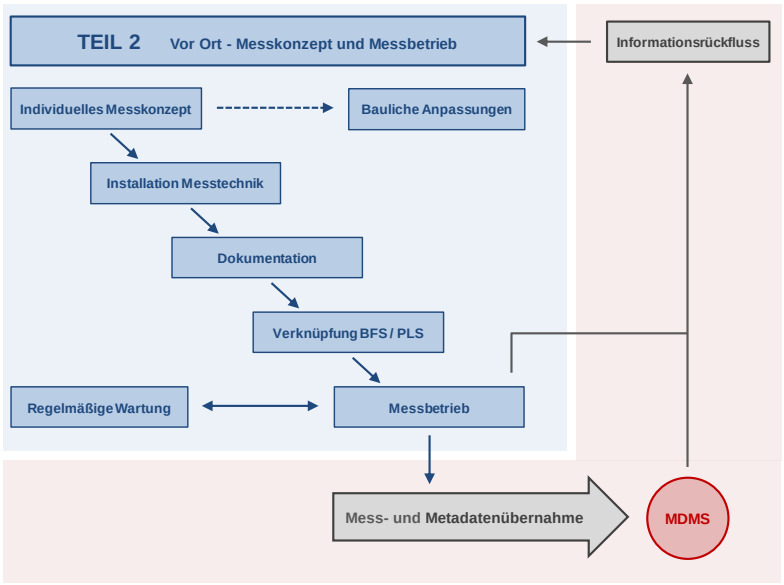


Abbildung 1: Erarbeitung eines durchgängigen Messkonzeptes

Einer der wichtigsten Grundbausteine für eine erfolgreiche Bauwerksüberwachung ist die Erarbeitung eines durchgängigen Messkonzeptes. In Abhängigkeit von der Bauwerksausführung sind verschiedene Messaufgaben, wie das Einstau- und Entlastungsverhalten und gegebenenfalls die Weiterleitungsmenge zur Kläranlage, zu ermitteln. Die dazu erforderliche Anzahl und Position der Messgeräte sowie die notwendigen Messverfahren zur Erfassung der Messgrößen Wasserstand und Durchfluss sind individuell festzulegen. Bevor das Messkonzept umgesetzt werden kann, sind die hydraulischen Randbedingungen des jeweiligen Bauwerks zu überprüfen und gegebenenfalls durch betriebliche oder bauliche Maßnahmen anzupassen.

Die aufgezeichneten Daten der Messgeräte können anschließend in ein Prozessleitsystem (PLS) integriert werden, über welches der Messbetrieb und somit das Betriebsverhalten „online“ überwacht und begleitet werden kann.

Für die Plausibilisierung, Korrektur und Auswertung der erhobenen Messdaten und eine abschließende Berichtserstellung sind diese regelmäßig und zeitnah in das Messdatenmanagementsystem (MDMS) zu übergeben (siehe auch Merkblatt DWA-M 151, 2014).

2 Individuelles Messkonzept

Der Durchfluss in Kanalisationen und in den integrierten Regenbecken ist in Abhängigkeit von unterschiedlichen Belastungsfällen, wie den Witterungsverhältnissen, extrem variabel. Es müssen sowohl geringe Volumenströme bei Trockenwetter als auch stark turbulente Abflüsse bei Regenereignissen, die den Trockenwetterabfluss um ein Vielfaches übersteigen können, zuverlässig abgeführt werden (Arbeitsblatt ATV-A 128, 1992). Die Überwachung und Aufzeichnung des Wasserstands sowie der Entlastungsmenge bei Regenbecken stellt daher aufgrund der hydraulisch komplexen Randbedingungen eine besondere Herausforderung dar.
Die individuelle bauliche Ausführung, der Zustand und die technische Ausstattung eines jeden Regenbeckens fordern ein ebenso individuelles Messkonzept. Dieses Konzept, meist bestehend aus mehreren Messeinrichtungen, welchen unterschiedliche Messaufgaben zugewiesen sind, bildet den Grundstein für die Erhebung verlässlicher, möglichst realitätsnaher Messdaten. Auf Basis der folgenden Grundsteine kann ein umfassendes Messkonzept erarbeitet werden:

Grundsteine für die Erarbeitung eines Messkonzeptes

1. Messaufgaben im Bauwerk
   (Überwachung von Einstau, Entlastung, Abfluss zur Kläranlage…)
2. Hydraulische Randbedingungen
   (notwendige betriebliche oder bauliche Anpassungen)
3. Energieversorgung und Datenübertragung
4. Zugänglichkeit des Bauwerks

Anhand der gesammelten Informationen erfolgt anschließend die Messstellenauswahl und deren Gestaltung:

Gestaltung der einzelnen Messstellen

1. Anzahl der Messstellen
2. Positionierung der Messstellen
3. Wahl des Messverfahrens und -gerätes je Messstelle

Messeinrichtungen innerhalb des Bauwerks übernehmen bestimmte Aufgaben und sind dahingehend zu planen: Messgeräte, die eine Steuerungsfunktion (Pumpen, Schieber) übernehmen, sind hinsichtlich Messausfall besonders zu sichern, wohingegen bei Messgeräten, die das Entlastungsvolumen ermitteln, die Messgenauigkeit im Mittelpunkt steht.
Hinweise und Hilfestellungen für die Erarbeitung eines individuellen Konzeptes werden in Anlehnung an das Merkblatt DWA-M 181 (2011) in den folgenden Kapiteln 2.1 und 2.2 gegeben.

Die konstruktive Gestaltung und der bauliche Zustand der Bauwerke bestimmen maßgeblich die Herangehensweise für die Erarbeitung eines Messkonzeptes.

Messkonzepte für Bauwerke in der Planung/Neubau

Die messtechnische Ausrüstung ist bereits in der Planungsphase eines neuen Beckens zu berücksichtigen. Einfache Geometrien sowie klare und günstige hydraulische Bedingungen bilden das Fundament für eine optimale Anordnung der Messtechnik und für die Erhebung verlässlicher Messdaten.

Die messfreundliche Gestaltung eines Bauwerks fordert eine frühzeitige Zusammenarbeit zwischen Betreiber, Planer und Ausrüster. Auch das Betriebspersonal sollte in die Planung einbezogen werden, um u. a. eine effiziente Unterhaltung im Messbetrieb gewährleisten zu können.

Messkonzepte für Bauwerke im Bestand

Als Grundlage sind Bauwerkspläne, Betriebsanleitungen, Genehmigungen, Erlaubnisse und Verfahrensbeschreibungen zusammenzutragen und im Rahmen von Ortsbegehungen mit der Örtlichkeit zu vergleichen. Bereits installierte Messeinrichtungen sind aufzunehmen und einer Funktionsprüfung zu unterziehen. Dabei sind oftmals Ergänzungen, wie Nivellements oder Vermessungen, und unabhängige Vergleichsmessungen durchzuführen, wenn diese nicht aktuell vorliegen.

Zusätzlich sind die hydraulischen Randbedingungen für die Überwachung des Einstau- und Entlastungsverhaltens zu überprüfen. Hierbei sollte insbesondere auf die Gestaltung der Entlastungsschwelle und den Zustand der Schwellenoberkante geachtet werden. Gegebenenfalls sind Anpassungen, wie die Begradigung der Entlastungsschwelle und die hydraulischen Bedingungen im Entlastungsfall, notwendig.

Abschließend ist sicherzustellen, dass das Bauwerk gemäß den allgemein anerkannten Regeln der Technik ausgestattet und betrieben wird, zum Beispiel durch eine Sicherstellung der Funktionstüchtigkeit der Drossel (Arbeitsblatt DWA-A 166, 2013). Diese kann unter anderem mit Hilfe einer Drosselkalibrierung sichergestellt werden. Für diese Bewertung können z. T. auch bereits vorhandene Messungen und deren Messdaten verwendet werden.

Stellen sich die hydraulischen Randbedingungen als ungenügend heraus, so kann das Entlastungsverhalten nur mit großen Unsicherheiten und/oder messtechnischem Aufwand überwacht werden oder es sind bauliche Anpassungen notwendig (siehe auch Kapitel 2.1.2).

Die Erstellung eines Messkonzeptes erfordert umfassende Kenntnisse zum Anlagenbetrieb sowie hydraulische und hydrometrische Kenntnisse des Personals. Je nach Umfang und Aufgabenstellung wird empfohlen, entsprechende Fachexperten hinzuzuziehen.

2.1 Grundsteine für die Erarbeitung eines Messkonzeptes

2.1.1 Messaufgaben im Bauwerk – Beispiele

Entsprechend der Forderung der Selbstüberwachungsverordnung Abwasser (SüwVO Abw) in NRW (vergl. Teil 1 der Handlungsempfehlung) sind die Messgrößen

- Einstauhäufigkeit und -dauer
- Entlastungshäufigkeit und -dauer sowie
- Entlastungsvolumen und
- gegebenenfalls die Weiterleitungsmenge zur Kläranlage

an Regenbecken auszuwerten. Die folgende Abbildung zeigt beispielhaft die überwachungsrelevanten Komponenten eines Regenüberlaufbeckens (RÜB „Beispielbecken“), welches als Durchlaufbecken im Nebenschluss betrieben wird (Abbildung 2).

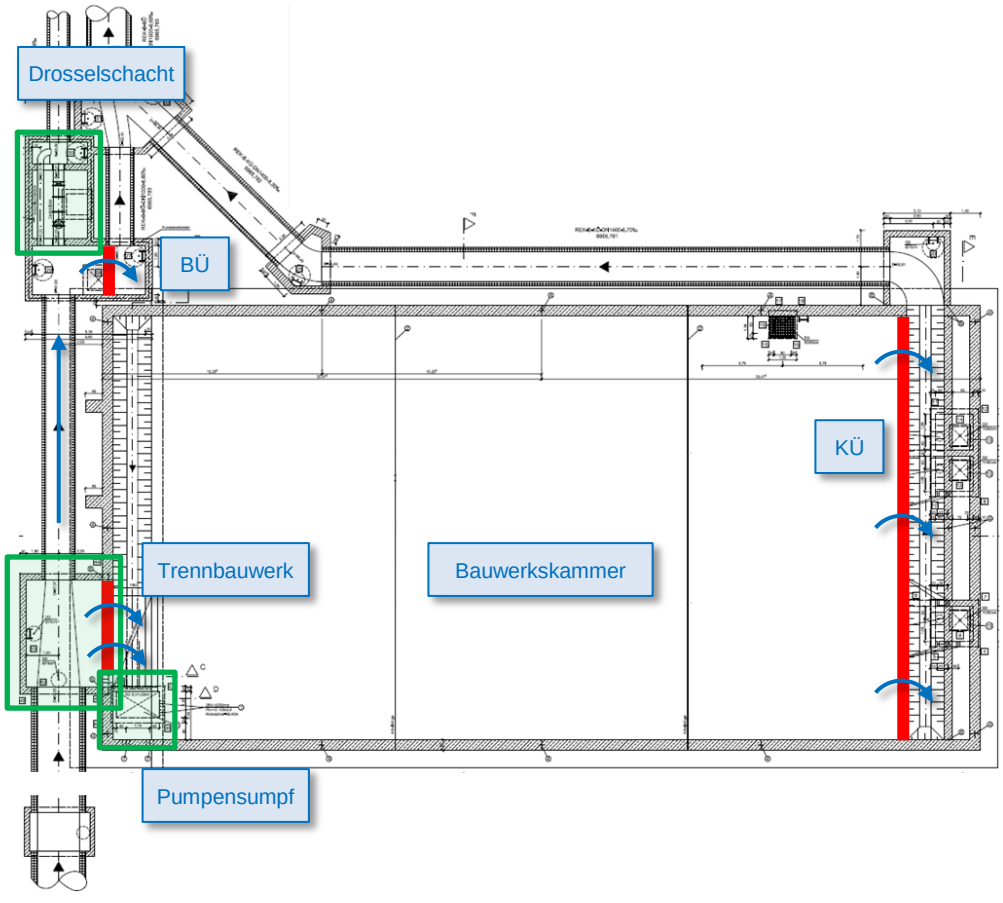


Abbildung 2: Überwachungsrelevante Komponenten des RÜB „Beispielbecken“

Tabelle 1 zeigt zusätzlich wichtige Metadaten des oben gezeigten RÜBs „Beispielbecken“.

Tabelle 1: Beispielhafte Auflistung wichtiger Metadaten des RÜB „Beispielbecken“

Metadaten Bauwerk				
Bauwerksname		Beispielbecken		
Bauwerkskennung/-ID (intern)		217		
Bauwerkstyp		Regenüberlaufbecken		
Anordnung und Beschickung		Durchlaufbecken im Nebenschluss		
Beckenform		geschlossenes, betoniertes Rechteckbecken		
Entwässerungssystem		Mischsystem		
Bauwerksvolumen [m³]		2.718		
Dauerstaubetrieb		Nein		
ELKA-Nummer [1]		n. v.		
ELKA-Bezeichnung [1]		n. v.		
Gewässer und -kennzahl [1]		n. v.		
Baujahr/Inbetriebnahme		1998		
Zugeordnete Niederschlagsstation		Beispielstation		
Kläranlage		Beispielkläranlage		
Lage	UTM Nordwert	5763287		
	UTM Ostwert	469416		
Drosselorgan	Art der Drossel	MID-geregelter Schieber		
	Bemessungsdruckhöhe [m]	–		
	Drosselabfluss [l/s]	422		
Mindestwasserstand (Einstaubeginn) [m]		0,30		
Metadaten Entlastung		**Klärüberlauf**	**Beckenüberlauf**	
Art der Schwelle		Feste Betonschwelle, vertikal überströmt	Klappenwehr, vertikal unterströmt	
Einmessung/ Parameter	Schwellenlänge [m]	19,8	2,3	
	Schwellenform	gerade	gerade	
	Schwellenhöhe [m ü. NHN] [2]	118,5 m ü. NHN	118,9 m ü. NHN	
	rel. Schwellenhöhe [m] [3]	5,5	5,9	
	Überfallbeiwert [-]	0,64	0,50	
Art der Tauchwand		aufschwimmbar	aufschwimmbar	
Metadaten Messtechnik [4]		**Sensor 1**	**Sensor 2**	**Sensor 3**
Sensortyp / -art				
Überwachungsgröße				
Messeinheit				
ZR-Name				
Austauschnummer (intern) [5]				
Messspanne				
Nullpunkt/Bezugspunkt				
Sondenposition				

[1] Daten aus ELKA
[2] Absolute Höhe der Schwelle in Meter ü. NHN
[3] Relative Höhe der Schwellen in Meter in Bezug zur Messeinheit
[4] Anzahl der Sensoren individuell je Bauwerk
[5] Verknüpfung zum Datenauswertungstool

Da das Bauwerk im Nebenschluss betrieben wird, erfolgt die Beschickung über eine Schwelle im Trennbauwerk. Über Pumpen, die sich im Pumpensumpf als tiefsten Punkt des Beckens befinden, wird die Beckenkammer nach einem Einstauereignis restentleert. Ferner wird der Abfluss zur Kläranlage durch einen MID-geregelten Schieber gedrosselt.

In Rücksprache mit der zuständigen Aufsichtsbehörde gilt es die folgenden Messaufgaben im RÜB „Beispielbecken“ zu erfüllen:

- Einstauverhalten im Trennbauwerk
- Einstauverhalten in der Beckenkammer
- Entlastungsverhalten am Klärüberlauf
- Entlastungsverhalten am Beckenüberlauf

Die Weiterleitungsmenge zur Kläranlage ist hier nach Absprache mit der Aufsichtsbehörde nicht zu überwachen. Abbildung 3 zeigt eine Übersicht über die genannten Messaufgaben im RÜB „Beispielbecken“.

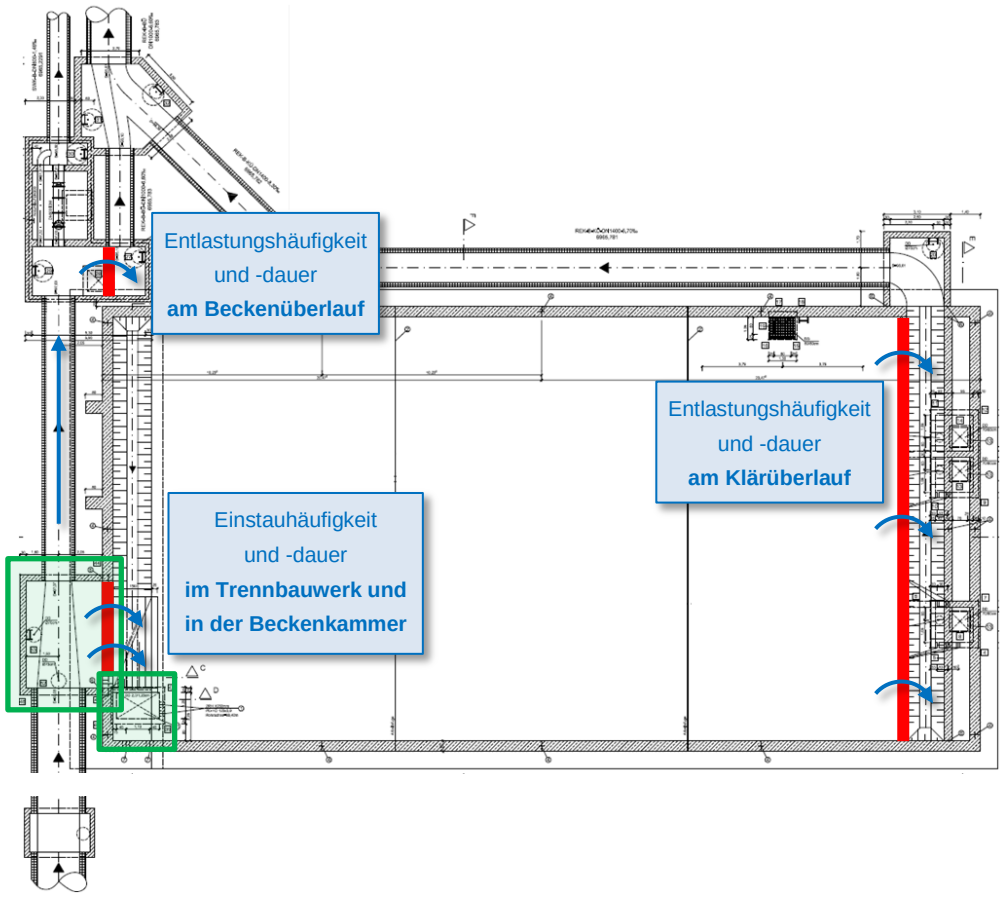


Abbildung 3: Messaufgaben im RÜB „Beispielbecken“ nach SüwVO Abw

Ist die Weiterleitungsmenge zur Kläranlage an einem Bauwerk nach Absprache mit der Aufsichtsbehörde messtechnisch zu erfassen und auszuwerten, so ist dies in der Regel an gedükerten MID-Strecken oder gegebenenfalls mithilfe anderer geeigneter Messeinrichtungen (Merkblatt DWA-M 181, 2011) mit vertretbarem Aufwand möglich.

2.1.2 Hydraulische Randbedingungen

Im Anschluss an die Definition der einzelnen Messaufgaben sind die hydraulischen Randbedingungen zu überprüfen, um geeignete Messpositionen in einem Bauwerk für die einzelnen Messeinrichtungen finden zu können.

Die Messaufgaben Entlastungshäufigkeit, -dauer und -volumen sind maßgeblich durch die Strömungsverhältnisse an den Entlastungsschwellen beeinflusst.
Häufigkeit und Dauer der Entlastungen können direkt über die gemessene Überfallhöhe $h_ü$ bestimmt werden. Das Entlastungsvolumen hingegen ist eine indirekte Größe, die mithilfe der hydraulischen Berechnungsformel nach Poleni (Entlastungsabfluss bei belüftetem Überfall) aus der Überfallhöhe, dem Überfallbeiwert und der Schwellenlänge berechnet werden muss, wenn der Abfluss nicht direkt gemessen werden kann. Abweichungen und Unsicherheiten bei der Aufzeichnung der Überfallhöhe an der Schwelle, wie beispielsweise durch undefinierte Anströmungsverhältnisse, Verwirbelungen oder Wasserspiegelschrägstellung, wirken sich signifikant auf das berechnete Volumen aus, da die entlastete Wassermenge überproportional zur Überfallhöhe ansteigt (Bayerisches Landesamt (2010), Arbeitsblatt DWA-A 111 (2010) und Merkblatt DWA-M 176 (2013)).

Die Überfallhöhe und der Überfallbeiwert sind die maßgeblichen, mit den größten Unsicherheiten behafteten Berechnungsgrößen. Auch eine Belüftung des Überfallstrahls an einem scharfkantigen Wehr dauerhaft hervorzurufen erweist sich meist als Herausforderung (Abbildung 4).

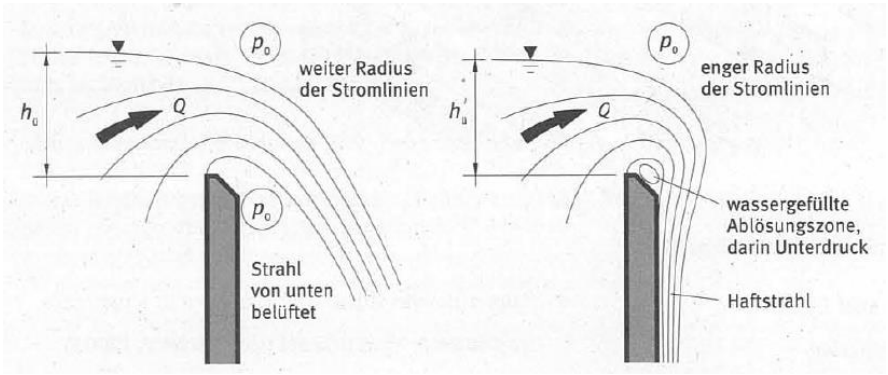


Abbildung 4: Belüfteter und unbelüfteter Überfallstrahl an einem scharfkantigen Wehr (aus Merkblatt DWA-M 181, 2011)

Um eine plausible und möglichst realitätsnahe Messung der Überfallhöhe und eine anschließende Berechnung des Überfallvolumens zu ermöglichen, sollte eine Entlastungsschwelle die folgenden „idealen“ Eigenschaften nach Arbeitsblatt DWA-A 111 (2010) aufweisen:

- Senkrechte Anströmung der Schwelle
- Kurze (< 10 Meter) und gerade Schwelle
- Waagerechte, durchgängige und scharfkantige Schwellenoberkante
- zum Beispiel aus Metall (Vermeidung von Korrosion)
- Eindeutig definierter Überfallbeiwert (ggf. Laborversuch)
- Belüfteter Überfallstrahl

Je deutlicher jedoch die bauliche Ausführung einer Schwelle von den genannten Anforderungen abweicht, desto ungenauer werden die nach Poleni berechneten Entlastungsvolumina.

In den vergangenen Jahrzehnten wurden viele Bauwerke geplant und erbaut, ohne dabei die Notwendigkeit einer messtechnischen Überwachung des Betriebs ausreichend zu berücksichtigen. Die im Arbeitsblatt DWA-A 111 (2010) empfohlene, „ideale“ Entlastungsschwelle ist daher meist nicht verbaut.

Eine bauliche Anpassung des Bauwerks kann jedoch mit erheblichem Aufwand verbunden sein. Daher sind im Folgenden einige Hinweise zu finden, die es ermöglichen, unter den baulichen Gegebenheiten mit größtmöglicher Genauigkeit „zu messen“ und darauf aufbauend das Entlastungsvolumen berechnen zu können.

Obligatorisch auszuführende Maßnahmen:

- Exakte Einmessung der Wasserstandsmessungen in Bezug auf Bauwerkssohle und Überlaufschwelle sowie Dokumentation der Ergebnisse und Kontrolle der Schwellenlänge(n)
- Prüfung und ggf. Anpassung der hydraulischen Berechnungsformel nach Poleni an die tatsächlichen baulichen Randbedingungen (beispielsweise Anpassung an ein Streichwehr und Dokumentation des Ergebnisses sowie Prüfung von Rückstaueinflüssen)
- Belüftung des Überfallstrahls/vollkommenen Überfall sicherstellen

Weitergehende Maßnahmen zur Sicherstellung belastbarer Ergebnisse:

- Anbringung eines speziellen Messprofils mit bekannter Q-h-Kennlinie
- Temporäre/stationäre Installation eines Durchflussmessgerätes im Entlastungskanal zur Ermittlung der entlasteten Wassermenge
- Zuverlässige Ermittlung der Überfallhöhe ggf. mittels mehrerer Wasserstandsmessgeräte
- Modelltechnische Ermittlung des Überfallbeiwerts im Wasserbaulabor (siehe auch Anhang im Teil 1 der Handlungsempfehlung)

- Zusätzliche Einzelnachweise durch CFD-Strömungssimulationen (Simulation von dreidimensionalen Strömungs- und Transportprozessen), die Aufschluss über die ausgebildeten Strömungen innerhalb des Bauwerks im Entlastungsfall geben.

Je nach Bedeutung der Einleitung für das Gewässer und der Ergebnisse der eingeleiteten Volumina sollten die o. g. Maßnahmen ausgewählt und umgesetzt werden. Neben einer komplexen hydraulischen Situation an der Entlastungsschwelle werden die Messbedingungen häufig durch die Ausrüstung der Bauwerke mit beweglichen Komponenten zusätzlich erschwert.

Die im Folgenden aufgelisteten Bauwerkselemente beeinflussen die messtechnischen Randbedingungen i. d. R. negativ oder erschweren die Auswertung in der Praxis. Sie müssen daher bei der Wahl des Messgerätetyps, der Messgeräteanzahl und deren Positionierung im Bauwerk und im Rahmen der Auswertung besonders berücksichtigt werden. Im Anhang A3 der vorliegenden Handlungsempfehlung sind Hilfestellungen zum Umgang mit den aufgeführten Komponenten im Hinblick auf die messtechnische Ausrüstung aufgeführt:

- Schwellenzustand und -form (Anhang A3.1)
  - Ungleichmäßige Schwellenform (Überfallbeiwert)
- Keine gleichmäßige senkrechte Anströmung (Anhang A3.2)
  - Streichwehre
  - Gekrümmte Schwellen
  - Sehr lange Schwellen (> 10 m)
  - Aus mehreren Segmenten bestehende Schwellen
  - Klärschlitze
- Regulierende Entlastungsorgane (Drehwinkelgeber) (Anhang A3.3)
- Tauchwände, Rechen und Siebe vor der Schwelle (Anhang A3.4)
- Rückstausicherungen (Anhang A3.5)
- Bauwerke mit mehreren Kammern (Anhang A3.6)

2.1.3 Energieversorgung und Datenübertragung

Im Rahmen des Messkonzeptes und der messtechnischen Ausrüstung sind auch die Energieversorgung und die Datenübertragung zu berücksichtigen. In der Regel können aktuell verfügbare Messgeräte je nach Anwendungsfall flexibel im Hinblick auf Energieversorgung, Datenspeicherung und -übertragung betrieben werden.

In urbanen Gebieten sollte an allen Bauwerken eine dauerhafte Energieversorgung zur Verfügung stehen. Ist dies jedoch nicht der Fall, wie beispielsweise in abgelegenen, ländlichen Gebieten, so können die installierten Messgeräte beispielsweise über einen internen Akku betrieben werden. Dieser muss in regelmäßigen Zeitabschnitten zuverlässig ausgetauscht werden, um eine durchgängige Messdatenaufzeichnung zu ermöglichen. Ferner können für den Messgerätebetrieb Photovoltaikmodule (PV-Module) verwendet werden.

Die Messdaten können auf verschiedenen Wegen auf den zentralen Server des Betreibers bzw. das Prozessleitsystem übertragen werden:

1. über direkte Telekommunikationsleitung
2. über Online-Datenfernübertragung (DFÜ)
3. durch manuelles Auslesen des lokalen Messgerätespeichers vor Ort

Besteht eine direkte Verbindung zwischen Messgeräten und Datenserver/PLS, so können die Bauwerke i. d. R. online überwacht werden. In den anderen Fällen erfolgt die Übertragung der Daten unabhängig vom Messzeitpunkt und ist durch den Betreiber festzulegen. Ein regelmäßiger, z. B. mindestens monatlicher Datentransfer minimiert das Risiko eines Datenverlustes, wenn Daten manuell übertragen werden.

Ist das Gerät an das PLS angeschlossen oder laufen die Daten über eine Online-Fernübertragung dort auf, wird der Zeitstempel des Messwerts i. d. R. mit der im PLS „hinterlegten“ Zeit abgeglichen.

Ist das Messgerät jedoch nicht mit einem PLS verbunden, so weisen die Geräte oft eine zeitliche Abweichung (Drift) auf, sodass der aufgezeichnete Zeitstempel regelmäßig überprüft und gegebenenfalls angepasst werden muss. Dies kann im Rahmen der Messgerätewartung durchgeführt werden. Auch eine mögliche zeitliche Verschiebung aufgrund der Umstellung von Sommer- und Winterzeit ist zu berücksichtigen und führt in der Praxis immer wieder zu erheblichen Aufwendungen für die Nachbearbeitung der Daten. Es wird empfohlen, grundsätzlich in autarken Messgeräten Winterzeit („Normalzeit“) zu hinterlegen und diese dauerhaft beizubehalten. Eine gegebenenfalls notwendige Anpassung von Winter- auf Sommerzeit sollte ausschließlich im Rahmen der Messdatenauswertung erfolgen.

Die folgende Tabelle fasst die verschiedenen Möglichkeiten, Wasserstandsmessungen in einem Bauwerk anzubinden und zu betreiben, zusammen.

Tabelle 2: Möglichkeiten der Energieversorgung, Datenspeicherung und -übertragung für Wasserstandsmessungen an Regenbecken

	Wasserstandsmessung				
Energie-versorgung	**dauerhafter Stromanschluss**			**Akkubetrieb / Solarbetrieb (PV-Modul)**	
Daten-speicherung	Lokaler Speicher	Prozessleitsystem		Lokaler Speicher	Prozess-leitsystem
	dezentral	zentral		dezentral	zentral
Daten-übertragung	manuell, gebündelt, punktuell	online per GPRS, zeitecht möglich	automatisiert per Kabel, kontinuierlich, zeitecht	manuell, gebündelt, punktuell	online per GPRS, zeitecht möglich
Messung	mobil, kurzzeitig	stationär, langfristig		(in der Regel) mobil, kurzzeitig	stationär, langfristig
Anwendungs-beispiel	Kurzzeitige redundante Messung zur Überprüfung der vorhandenen Messtechnik	Dauerhafte Betriebs-überwachung	Betriebs-überwachung und -steuerung, z. B. Pumpen-steuerung	Probebetrieb: Bewertung hydraulischer Verhältnisse	Dauerhafte Betriebs-überwachung

2.1.4 Zugänglichkeit des Bauwerks und der Messungen

Vor der genauen Bestimmung der Messgeräteanzahl und deren Position im Bauwerk sind die Zugänglichkeit des Bauwerkes und der einzelnen Bauwerkskomponenten zu prüfen bzw. sicherzustellen (u. a. Arbeitsblatt DWA-A 176). In urbanen Räumen sind diese häufig in geschlossener Bauweise ausgebildet und der Zugang befindet sich in öffentlichen (Verkehrs-) Räumen. Daher erfordert die messtechnische Ausrüstung von Bauwerken stets besondere Sicherheitsmaßnahmen und die Beachtung der entsprechenden aktuellen Unfallverhütungsvorschriften, wie u. a.:

- Die Sicherheit der Mitarbeiter ist zu gewährleisten
  (Berücksichtigung der arbeitssicherheitsrelevanten Belange)
- Sicherung gegen Absturz und Maßnahmen zu einer möglichen Rettung
- Die Vorgaben zum Explosionsschutz im umschlossenen Raum sind einzuhalten (Freimessen zum Schutz vor explosiblen oder giftigen Gasen)
- Die Zugänglichkeit zu einem Betriebshaus oder Schaltschrank
- Die Einbaubedingungen des Herstellers für die Messgeräte sind zu beachten
- Die Montageposition des Messgerätes muss eindeutig reproduzierbar sein

Bei der Wahl des Einbauortes sollte ferner berücksichtigt werden, dass die Messgeräte einer regelmäßigen Wartung und Kalibrierung unterzogen werden müssen. Es erhöht die Akzeptanz und die Bereitschaft zur erforderlichen Wartung und Betreuung von Messeinrichtungen deutlich, wenn diese schnell und ohne großen Vorbereitungsaufwand erreichbar und durch Inaugenscheinnahme überprüfbar sind. Ein beispielhaftes Protokoll zur Messgerätewartung ist im Anhang A6 zu finden.

2.2 Gestaltung der einzelnen Messstellen

2.2.1 Anzahl der Messstellen

Nachdem die Grundsteine des Messkonzeptes definiert beziehungsweise überprüft worden sind, kann anschließend die Anzahl der benötigten Messstellen festgelegt werden, um den Bauwerksbetrieb unter den gegebenen Voraussetzungen überwachen zu können.
Allgemein gilt: Es sollten nur so viele Sonden installiert werden, wie zur Erfüllung der Messaufgabe unbedingt erforderlich sind. Die Plausibilisierung verschiedener Messreihen ist anspruchsvoll und erfordert entsprechendes Fachwissen. In größeren Bauwerken ist die Installation mehrerer Messgeräte meist dennoch notwendig, um Einstau, Entlastung und die Weiterleitungsmenge zur Kläranlage zuverlässig messen zu können. Besonders wichtige Messungen sind ggf. redundant auszulegen.

Im Folgenden werden Ultraschall- und Radarmessungen unter dem Begriff „berührungslose Echolote“ zusammengefasst. Eine differenzierte Erläuterung zu den verschiedenen Messgerätetypen und deren Anwendungen erfolgt in Kapitel 2.2.3.

Die Wahl der Messgeräteanzahl innerhalb des Bauwerks ist maßgeblich abhängig von der angestrebten Genauigkeit der Messergebnisse sowie den Investitions- und Wartungskosten. Im Folgenden sind einige weiterführende Bauwerksgrößen aufgeführt, die als Entscheidungshilfen hinsichtlich der Messgeräteanzahl genutzt werden können:

Beckentiefe

- In sehr kleinen und flachen Bauwerken (< 3 Meter) können mit einem einzigen Messgerät sowohl der Einstau als auch die Entlastung des Bauwerks i. d. R. mit ausreichender Genauigkeit überwacht werden.
- In tieferen Bauwerken (> 3 Meter) ist es meist notwendig, separate Messungen für das Einstauverhalten (Messbereich über die gesamte Beckentiefe) und für das Entlastungsverhalten (Messbereich deckt nur die Überfallhöhe ab) zu installieren, um eine ausreichende Messgenauigkeit erreichen zu können.

Entfernung der einzelnen Bauwerkselemente

- Sind die einzelnen Bauwerkskomponenten, wie beispielsweise der Klärüberlauf und der Beckenüberlauf, weit voneinander entfernt (> 15 Meter) oder sogar durch eine Wand getrennt, so sollte die Überwachung durch je eine Messung je Bauwerkskomponente stattfinden. Über große Distanzen können sich Unterschiede infolge einer Wasserspiegelneigung von bis zu einigen Zentimetern einstellen.

Abbildung 5 zeigt ein zusätzliches Beispiel, in dem das Einstau- und Entlastungsverhalten des Bauwerks mit Hilfe von zwei Messungen überwacht werden sollte.

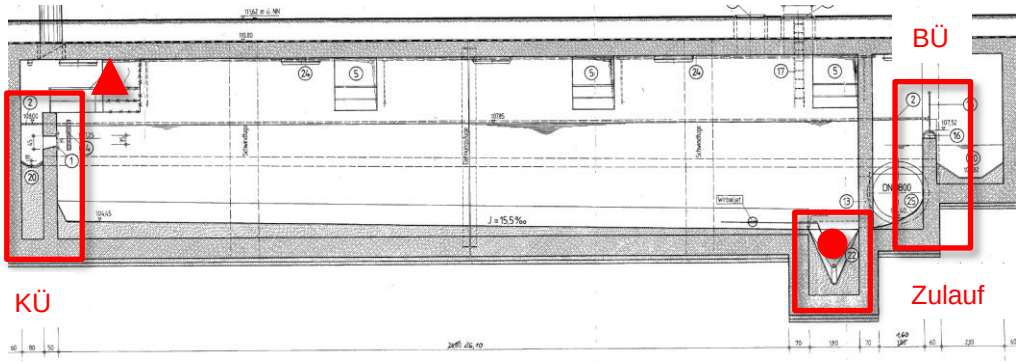


Abbildung 5: Beispielhafte Platzierung der Messgeräte (roter Kreis/Dreieck) zur Erfassung des Beckeneinstaus (Kreis rechts) und des Wasserstands an der Schwelle (Dreieck links), Distanz der Messungen rund 25 m; Beckentiefe > 3 m

Der Klärüberlauf liegt auf der gegenüberliegenden Seite des Beckenüberlaufs und des Pumpensumpfes (Distanz rund 25 Meter). Das Einstauverhalten sowie das Entlastungsverhalten des Beckenüberlaufes sollten mit Hilfe einer Drucksonde (roter Punkt) überwacht werden, während am Klärüberlauf separat ein berührungsloses Echolot (rotes Dreieck) installiert werden sollte.

Schwellenlänge

- Die Länge der Schwelle bestimmt maßgeblich die benötige Messgeräteanzahl. An einer kurzen Entlastungsschwelle mit einer Länge ≤ 7,5 Metern ist die Platzierung einer Messung in der Regel ausreichend. Ab einer Schwellenlänge von > 7,5 Metern wird die Einrichtung von zwei Messstellen empfohlen (siehe Anhang A3.2)

Mehrere Kammern

- Besteht das Bauwerk aus mehreren Kammern, so gilt es zu bewerten, ob es für eine vollständige und zuverlässige Bauwerksüberwachung notwendig ist, jeweils eine Messung pro Kammer zu betreiben (siehe Anhang A3.6)

Bauwerke im Nebenschluss

- Bauwerke im Nebenschluss werden in der Regel über ein Trennbauwerk mit Entlastungsschwelle beschickt. Stellt der Zulaufkanal zusätzliches aktivierbares Retentionsvolumen für das Bauwerk dar, so ist bereits im Trennbauwerk eine Sonde anzubringen, die den Einstaubeginn im Kanal überwacht.

2.2.2 Positionierung der Messstellen

Im Folgenden werden einige Entscheidungshilfen zur Positionierung in geeigneten Bauwerksbereichen in Abhängigkeit von der zu überwachenden Überwachungsgröße aufgeführt.

Überwachungsgröße Entlastung:

- Um die Entlastungsaktivität zuverlässig überwachen zu können, ist das Messgerät in direkter Nähe zur Entlastungsschwelle zu positionieren. Es ist jedoch zu beachten, dass sich der Wasserspiegel durch die Beschleunigung des Abflusses zur Entlastungsschwelle hin absenkt. Es sollte daher ein Mindestabstand von etwa 3 bis 4 $h_ü$ vor der Schwelle eingehalten werden (Abbildung 6). Tauchwände sind zu berücksichtigen, falls diese vorhanden sind (Anhang A3.4).

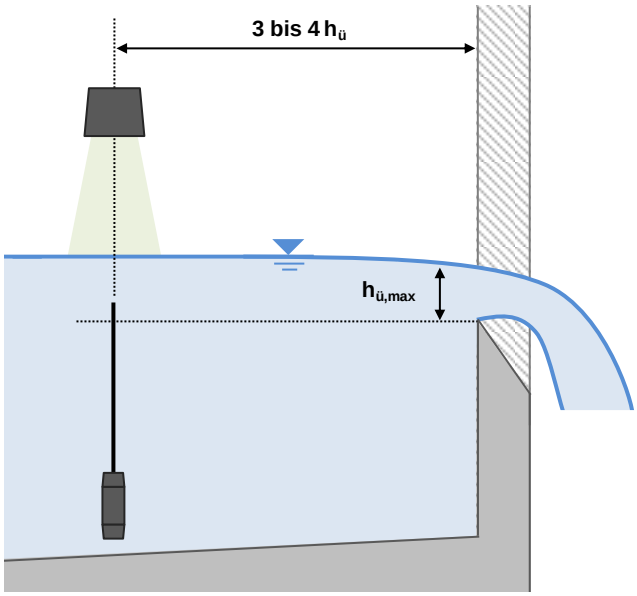


Abbildung 6: Lage der Wasserstandsmessung an Entlastungsschwellen (aus Merkblatt DWA-M 181, 2011)

- Eine Positionierung eines berührungslosen Echolots unmittelbar oberhalb der Schwellenoberkante wird nicht empfohlen (Vermeidung von diskontinuierlichen Messreihen).
- Eine Drucksonde sollte an der angrenzenden Wand der Schwelle in einem Hüllrohr installiert und die Neigung des Wasserspiegels berücksichtigt werden (Abbildung 7).

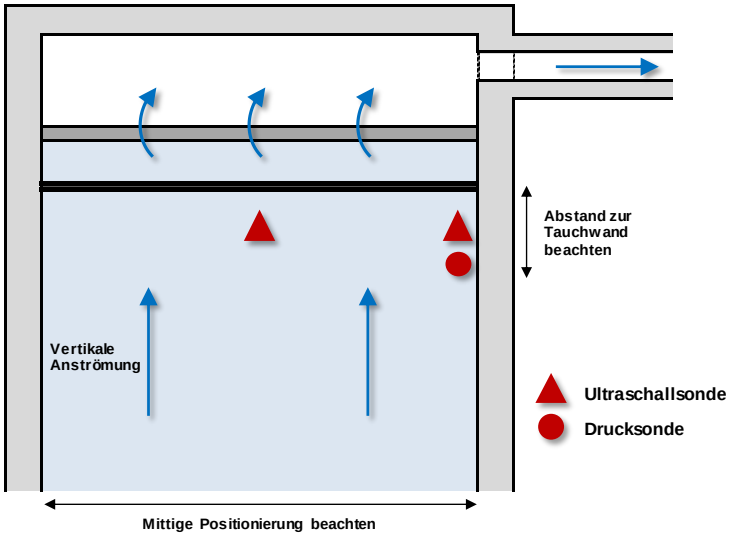


Abbildung 7: Mögliche Montageposition an einem vertikal angeströmten Klärüberlauf (nach Bayerischem Landesamt, 2001)

- Wird ein berührungsloses Echolot verwendet, so sollte dieses mittig vor dem Wehr unter der Decke angebracht werden (Abbildung 8).

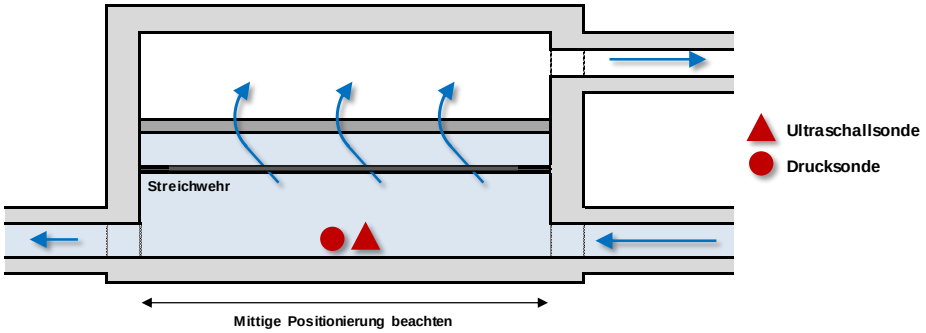


Abbildung 8: Mögliche Position eines berührungslosen Echolotes (Dreieck) und einer Drucksonde an einem Streichwehr (Bayerisches Landesamt, 2001)

- Ist das Entlastungsvolumen von großer Bedeutung, so besteht ggf. die Möglichkeit, eine Durchflussmessung im Entlastungskanal zu installieren. Hier ist allerdings auf Rückstau aus dem Gewässer und eine ausreichende Länge des Kanals zur Beruhigung des Volumenstromes zu achten (Arbeitsblatt DWA-A 166, 2013).

Überwachungsgröße Einstau:

- Die Messsonde ist außerhalb von Bereichen, die zu einer Verfälschung der Wasserspiegellage führen können, zu positionieren. Dazu gehören Verengungen, deutliche Gefälleveränderungen oder Abstürze, die zu schießenden Abflüssen oder Verwirbelung führen können. Unterschiedliche Fließgeschwindigkeiten in gekrümmten Ablaufkanälen können zusätzlich die Gefahr der Ablagerung von Sediment erhöhen, die als Beckenfüllung interpretiert werden können.
- Zur Überwachung des Beckeneinstaus sollte der tiefste Punkt im Bauwerk für die Positionierung der Sonde genutzt werden:
    - Bauwerke im Hauptschluss weisen häufig eine Trockenwetterrinne auf, die den tiefsten Punkt im Becken darstellt. Um alle Wasserstände aufzeichnen zu können (auch bei Trockenwetter), bietet es sich an, die Sonde oberhalb der Rinne zu platzieren (berührungslose Echolote).
    - Bauwerke im Nebenschluss werden meist über Pumpen restentleert. Somit ist der Pumpensumpf der tiefste Punkt im Bauwerk, an dem über eine Drucksonde der Wasserstand aufgezeichnet werden kann. Zusätzlich wird diese Messung meist für die Pumpensteuerung verwendet.

Offene und geschlossene Bauwerke:

- In geschlossenen Bauwerken können berührungslose Echolote auf einfache Weise unter der Decke mittig an der Entlastungsschwelle platziert werden. Dies ermöglicht eine platzsparende, lotrechte Ausrichtung des Gerätes.
- Bei offenen Becken sind die Messgeräte in der Regel an der Bauwerkswand zu befestigen.

Blockdistanz

- Die Blockdistanz von berührungslosen Echoloten (Bereich, in dem keine Impulse empfangen werden können, da der Reflexionsweg von der Oberfläche des Mediums zu kurz ist) muss bei der Positionierung dieser Geräte beachtet werden. Diese variiert in Abhängigkeit vom Messgerätetyp und -hersteller in der Regel zwischen 10 und 50 cm.

Energieversorgung und Datenübertragung

- Die Position der Messgeräte muss eine Anbindung an die Versorgungs- und Übertragungsnetze (GPRS-Empfang für mobile, temporär verbaute Geräte) ermöglichen.

Tabelle 3 zeigt zusammenfassend wichtige Aspekte für die Auswahl der Messgeräteposition im Bauwerk. Weitere Hilfestellungen zur Positionierung der Wasserstandsmessgeräte können im Anhang A1 eingesehen werden.

Tabelle 3: Zusammenfassende praktische Hinweise zur Positionierung der Messgeräte

Drucksonde	**Ultraschallsonde/Radarsonde**
Verzopfungen durch Verwendung von Hüllrohren minimieren	Starke Verwirbelungen an der Oberfläche vermeiden
Verschlammung der Sohle ausschließen	
Einfachen Zugang zum Messgerät für Wartungszwecke gewährleisten	
Direkte räumliche Nähe zum zu überwachenden Bauwerkselement suchen	
Platzierung zwischen Tauchwand und Schwelle vermeiden	
Platzierung hinter der Schwelle ausschließen	
Reproduzierbarkeit der Montageposition	
Schwellenabstand von 3 bis 4 x $h_ü$ gewährleisten Neigung des Wasserspiegels beachten	

Im Anhang A2 sind verschiedene Beispiele für gelungene Messgeräteinstallationen (Echolote und Drucksonden) aufgeführt.

2.2.3 Wahl des Messgerätes

In der folgenden Übersicht werden wichtige Messgerätetypen, die sowohl für temporäre Messungen als auch für die Einrichtung einer Dauermessstelle geeignet sind, tabellarisch aufgeführt und Anwendungsempfehlungen vorgestellt (Tabelle 4). Hydraulische und messtechnische Grundlagen werden im Merkblatt DWA-M 181 (2011) genauer beschrieben.

Tabelle 4: Überblick über häufig verwendete Messsysteme zur Wasserstandsmessung in abwassertechnischen Anlagen (weitere Hinweise sind im Merkblatt DWA-M 181 (2011) zu finden)

Messsystem	**Drucksonde**	**Berührungslose Ultraschallsonde**	**Berührungslose Radarsonde**
Messgröße	Hydrostatischer Druck (anstehende Wassersäule)	Abstand zwischen Sensor und Wasserspiegel	Abstand zwischen Sensor und Wasserspiegel
Messverfahren	Druckempfindliche Membran, misst kapazitiv den hydrostatischen Druck	Akustisches Echolot, misst Laufzeit des Ultraschallsignals zwischen Sensorkopf und Wasserspiegel	Laufzeit elektromagnetischer Wellen in hohen Frequenzen zwischen Sensorkopf und Wasserspiegel
Position	Messsonde im Medium, Montage i. d. R kurz über Sohlhöhe oder im Pumpensumpf	Berührungslos, oberhalb des Wasserspiegels, indirektes Verfahren	Berührungslos, oberhalb des Wasserspiegels, indirektes Verfahren
Anwendungsbeispiel	Überwachung von Einstau in der Beckenkammer, im Pumpensumpf	Überwachung von Einstau, Messung des Entlastungsverhaltens, Überfallhöhe an der Schwelle	Messung des Entlastungsverhaltens, Überfallhöhe an der Schwelle
Befestigung	feste Kabelverschraubung an Bauwerkswandung, Montage im Hüllrohr	Kragarm aus Edelstahl, mit Wasserwaage oder an Bauwerksdecke ausrichten	Kragarm aus Edelstahl, mit Wasserwaage oder an Bauwerksdecke ausrichten
Mögliche Fehlerquellen	Driftanfälligkeit, Fehlmessung der Messeinrichtung bei starker Sedimentierung, seitliche Anströmung der Messsonde, Verzopfung durch Schwimmstoffe	Fehlmessung durch Temperatureffekte, Fettbildung, Schaum-/Schwimmstoffe, Wellenbildung/Turbulenzen an der Wasseroberfläche	Fehlmessung durch Wellenbildung/Turbulenzen an der Wasseroberfläche, Störung durch Schaum-/Schwimmstoffe möglich, jedoch eher selten

Redundante Messung

Für eine zusätzliche Überwachung des Entlastungsverhaltens eines Bauwerks kann eine technisch einfache, redundante Messung installiert werden. Dabei handelt es sich z. B. um eine konduktive Zweistabelektrode, die für die Ausgabe der Zustände „trocken“ und „nass“ (Binärcode) auf Höhe der Entlastungsschwelle angebracht wird. Auf diese Weise lassen sich sehr eindeutig und zuverlässig der Beginn und das Ende eines Entlastungereignisses detektieren und mit den Messdaten aus der Füllstands- und Entlastungsmengenmessung abgleichen. Auskunft über das entlastete Volumen kann mithilfe dieser Messung jedoch nicht gegeben werden.

In der folgenden Tabelle sind grundlegende Hinweise aufgeführt, die bei der Auswahl und Installation der verschiedenen Messgerätetypen zu berücksichtigen sind. Die vorgestellten Messgeräte sind ferner in Abbildung 9 sowie in Anhang A2 dargestellt.

Tabelle 5: Grundlegende Hinweise zur Installation von Wasserstandsmessgeräten (weitere Hinweise sind im Merkblatt DWA-M 181 (2011) zu finden)

Berührungslose Ultraschallsonde / Radarsonde	**Drucksonde**
Lotrechte Aufhängung	Installation innerhalb eines Hüllrohrs
Schallkeule frei von Leitern/Rohren/Bewuchs halten	Reproduzierbare Aufhängung
Aufschäumungen/Fettspiegel auf der Oberfläche unterhalb des Sensors vermeiden	Möglichst nah an der Beckensohle oder im Pumpensumpf positionieren (verkürzt „blinde“ Trockenwetterphasen)
Blockdistanz einhalten	–
Sonnenschutz anbringen (Ultraschallsonde)	–

Abbildung 9: Messgeräteauswahl und deren Befestigung: Ultraschallsonde an einem Notüberlauf (links oben, Sonnenschutz fehlt), Befestigung einer Drucksonde (oben rechts), Zweistabsonde an einem Beckenüberlauf (unten links), Radarsonde in einer Beckenkammer (rechts unten).

Messbereich

Zu Beginn der Geräteinstallation muss festgelegt werden, welchen Messbereich die Sonde im Bauwerk abdecken soll. Um das Einstauverhalten eines Bauwerks aufzeichnen zu können, muss die installierte Sonde den gesamten Wasserstandsbereich bei Trockenwetter bis hin zu extremen Niederschlagsereignissen, also zum maximal erwarteten Wasserstand, abdecken. Die Messbereiche der Messsonden unterscheiden sich dabei z. T. erheblich und müssen jeweils auf den Einsatzbereich abgestimmt und konfiguriert sein. Bei tiefen Becken sind Sonden mit entsprechend großen Messbereichen zu wählen. Bei einer reinen Entlastungsmengenmessung kann ein Messbereich von ca. 0,1 m bis 3 m ausreichen, da eine Überfallhöhe größer 3 m eher nicht zu erwarten ist. Eine Sonde mit einem deutlich größeren Messbereich sollte hier nicht zum Einsatz kommen, da dies i. d. R. zu einer größeren Messunsicherheit führt. Zudem ist zu beachten, dass bei großen Messbereichen die Auflösung der Messdaten tendenziell gröber wird.

Nullpunkt

Eine plausible Auswertung der aufgezeichneten Messwerte fordert eine eindeutige Definition eines Messgerätenullpunktes, der in Bezug zum Bauwerk gesetzt werden muss. Die Schwellenhöhe, die in Planunterlagen angegeben ist, ist für die Datenauswertung nicht geeignet, da sich diese Angabe in der Regel auf die Beckensohle bezieht (Abbildung 10, Punkt 1).

- Nullpunkt eines Echolots: Die Fläche unterhalb des Messgerätes sollte möglichst glatt (keine Steine oder Bewuchs, weitgehend ablagerungsfrei) und horizontal sein. Den Nullpunkt kann, muss jedoch nicht zwangsläufig die Beckensohle darstellen. Dieser kann auch mit Hilfe eines waagerechten Referenzblechs fixiert werden.
- Nullpunkt einer Drucksonde: Die Lage der Membran innerhalb des Messwertaufnehmers bestimmt den Nullpunkt der Sonde.

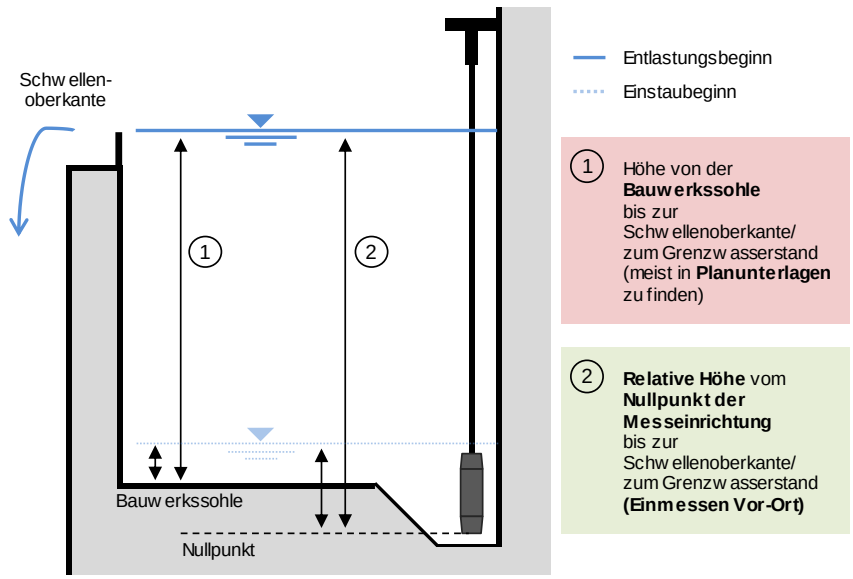


Abbildung 10: Schwellenoberkante in Bezug zur Bauwerkssohle und zum Nullpunkt einer Drucksonde

Die relative Schwellenhöhe von der Oberkante der Entlastungsschwelle zum Nullpunkt des Messgerätes ist sorgsam zu bestimmen (Abbildung 10, Punkt 2). Die Definition der Schwellenhöhe in Bezug zur Sonde stellt einen bedeutenden Grundstein für eine erfolgreiche und belastbare Datenauswertung dar. Weitere Hilfestellungen zur Bestimmung der relativen Schwellenhöhe sind in Anhang A6 zu finden.

Der Mindestwasserstand bei Einstaubeginn sollte nicht über die Platzierung einer Drucksonde und somit nicht über deren Nullpunkt definiert werden. Wird eine Drucksonde deutlich oberhalb der Beckensohle installiert, so kann das Betriebsverhalten eines Bauwerks bei Trockenwetter nicht überwacht und beurteilt werden. Während dieser Phasen ist das Messgerät „blind“: Die so entstehenden Datenlücken schränken die Plausibilisierung der aufgezeichneten Daten deutlich ein. Der Nullpunkt einer Drucksonde sollte sich nach Möglichkeit in der Nähe der Beckensohle befinden. Typischerweise werden Drucksonden zur Pumpensteuerung verwendet und liefern gleichzeitig Daten für das Einstauverhalten eines Beckens. Deren Nullpunkt befindet sich dann im Pumpensumpf, also unterhalb der Beckensohle. Hier ist die relative Höhe zwischen Nullpunkt der Sonde und Beckensohle zu bestimmen.

Nachfolgend werden die Anzahl, der Typ und die Positionierung der Messgeräte für das RÜB „Beispielbecken“ in Tabelle 6 und Abbildung 11 dargestellt. Die folgenden Aspekte sind für das gewählte Messkonzept von zentraler Bedeutung:

- Das Bauwerk besitzt einen Klär- und einen Beckenüberlauf, die räumlich voneinander getrennt sind. Hieraus resultieren zwei separate Messungen für die Überwachung der Entlastunghäufigkeit.
- Aufgrund der Bauwerksgröße (weite Entfernung der Bauwerkskomponenten) werden der Beckeneinstau und die Entlastung am Klärüberlauf separat voneinander überwacht.
- Aufgrund der Verwendung einer unterströmten Klappe am Beckenüberlauf findet die Überwachung hier mithilfe eines Drehwinkelgebers statt.
- Die Entlastungsschwelle am Klärüberlauf weist eine Länge von fast 20 Metern auf. Es wurden zwei Ultraschallsonden an der Bauwerksdecke installiert.

Tabelle 6: Zusammenfassung des Messkonzeptes für das RÜB „Beispielbecken“

Beckentyp / Anordnung	**Bauwerkskomponente**	**Überwachungsgröße**	**Messgerät**
Durchlaufbecken	Klärüberlauf	Entlastungsverhalten	Ultraschallsonde
	Beckenüberlauf	Entlastungsverhalten	Drehwinkelgeber
Nebenschluss (Mischwasser wird am Bauwerk vorbeigeführt)	Pumpensumpf zur Restentleerung	Einstauverhalten	Drucksonde
	Trennbauwerk	Überlauf ins Bauwerk (Einstau des Kanals)	Drucksonde (oder Echolot)

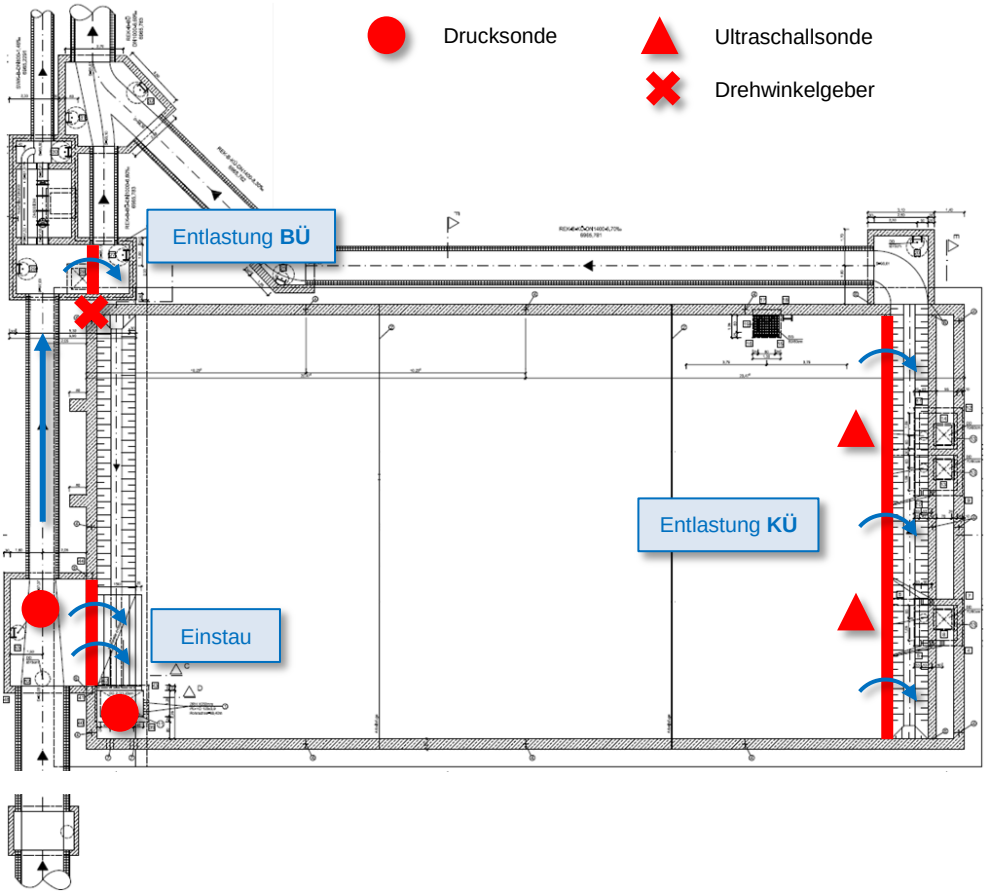


Abbildung 11: Beispielhaftes Messkonzept im RÜB „Beispielbecken“

2.2.4 Hinweise zur Datenaufzeichnung vor Ort

Probebetrieb
Wird eine neue Messeinrichtung installiert, so ist mit dem Beginn der Aufzeichnungen ein Probebetrieb durchzuführen, in dem die hinterlegten Parameter, wie beispielweise der Messbereich, überprüft werden. Des Weiteren muss die gesamte Messkette (siehe auch Kapitel 4 und 5.1) kontrolliert werden (idealerweise durch Vergleichsmessungen), um eine einwandfreie Übertragung der vor Ort erhobenen Messdaten bis zur Verarbeitung im Messdatenmanagement garantieren zu können.

Datenspeicherung
Die Messwertaufnehmer der Sensoren vor Ort speichern die aufgenommenen Datenreihen entweder dezentral auf lokalen Speichern im Messgerät selbst oder in einem angeschlossenen Datenlogger ab. Idealerweise werden die Daten an einen zentralen Server/PLS (online) übertragen.

Aufzeichnungsintervall
Der Wasserspiegel in einem Bauwerk kann im Niederschlagsfall sehr schnell ansteigen. Das Aufzeichnungsintervall zur Überwachung von Wasserständen sollte daher im Idealfall eine Minute (oder kürzer) betragen. Hierbei stellen inzwischen weder der interne Speicher moderner Messgeräte noch die Archivierung der erhobenen Daten einen limitierenden Faktor dar. Werden Messdaten in größeren Intervallen aufgezeichnet, wie beispielsweise in einem 15-Minuten-Intervall, so besteht eine hohe Wahrscheinlichkeit, dass Einstau- und Entlastungsereignisse nicht oder nur unzureichend erfasst werden.
Alle Messgeräte sollten durchgängig in äquidistanten Zeitschritten aufzeichnen. Dies bedeutet, dass auch in längeren Trockenwetterperioden unverändert fortlaufend gemessen wird. Ausschließlich äquidistante Messreihen können anschließend auf Konsistenz überprüft werden und ermöglichen eine zuverlässige Datenauswertung.

Die Aufzeichnung (abschnittsweise) nicht äquidistanter Messreihen sollte lediglich bei akkubetriebenen, mobilen Messgeräten mit geringer Akkukapazität erfolgen.

Hier empfiehlt sich eine ereignisabhängige Datenaufzeichnung, bei der in regelmäßigen, verhältnismäßig großen Zyklen (z. B. eine Stunde) eine Messung erfolgt und der Messwert geloggt wird. Innerhalb des Zykluszeitraums erfolgen weitere Messungen, die aber nicht registriert werden. Erst bei Überschreiten eines vordefinierten Grenzwerts erfolgt die Aufzeichnung der Messdaten in einem deutlich kürzeren Zyklus von z. B. einer Minute. Diese Art der Aufzeichnung ermöglicht einen effizienteren Energieverbrauch als bei kontinuierlich aufzeichnenden Messgeräten. Gleichzeitig kann der Gerätebetrieb jederzeit überprüft werden.

Von der Verwendung des „klassischen Delta-Event-Verfahrens“, bei dem nur durch das Übersteigen eines gesetzten Schwellenwertes Messdaten in einem definierten Zeitschritt aufgezeichnet werden, wird gänzlich abgeraten. Bei dieser Einstellung können zum Teil tagelange „Datenlücken“ entstehen, da unterhalb des gesetzten Schwellenwertes keine Daten aufgezeichnet werden. Es kann nicht geprüft werden, ob es sich um einen Gerätedefekt handelt oder ob es tatsächlich zu keiner Überschreitung des Schwellenwertes kam.

Dämpfung/Glättung/Mittelwertbildung

Die ausgegebenen Messergebnisse können einer Dämpfung unterzogen werden. Dabei werden die aufgenommenen Messergebnisse über ein zuvor eingestelltes Intervall gemittelt und erst dann abgespeichert. Die Rohdaten werden bereits vor der Ausspielung geglättet und Ausreißer eliminiert. Je größer das eingestellte Intervall, desto mehr Detailinformationen gehen verloren, die nicht mehr wiederhergestellt werden können. Ein möglichst kleines Aufzeichnungsintervall, beispielsweise ein 1-Minuten-Intervall, sollte daher angestrebt werden.

Messunsicherheit

Die Messunsicherheit eines Messgerätes gibt die Abweichung zwischen dem gemessenen und realen Wert in Prozent an. Dabei weisen die Messgeräte, die derzeit auf dem Markt erhältlich sind, eine Messunsicherheit von +/- 0,25 % vom Endwert des Messbereiches auf. Je größer der Messbereich eines Messgerätes ist, desto größer wird daher auch die „Unsicherheit“ der aufgezeichneten Daten. Bei einer Drucksonde, die einen Messbereich von 10 m abdeckt, beträgt die Messunsicherheit +/- 2,5 cm, während die Abweichung bei einem Messbereich von 3 m bei nur rund +/- 8 mm liegt.

Berechnung der Entlastungsvolumina im Messwertumformer/Intelligente Sensoren/Kalkulatoren vor Ort

Teilweise erfolgt die Speicherung der Messgröße nur im Messgerät selbst. Einige Geräte verfügen ergänzend über eine lokale Auswertelogik, die abgeleitete Messdaten wie das Entlastungsvolumen unmittelbar vor Ort aus den ermittelten Wasserständen berechnen. Die hinterlegten Berechnungsparameter wie der Überfallbeiwert oder die Schwellenhöhe sind dabei oft nicht mehr bekannt oder intransparent, so dass die Plausibilität der berechneten Daten nicht überprüfbar ist, wenn die ursprüngliche Wasserstandsmessung nicht zentral im MDMS mit archiviert wird. Auch Korrekturen bei bekannten systematischen Fehlern sind so nahezu unmöglich.

Es wird ausdrücklich empfohlen, möglichst Rohdaten in einem zentralen MDMS zu erfassen und die Datenauswertungen ausschließlich mit Hilfe des Messdaten-managementsystems durchzuführen. Hier ist die Ermittlung abgeleiteter Größen auch Jahre später noch über hinterlegte Metadaten möglich und bietet so die erforderliche Transparenz und Flexibilität hinsichtlich der Erfüllung der Selbstüberwachungsverord-nung Abwasser.

3 Dokumentation zum Messkonzept

Es empfiehlt sich, abschließend eine Dokumentation der einzelnen Messstellen anzufertigen (Angabe der aktuellen Metadaten, Typenschilder, Kennlinien, Fotos der Situation vor Ort) und diese digital, beispielsweise im Betriebsführungssystem oder ggf. ebenfalls im MDMS, bereitzustellen, um dauerhaft reproduzierbare Daten erheben zu können.

Einige Metadaten an Regenbecken stellen veränderliche Größen dar (nachträglicher Umbau des Klärüberlaufes oder die räumliche Versetzung einer Sonde). Hier ist es besonders wichtig, die vorgenommenen Veränderungen zeitnah im Betriebsführungs-system und MDMS (zeitveränderliche Metadaten) zu aktualisieren, um dauerhaft eine korrekte Berechnung der abgeleiteten Größen ermöglichen zu können. Eine beispielhafte Dokumentation der Metadaten wurde bereits für das Bauwerk RÜB „Beispielbecken“ gezeigt (siehe auch Tabelle 1). Im Anhang A5 ist beispielhaft ein weiteres Dokumentationsprotokoll dargestellt.

Einer Dokumentation sollte immer eine Systemskizze des Bauwerks (Schnitt/Grundriss) beigefügt werden. Die Lage der einzelnen Messungen ist in die Systemskizze einzutragen.

4 Hinweise zur Verknüpfung von Messungen und Betriebssystemen

Nach der Auswahl und Installation der Messgeräte ist der Datenfluss vom Messwertaufnehmer bis hin zum PLS und dem MDMS sicherzustellen. Dieser Datenfluss wird auch als Messkette bezeichnet. In Abbildung 12 ist dies exemplarisch dargestellt.

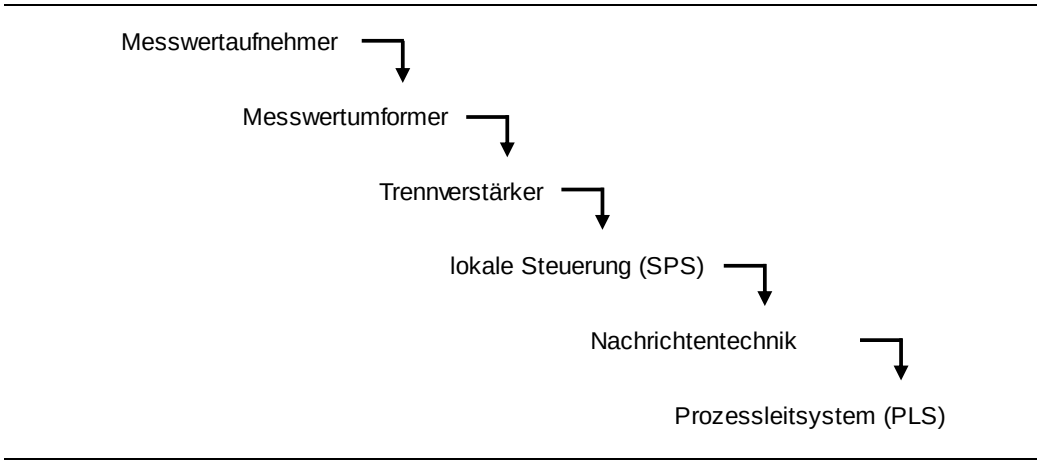


Abbildung 12: Glieder der Messkette

Fällt nur eines der Messkettenglieder aus oder unterliegt einer Störung, so kann dies zu einer Verfälschung des vor Ort erfassten Messwertes führen. Ein Defekt des Trennverstärkers führt beispielsweise zu einer irreversiblen Verzerrung der Wasserstandsganglinie. Ein fehlerhafter Speicherungsvorgang im Prozessleitsystem hingegen kann einen dauerhaften Datenverlust beim Speichervorgang verursachen. Unterschiedliche Parametrierungen in der Messkette zwischen sendendem und empfangendem Gerät (4 - 20 mA zu 0 - 20 mA; 0,0 - 3,0 m zu 0,0 - 4,0 m) können zu nennenswerten Fehlern führen. Die Messkette ist daher regelmäßig zu überprüfen und dies zu dokumentieren.

Etablieren eines durchgängigen Anlagenkennzeichnungskonzeptes

Um eine eindeutige Zuordnung der Sonden und der übertragenen Datenreihen gewährleisten zu können, wird die Entwicklung eines durchgängigen Anlagenkennzeichnungssystems (AKS oder AKZ) empfohlen. Dieses sollte im Idealfall nicht nur auf ein isoliertes Bauwerk zugeschnitten, sondern auch auf andere Bauwerke, die sich im Einzugsgebiet des Betreibers befinden, übertragbar sein. Dies erleichtert die Zuordnung der Datenreihen und die anschließende Auswertung erheblich. Bei der Entwicklung eines AKS sind die folgenden Angaben zu beachten:

1. Für jede Messgröße ist nur ein eindeutiger Begriff durchgängig zu verwenden. Von der Verwendung verschiedener Begriffe, wie Wasserstand, Niveau, Füllstand und Level, die die gleiche Messgröße beschreiben, wird abgeraten.
2. Die AKS-Bezeichnung eines Messgerätes sollte durchgängig sowohl in das PLS, das Betriebsführungssystem (BFS) als auch in die Lage- und Systempläne übernommen werden.

3. Die über das PLS für weitergehende Auswertungen zur Verfügung gestellten Messreihen müssen mit einem Namen versehen werden, die den Messgeräten unmittelbar zuzuordnen sind. Es bietet sich an, die Sonde mithilfe eines eindeutigen Namenkürzels bzw. der AKS-Bezeichnung zu beschreiben. Bei einem Export der Datenreihen muss immer auch die Einheit ausgegeben werden.

Die Durchgängigkeit des Kennzeichnungskonzepts ist dann gegeben, wenn die Anlagenkennzeichnung vom Messgerät über das PLS bis hin zur ausgespielten Datenreihe übernommen wird. Hinweise sind in DIN EN 81346-1:2010-05 enthalten.

5 Hinweise zum Messbetrieb

Mithilfe der aufgezeichneten Messdaten kann der Bauwerksbetrieb in Echtzeit (über das PLS) überwacht werden. In der Regel werden die nachfolgenden Messziele verfolgt (Messdatenarten):

- **Überwachung der Bauwerke (Überwachungsgrößen)**
  Überwachungsgrößen dienen vorrangig der Überwachung und Auswertung des Einstau- und Entlastungsverhaltens.
- **Steuerung und Regelung (Steuerungs-/Regelungsgrößen)**
  Steuerungs- und Regelgrößen dienen dem planmäßigen Betrieb der technischen Einrichtungen. Sie können z. T. mit den Überwachungsgrößen übereinstimmen (Drucksonde, die sowohl für die Pumpensteuerung als auch für die Überwachung des Einstauverhaltens verwendet wird), umfassen aber auch Informationen zu Schieber- und Klappenstellungen sowie Pumpenlaufzeiten. Diese Daten dienen in der Regel der Überprüfung des Betriebsverhaltens eines Bauwerks auf der Leitwarte. Sie können der Plausibilisierung aufgezeichneter Wasserstandsreihen dienen.

Eine regelmäßige Kontrolle des Mess- und Bauwerksbetriebs über eine arbeitstägliche Sichtung der Wasserstandsganglinie (Einzelwerte und Grafiken) an zentraler Stelle wird ausdrücklich empfohlen. Unterstützend können die Informationen über ein automatisches Störmeldesystem verarbeitet werden. Auf diesem Weg können sowohl Defekte und Übertragungsfehler der Geräte als auch ein auffälliges Betriebsverhalten frühzeitig erkannt werden.

Beispiele zur messtechnischen Überwachung des Bauwerksbetriebs sind in Anhang A4 dargestellt.

5.1 Überprüfung der Messtechnik und Messkette (Wartung und Betrieb)

Eine regelmäßige, kritische Überprüfung der installierten Messgeräte vor Ort ist eine Grundlage für die Erhebung dauerhaft zuverlässiger Datenreihen. Drucksonden müssen beispielsweise regelmäßig von Schmutzstoffen befreit und der Nullpunkt bei Drift gegebenenfalls angepasst werden. Um eine fehlerlose Übertragung des Messsignals sicherzustellen, ist sowohl das Messgerät als auch die gesamte Messkette (siehe auch Kapitel 4) mithilfe einer Messwertsimulation oder Vergleichsmessung folgendermaßen zu überprüfen:

1. Überprüfung der Sonde
   - Sichtkontrolle auf Verlegungen/Säuberung der Sonde
   - Überprüfung der Befestigung (Höhenreferenz)
2. Messwertsimulation
   - Eintauchen einer Drucksonde in ein Prüfrohr, in dem definierte Wasserstände erzeugt werden oder Aufbringen eines bestimmten Luftdrucks
   - Installation eines höhenverstellbaren Statives mit waagerechter Platte innerhalb des Schallkegels eines Echolots, über die verschiedene Wasserstände simuliert werden
   - Gegebenenfalls Prüfung durch mA-Geber
3. Überprüfung der gesamten Messkette (Durchgängigkeit des Messwertes)
   - Messwert vor Ort
   - Messwert im PLS
   - Messwert im MDMS
   - Speicherung des Messwertes

   Gegebenenfalls Justierung der Sonden durch das Betriebspersonal oder den Hersteller (auf Herstellerabgaben achten)
4. Überprüfung der Übereinstimmung der Systemzeiten
5. Dokumentation der vorgenommenen Anpassungen / Metadatenpflege

Eine Messgerätewartung wird durch das Anbringen einer Vor-Ort-Anzeige, unabhängig von der Art der Datenübertragung, deutlich erleichtert. Diese ermöglicht eine schnelle Plausibilisierung der Messergebnisse, zum Beispiel während der Messergebnissimulation. Die korrekte Übertragung bis in das MDMS ist zusätzlich zu prüfen.

Alle durchgeführten Arbeiten und vorgenommenen Veränderungen am Messgerät oder Bauwerk müssen zwingend dokumentiert und zentral, gemeinsam mit Plänen, Bildern und Skizzen der Anlage sowie den technischen Daten und Parametern der Messtechnik, abgelegt werden. Nur mit Hilfe dieser Informationen sind eine Verfolgung der Messergebnishistorie und eine plausible Messdatenauswertung möglich.

Ferner kann so nach Wartungen oder Reparaturen der ursprüngliche Zustand schnell und zuverlässig wiederhergestellt werden. Alle Mitarbeiter, die mit den installierten Messgeräten oder in den Bauwerken arbeiten, sind hinsichtlich der Dokumentation der durchgeführten Arbeiten ausreichend zu schulen und zu sensibilisieren.

Beispielhafte Protokolle zur Dokumentation der Messgerätewartung sind im Anhang A6 zu finden.

Zitierte und verwendete Literatur

ATV-DVWK-M 177. (2001). *Bemessung und Gestaltung von Regenentlastungsanlagen in Mischwasserkanälen - Erläuterungen und Beispiele.* Hennef: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.

BWK. (2008). *M7 - Detaillierte Nachweisführung immissionsorientierter Anforderungen an Misch- und Niederschlagswassereinleitungen gemäß BWK-Merkblatt 3.* Sindelfingen: Bund der Ingenieure für Wasserwirtschaft, Abfallwirtschaft und Kulturbau e.V. (BWK).

BWK. (2014). *M3 - Ableitung von immissionsorientierten Anforderungen an Misch- und Niederschlags-wassereinleitungen unter Berücksichtigung örtlicher Verhältnisse.* Sindelfingen: Bund der Ingenieure für Wasserwirtschaft, Abfallwirtschaft und Kulturbau e.V. (BWK).

DIN 1319-1:1995-01. (1995). *Grundlagen der Meßtechnik - Teil 1: Grundbegriffe.* Berlin: DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Beuth Verlag GmbH.

DIN EN 81346-1:2010-05. (2010). *Industrielle Systeme, Anlagen und Ausrüstungen und Industrieprodukte - Strukturierungsprinzipien und Referenzkennzeichnung - Teil 1: Allgemeine Regeln (IEC 81346-1:2009).* Berlin: DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Beuth Verlag GmbH.

Dittmer, U. (2014). *Neuerungen im Regelwerk - Das DWA-A 166 und DWA-M 151 in der Diskussion.* Beitrag zum 4. Kommunalen Erfahrungsaustausch Regenwasserbehandlung in der Praxis am 5. Juni 2014 in Gelsenkirchen: Veranstalter: AGG/Gelsenkanal, WSW Energie & Wasser AG und Dr. Pecher AG.

DWA. (2010). *Themenband Klimawandel - Herausforderungen und Lösungsansätze für die deutsche Wasserwirtschaft. Erarbeitet durch die Koordinierungsgruppe Klimawandel der DWA.* Hennef: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.

DWA BW. (2017). *Regenbecken im Mischsystem - Messen, Bewerten und Optimieren. Praxisleitfaden für den Betrieb von Regenbecken.* Stuttgart: DWA Landesverband Baden-Württemberg.

DWA-A 100. (2006). *Leitlinien der integralen Siedlungsentwässerung.* Hennef: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.

DWA-A 111. (2010). *Hydraulische Dimensionierung und betrieblicher Leistungsnachweis von Anlagen zur Abfluss- und Wasserstandsbegrenzung in Entwässerungssystemen.* Hennef: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.

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

DWA-ATV-A 128. (1992). *Richtlinien für die Bemessung und Gestaltung von Regenentlastungsanlagen in Mischwasserkanälen.* Hennef: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.

DWA-M 151. (2014). *Messdatenmanagementsysteme in Entwässerungssystemen.* Hennef: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.

DWA-M 176 . (2013). *Hinweise zur konstruktiven Gestaltung und Ausrüstung von Bauwerken der zentralen Regenwasserbehandlung.* Hennef: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.

DWA-M 181. (2011). *Messung von Wasserstand und Durchfluss in Entwässerungssystemen.* Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.: Hennef.

DWA-M 256-5. (2014). *Prozessmesstechnik auf Kläranlagen - Teil 5: Messeinrichtungen zur Bestimmung des Trockensubstanzgehaltes.* Hennef: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.

EU-WRRL. (2000). *Wasserrahmenrichtlinie.* Das europäische Parlament und der Rat der europäischen Union.

Gujer, W. (1999). *Siedlungswasserwirtschaft.* Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.

Hager, W. (1995). *Abwasserhydraulik - Theorie und Praxis.* Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.

Hoppe H., Giga A. und Kutsch S. (2012). *Innovative Konzepte und Messtechniken zur Betriebsüberwachung und -optimierung von zentralen und dezentralen Regenwasserbehandlungsanlagen.* DWA-Regenwassertage in Berlin, 12.-13.06.2012: Tagungunterlagen.

Hoppe H., Kutsch S. und Kaletka J. (2014). *Entleerungsstrategien von Regenklärbecken in der Diskussion.* Beitrag zum 4. Kommunalen Erfahrungsaustausch Regenwasserbehandlung in der Praxis am 5. Juni 2014 in Gelsenkirchen: Veranstalter AGG/Gelsenkanal, WSW Energie & Wasser AG und Dr. Pecher AG.

Hoppe H., Messmann S., Giga A. und Gruening H. (2009). *Options and limits of quantitative and qualitative online-monitoring of industrial discharges into municipal sewage systems.* Water Science and Technology 60 (4), 859–867. © IWA Publishing.

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

Hoppe H., Messmann S., Sosinka K. und Grüning H. (2010). *Verschmutzungsabhängige Kanalnetzsteuerung – Planung, Betriebserfahrungen und Kosten.* Stuttgarter Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft, Band 204, S.115-133. ISBN 978-3-8356-3208-0.

Hoppe, H., Fricke, K. I., Kutsch, S., Massing, C., & Gruber, G. (2016). *Von Daten zu Werten – Messungen im Entwässerungssystem.* Aqua & Gas, 96 (10), S. 26-31. ISSN 2235-5 197.

Koch, J. (2007). *Durchflussmessungen in Abwasseranlagen.* Fortbildungsveranstaltung des HLUG am 22.02.2007 in Wiesbaden. Tagungsunterlagen (unveröffentlicht).

LANUV NRW. (2012). *KISS Klimawandel in Stadtentwässerung und Stadtentwicklung – Methoden und Konzepte (Abschlussbericht).* Im Auftrag des Landesamtes für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW. Bearbeitung: Dr. Pecher AG, TU Kaiserslautern, hydro & meteo GmbH & Co KG.

LANUV NRW. (2017). *DETEK-T - Detektion von Fehleinleitungen in Trennsystemen und Reduktion der resultierenden Gewässerbelastung.* Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen: (Internet: https://www.lanuv.nrw.de/umwelt/wasser/abwasser/foerderung-von-fe-projekten-zur-abwasserbeseitigung/gefoerderte-projekte/?tx_cart_product[product]=484&cHash=8ddd1df513fbb111b6dafefb4ccffb51).

LfW Bayern. (2001). *Messeinrichtungen an Regenüberlaufbecken - Praxisratgeber für Planung, Bau und Betrieb.* München: Bayrisches Landesamt für Wasserwirtschaft.

LUA NRW. (2003). *Technische Informationen zur Drosselkalibrierung - Teil 1: Hydraulische Kalibrierung von Drosseleinrichtungen und Teil 2: Praxisbezogener Überblick über Drosselanlagen und ihre technische Überprüfung.* Essen: Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen.

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

MKULNV. (2015). *Retentionsbodenfilter - Handbuch für Planung, Bau und Betrieb.* Düsseldorf: Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen.

Mohn & Uhl. (2014). *FLUKZ - Durchflussmessung im Bereich gestörter Strömungsprofile im Kanalnetz.* Münster: (Internet: https://www.fh-muenster.de/forschung-transfer/forschungskatalog/projekt.php?pr_id=769).

MULNV. (2018). *Entwicklung und Stand der Abwasserbeseitigung in Nordrhein-Westfalen.* Düsseldorf: Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, 18. Auflage.

OGewV. (2016). *Verordnung zum Schutz der Oberflächengewässer - Oberflächengewässerverordnung.* Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit .

Rössert, R. (1988). *Hydraulik im Wasserbau.* München: R. Oldenbourg Verlag GmbH.

Schmidt, A. (2014). *Selbstüberwachung und Netzsteuerung in NRW – Anforderungen und Erfahrungen aus der Genehmigungspraxis.* Veranstalter AGG/Gelsenkanal, WSW Energie & Wasser AG und Dr. Pecher AG.: Beitrag zum 4. Kommunalen Erfahrungsaustausch Regenwasserbehandlung in der Praxis am 5. Juni 2014 in Gelsenkirchen.

Schröder, R. (1980). *Technische Hydraulik - Verfahren der stationären Rohr- und Gerinnehydraulik für die Bemessung von Wasserbauwerken.* Darmstadt.

SüwV Kan. (1995). *Selbstüberwachungsverordnung Kanal - Verordnung zur Selbstüberwachung von Kanalisationen und Einleitungen von Abwasser aus Kanalisationen im Mischsystem und im Trennsystem.*

SüwVO Abw. (2013). *Verordnung zur Selbstüberwachung von Abwasseranlagen - Selbstüberwachungsverordnung Abwasser – SüwVO Abw vom 17. Oktober 2013.*

Trennerlass NRW. (2004). *Anforderungen an die Niederschlagsentwässerung im Trennverfahren.* Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz.

WHG. (2009). *Wasserhaushaltsgesetz - Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts - WHG.*

Zanke, U. (2013). *Hydraulik für den Wasserbau, 3. Auflage.* Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.

Anhang

A1 Beispiele für ein Messkonzept in Abhängigkeit vom Bauwerkstyp und der Bauwerksanordnung

In den folgenden Beispielen sind die einzelnen Komponenten eines Bauwerks und die zugehörigen Überwachungsgrößen aufgeführt. Im Falle einer sehr günstigen Bauwerksgeometrie (siehe auch Kapitel 2.2.2) kann es möglich sein, mehrere Überwachungsgrößen mit Hilfe eines Messgerätes zu überwachen. Dabei sind die hydraulischen Randbedingungen innerhalb des Bauwerks wie die Schwellenlänge etc. zu beachten (siehe auch Kapitel 2.1.2).

A1.1 Stauraumkanal mit untenliegender Entlastung im Hauptschluss

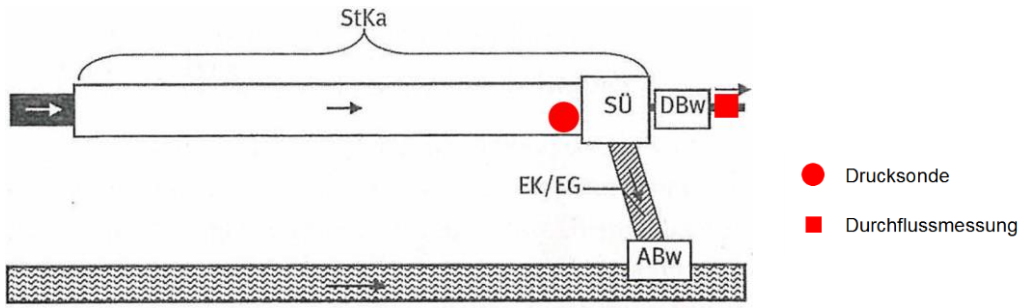


Abbildung 13: Beispielhafte messtechnische Ausrüstung eines Stauraumkanals mit untenliegender Entlastung (Arbeitsblatt DWA-A 166, 2013)

Tabelle 7: Messkonzept in Abhängigkeit von Bauwerkstyp und Bauwerksanordnung: Stauraumkanal mit untenliegender Entlastung im Hauptschluss

Beckentyp / Anordnung	**Bauwerkskomponente**	**Überwachungsgröße**	**Messgerät**
Stauraumkanal mit untenliegender Entlastung	Beckenüberlauf	Entlastungsverhalten (Entlastungsvolumen)	Berührungsloses Echolot oder Drucksonde
Hauptschluss (dauerhaft von Mischwasser durchflossen)	Trockenwetterrinne im unteren Teil des Stauraums	Einstauverhalten	Berührungsloses Echolot oder Drucksonde
	Drosselorgan	Weiterleitungsmenge	MID-geregelter Schieber (Beispiel)

A1.2 Stauraumkanal mit obenliegender Entlastung

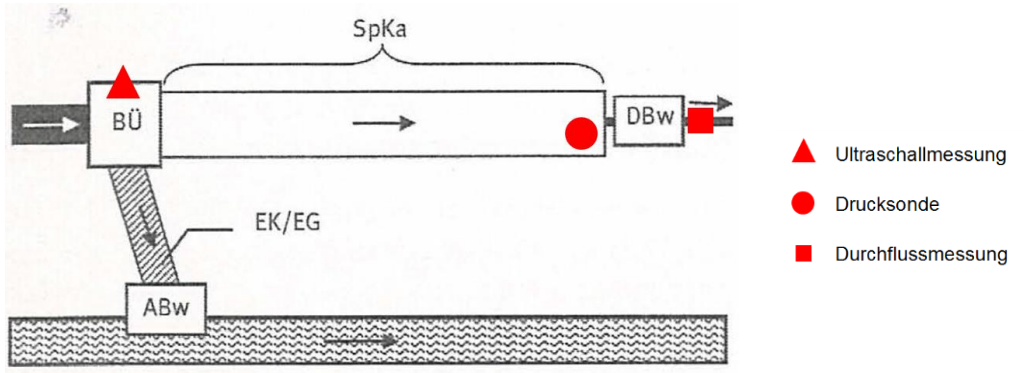


Abbildung 14: Beispielhafte messtechnische Ausrüstung eines Stauraumkanals mit obenliegender Entlastung (Arbeitsblatt DWA-A 166, 2013)

Tabelle 8: Messkonzept in Abhängigkeit von Bauwerkstyp und Bauwerksanordnung: Stauraumkanal mit obenliegender Entlastung im Hauptschluss

Beckentyp / Anordnung	**Bauwerkskomponente**	**Überwachungsgröße**	**Messgerät**
Stauraumkanal mit obenliegender Entlastung	Beckenüberlauf	Entlastungsverhalten (Entlastungsvolumen)	Berührungsloses Echolot
Hauptschluss (dauerhaft von Mischwasser durchflossen)	Trockenwetterrinne im unteren Teil des Stauraums	Einstauverhalten	Berührungsloses Echolot oder Drucksonde
	Drosselorgan	Weiterleitungsmenge	MID-geregelter Schieber (Beispiel)

A1.3 Fangbecken im Hauptschluss

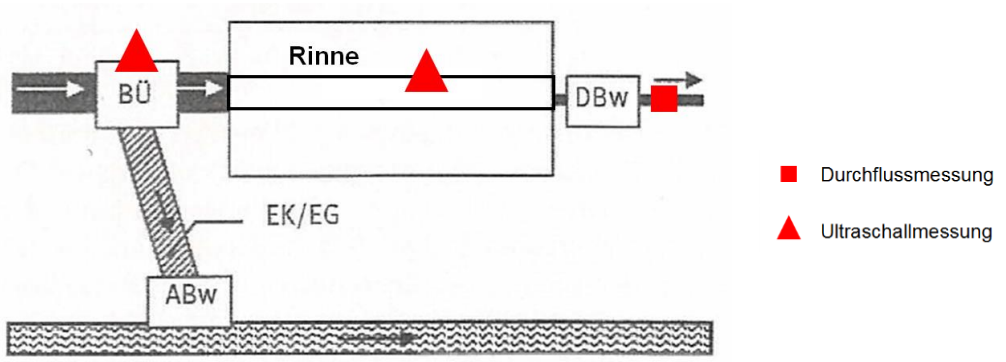


Abbildung 15: Beispielhafte messtechnische Ausrüstung eines Fangbeckens im Hauptschluss (Arbeitsblatt DWA-A 166, 2013)

Tabelle 9: Messkonzept in Abhängigkeit von Bauwerkstyp und Bauwerksanordnung: Fangbecken im Hauptschluss

Beckentyp / Anordnung	**Bauwerkskomponente**	**Überwachungsgröße**	**Messgerät**
Fangbecken	Beckenüberlauf	Entlastungsverhalten (Entlastungsvolumen)	Berührungsloses Echolot
Hauptschluss (dauerhaft von Mischwasser durchflossen)	Trockenwetterrinne im Becken	Einstauverhalten	Berührungsloses Echolot oder Drucksonde
	Vorgeschaltetes Trennbauwerk mit BÜ möglich	Entlastungsverhalten (Entlastungsvolumen)	Berührungsloses Echolot oder Drucksonde
	Drosselorgan	Weiterleitungsmenge	MID-geregelter Schieber (Beispiel)

A1.4 Fangbecken im Nebenschluss

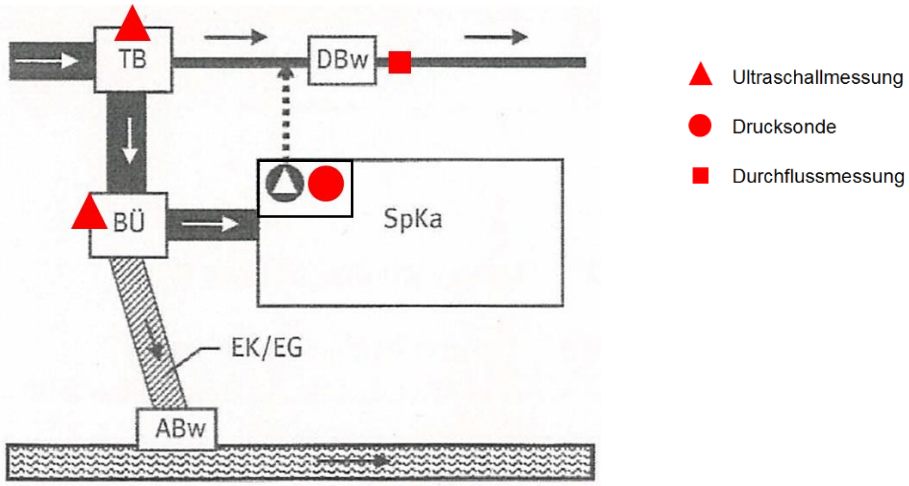


Abbildung 16: Beispielhafte messtechnische Ausrüstung eines Fangbeckens im Nebenschluss (Arbeitsblatt DWA-A 166, 2013)

Tabelle 10: Messkonzept in Abhängigkeit von Bauwerkstyp und Bauwerksanordnung: Fangbecken im Nebenschluss

Beckentyp / Anordnung	**Bauwerkskomponente**	**Überwachungsgröße**	**Messgerät**
Fangbecken	Beckenüberlauf	Entlastungsverhalten (Entlastungsvolumen)	Berührungsloses Echolot
Nebenschluss (Mischwasser wird am Bauwerk vorbeigeführt)	Pumpensumpf zur Restentleerung	Einstauverhalten	Drucksonde (kann auch zur Pumpensteuerung verwendet werden)
	Trennbauwerk (ohne BÜ)	Beschickung des Bauwerks	Berührungsloses Echolot oder Drucksonde
	Drosselorgan	Weiterleitungsmenge	MID-geregelter Schieber (Beispiel)

A1.5 Durchlaufbecken im Hauptschluss

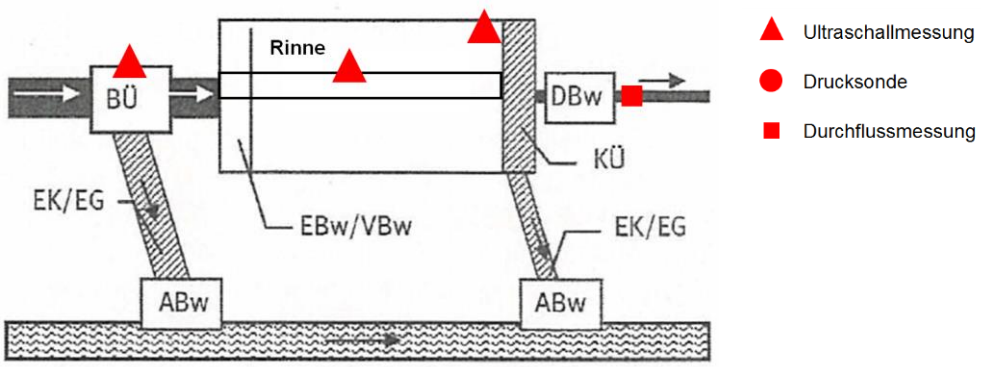


Abbildung 17: Beispielhafte messtechnische Ausrüstung eines Durchlaufbeckens im Hauptschluss (Arbeitsblatt DWA-A 166, 2013)

Tabelle 11: Messkonzept in Abhängigkeit von Bauwerkstyp und Bauwerksanordnung: Durchlaufbecken im Hauptschluss

Beckentyp / Anordnung	**Bauwerkskomponente**	**Überwachungsgröße**	**Messgerät**
Durchlaufbecken	Klärüberlauf	Entlastungsverhalten (Entlastungsvolumen)	Berührungsloses Echolot
	Beckenüberlauf	Entlastungsverhalten (Entlastungsvolumen)	Berührungsloses Echolot
Hauptschluss (wird dauerhaft von Mischwasser durchflossen)	Trockenwetterrinne im Becken	Einstauverhalten	Berührungsloses Echolot
	Drosselorgan	Weiterleitungsmenge	MID-geregelter Schieber (Beispiel)

A1.6 Durchlaufbecken im Nebenschluss

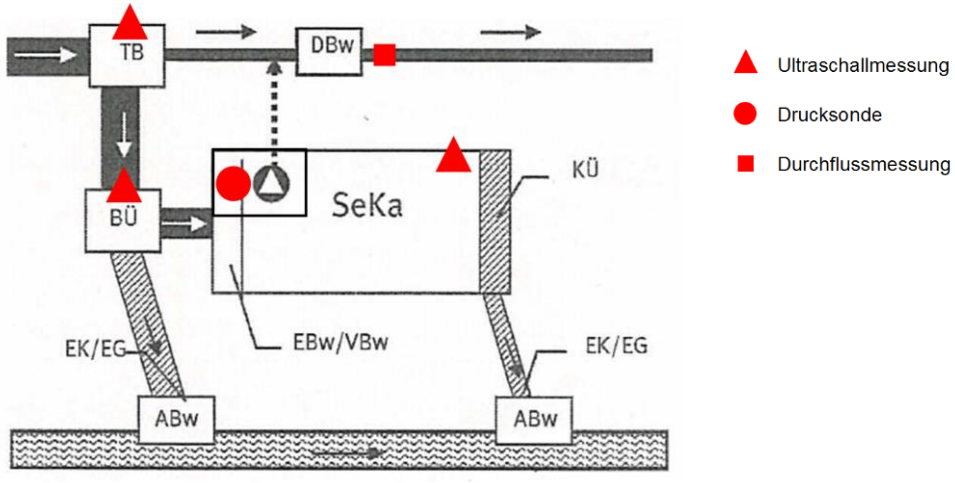


Abbildung 18: Beispielhafte messtechnische Ausrüstung eines Durchlaufbeckens im Nebenschluss (Arbeitsblatt DWA-A 166, 2013)

Tabelle 12: Messkonzept in Abhängigkeit von Bauwerkstyp und Bauwerksanordnung: Durchlaufbecken im Nebenschluss

Beckentyp / Anordnung	**Bauwerkskomponente**	**Überwachungsgröße**	**Messgerät**
Durchlaufbecken	Klärüberlauf	Entlastungsverhalten (Entlastungsvolumen)	Berührungsloses Echolot
	Beckenüberlauf (wenn andere Sonden zu weit entfernt)	Entlastungsverhalten (Entlastungsvolumen)	Berührungsloses Echolot
Nebenschluss (Mischwasser wird am Bauwerk vorbeigeführt)	Pumpensumpf zur Restentleerung	Einstauverhalten	Drucksonde (kann zusätzlich zur Pumpensteuerung verwendet werden)
	Trennbauwerk (ohne BÜ)	Beschickung des Bauwerks	Berührungsloses Echolot oder Drucksonde
	Drosselorgan	Weiterleitungsmenge	MID-geregelter Schieber (Beispiel)

A2 Beispielhafte Installation der Messtechnik

Im Folgenden sind einige gelungene Messgeräteinstallationen beispielhaft dargestellt.

Abbildung 19: Links: Echolot (Ultraschallsonde) in einem RÜB im Hauptschluss oberhalb der Trockenwetterrinne, rechts: Echolot (Ultraschallsonde) in einem RÜB im Nebenschluss an einer Rundschwelle

Abbildung 20: Links und rechts: Echolote (Ultraschallsonden) in geschlossenen Bauwerken (Stauraumkanäle)

Abbildung 21: Links und rechts: Drucksonden am tiefsten Punkt (Pumpensumpf) zweier RÜB im Nebenschluss

Abbildung 22: Echolot (Ultraschallsonde) an einem RRB, welches über ein PV-Modul mit Energie versorgt wird

Abbildung 23: Echolot (Ultraschallsonde) an einem RRB, waagerechtes Metallblech sorgt für konstante Messbedingungen (Nullpunkt)

Abbildung 24: Positionierung einer Messsonde in einem eigenständigen Messschacht auf der Bauwerksoberkante bei Straßenlage

Abbildung 25: Befestigungsmöglichkeiten der Messtechnik, über der Trockenwetterrinne (links) und oberhalb der Bauwerksabdeckung (Kragträger, rechts, außerhalb der Ex-Zone)

A3 Hydraulische Randbedingungen

Feste Schwellen, die senkrecht angeströmt werden und den Anforderungen gemäß Arbeitsblatt DWA-A 111 (2010) entsprechen (siehe auch Kapitel 2.1.2), können mit der aufgeführten Poleni-Formel berechnet werden (siehe auch Teil 1 der Handlungsempfehlung):

$$Q_{ü} = \frac{2}{3} \cdot \mu \cdot c \cdot l_{ü} \cdot \sqrt{2g} \cdot h_{ü}^{3/2} \quad \left[m^3/s\right]$$

Mit

$Q_{ü} =$	Entlastungsabfluss [m³/s]	
$h_{ü} =$	Überfallhöhe [m]	variable, gemessene Größe
$\mu =$	Überfallbeiwert [-]	feste Größen
$c =$	Betriebszustand [-]	
$l_{ü} =$	Länge des Überfallbauwerks [m]	
$g =$	Erdbeschleunigung [m/s²]	

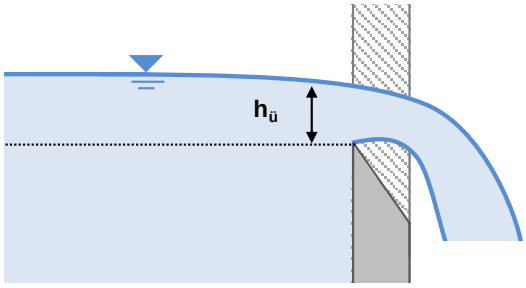


Abbildung 26: Überfallhöhe an einer Entlastungsschwelle

Im Folgenden werden einige hydraulische Randbedingungen beschrieben, die die messtechnische Ausrüstung eines Bauwerks beeinflussen und daher bei der Erarbeitung eines Messkonzeptes beachtet werden müssen.

A3.1 Schwellenzustand

Ungleichmäßige Schwellenform (Überfallbeiwert)

Der Zustand der Schwellenoberkante bestimmt maßgeblich die Qualität der berechneten Entlastungsmenge. Über den im Bauwerk gemessenen Wasserstand bezogen auf die Oberkante wird die Überfallhöhe $h_ü$ im Entlastungsfall bestimmt. Diese punktuell bestimmte Überfallhöhe wird anschließend auf die gesamte Schwellenlänge übertragen. Verläuft die Oberkante der Schwelle beispielsweise nicht horizontal oder weist deutliche Unebenheiten durch Betonkorrosion auf (Abbildung 27), so kann die reale Überfallhöhe deutlich von der gemessenen Höhe abweichen.

Abbildung 27: Beispiele aus der Praxis: Breite Schwellenoberkante, die deutliche Betonkorrosion aufweist (links), unebene Schwelle aufgrund eines entfernten Dammbalkens (rechts)

Das folgende Rechenbeispiel zeigt, dass an einer 15 Meter langen Entlastungsschwelle, die scharfkantig ausgebildet ist (μ = 0,62), ein Fehler von 2 cm in Bezug auf die Überfallhöhe das berechnete Entlastungsvolumen verdoppelt:

$$Q = \frac{2}{3} \cdot 0{,}62 \cdot 1 \cdot \sqrt{2 \cdot 9{,}81} \cdot 15{,}00 \cdot 0{,}03^{\frac{3}{2}} = 0{,}14 \; {}^{m^3}/_{s}$$

$$Q = \frac{2}{3} \cdot 0{,}62 \cdot 1 \cdot \sqrt{2 \cdot 9{,}81} \cdot 15{,}00 \cdot 0{,}05^{\frac{3}{2}} = 0{,}31 \; {}^{m^3}/_{s}$$

Da sich die ermittelte Überfallhöhe überproportional auf das berechnete Volumen auswirkt, sollten mangelhafte Schwellen gemäß dem Arbeitsblatt DWA-A 111 (2010) entsprechend an eine Schwelle angepasst werden, beispielsweise durch eine simple Anbringung einer scharfkantigen Metallkante (siehe auch Kapitel 2.1.2). Ist dies nicht umsetzbar, sollten gegebenenfalls zwei Messeinrichtungen an der Schwelle angebracht werden.

Auch der Überfallbeiwert μ kann für die in Abbildung 27 gezeigten Schwellenformen nicht eindeutig bestimmt werden. Dabei ist dieser Faktor wichtig für die Berechnung, da dieser linear in die Bestimmung der Entlastungsmenge eingeht.

Von einer allgemeinen Verwendung des Überfallbeiwerts μ = 0,62 für alle Schwellenformen (breitkronig bis profiliert) wird abgeraten.

Bezeichnung	breitkroniges Wehr	breitkroniges abgefasstes Wehr	scharfkantiges Wehr	scharfkantiges Wehr	rundkroniges Wehr	profiliertes Wehr
Darstellung						
Eignung für Aktivitätsmessung	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Eignung für Volumenstrom-abschätzung	nein	bedingt	ungeeignet bei fehlender Hinterlüftung	ungeeignet bei fehlender Hinterlüftung	bedingt	optimal
Baukonstruktion	einfach	einfach	einfach	etwas aufwendiger	etwas aufwendiger	etwas aufwendiger
Überfallbeiwert zur hydraulischen Berechnung	0,49 - 0,51	0,50 - 0,55	0,62	0,62	0,75	0,75 - 0,85
geeignet für folgende Schwellen	TB	TB, NÜ	BÜ, KÜ, NÜ, SÜ	BÜ, KÜ, NÜ, SÜ	TB, BÜ, KÜ, NÜ, SÜ	BÜ, KÜ, NÜ, SÜ

Abbildung 28: Überfallbeiwerte (aus Merkblatt DWA-M 176, 2013)

A3.2 Schwellenanströmung

Streichwehre

Bei Streichwehren liegt die Wehrkrone parallel oder nahezu parallel zur Hauptströmrichtung des Gerinnes (Rössert, 1988). Die Ausbildung der Wasserspiegellage und das entlastete Volumen sind dabei u. a. von der Form und Länge der Schwelle, dem Fließzustand und dem genauen Anströmwinkel abhängig (z. B. Hager, 1995). Für den seitlichen Abfluss muss mindestens ein von der Wehrform und den An- und Abströmverhältnissen abhängiger Beiwert berechnet werden. Für den Betriebsalltag und ohne genaue Kenntnisse über den Strömungszustand (Froude-Zahl < 1 Strömen, Froude-Zahl > 1 Schießen) sind genaue Berechnungen der Entlastungsvolumina nicht möglich.

Gekrümmte Schwellen

Gekrümmte Schwellen können sowohl tangential als auch radial angeströmt werden. Laut Arbeitsblatt DWA-A 111 (2010) kann an tangential angeströmten, gekrümmten Überlaufschwellen, deren Radius größer als die 10-fache maximale zu erwartende Überfallhöhe ist, das Entlastungsvolumen ebenfalls mit Hilfe der bekannten Poleni-Formel berechnet werden. Ist der Radius kleiner, sind Einzelnachweise erforderlich.

An radial angeströmten, gekrümmten Schwellen prägen sich komplexe dreidimensionale Sekundarströmungen aus. Durch die Veränderung der Fließgeschwindigkeitsrichtung erhöht sich die Wasserspiegellage der Außenseite der Krümmung, wohingegen sie sich zur Innenseite hin absenkt. Weitere Informationen können unter anderem dem Arbeitsblatt DWA-A 111 (2010) entnommen werden.

Sehr lange Schwellen (> 10 m)

Die Länge einer Schwelle geht in die Berechnung des Entlastungsvolumens mit Hilfe der Poleni-Gleichung als linearem Faktor ein. An langen Schwellen in großvolumigen Bauwerken bilden sich meist Wellen aus, die die nur geringe Überfallhöhe $h_ü$ beeinflussen und zu beträchtlichen Fehlern und Unsicherheiten führen können. Die Praxiserfahrung zeigt, dass an Schwellen, die eine Länge von 7,5 bis 10 m überschreiten, zwei Messgeräte installiert werden und die mittlere Überfallhöhe in die Berechnung eingehen sollte. An Streichwehren ist demnach eine Sonde zulaufseitig, die andere ablaufseitig zu installieren. Hier ist zu beachten, dass die Nullpunkte der Messgeräte sehr genau aufeinander und auf die Wehrschwelle abgestimmt werden müssen (Merkblatt DWA-M 181, 2011).

Aus mehreren Segmenten bestehende Schwellen

Einige Bauwerke weisen aufgrund von konstruktiven oder statischen Gründen Schwellen auf, die durch Pfeiler unterbrochen und somit in mehrere Segmente unterteilt sind.

Abbildung 29: Beispielhaftes Foto einer in Segmente unterteilten Schwelle

Diese Pfeiler können Verwirbelungen und Aufstau verursachen, die einen freien, gleichmäßigen Überfall und somit das Abflussverhalten an der Schwelle stören und Verluste hervorrufen. Diese sind jedoch in Abhängigkeit von der Pfeilerform und der Anströmung individuell zu bestimmen.
Für die Berechnung des Entlastungsvolumens über die gesamte Schwellenlänge sollte lediglich die Summe der einzelnen Segmente einbezogen werden.
Um die Überfallhöhe mit einer ausreichenden Genauigkeit erfassen zu können, reicht ein einzelnes berührungsloses Echolot oft nicht aus. Es wird empfohlen, je nach Anzahl und Länge der einzelnen Segmente (mindestens) an jedem zweiten Abschnitt ein berührungsloses Echolot zu platzieren.

Klärschlitze

Klärschlitze weisen in der Regel ein anderes hydraulisches Verhalten als eine feste Wehrschwelle auf. Daher ist laut Arbeitsblatt DWA-A 111 (2010) und Schröder (1980) das Abflussvolumen eines schlitzförmigen Klärüberlaufs wie folgt zu berechnen:

$$Q = \mu \cdot e \cdot l_s \cdot \sqrt{2g \cdot h_s} \quad \left[m^3/s\right]$$

$\mu =$ Überfallbeiwert
$g =$ Erdbeschleunigung
$e =$ Schlitzhöhe
$h_s =$ Überstauhöhe
$l_s =$ Schlitzbreite

Dabei ist der Überfallbeiwert μ individuell von der Schlitzgeometrie (Verluste) und der Überfallhöhe abhängig (Bayerisches Landesamt, 2001). Für eine überschlägige Ermittlung des Abflussvolumens kann ein Überfallbeiwert von μ = 0,6 angesetzt werden (Arbeitsblatt DWA-A 111, 2010).

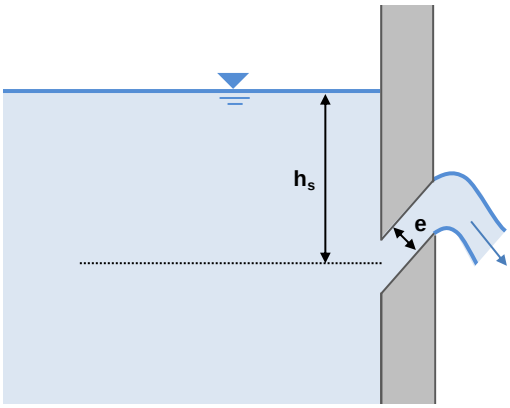


Abbildung 30: Beispielhafte Darstellung eines Klärschlitzes (gemäß Arbeitsblatt DWA-A 111, 2010)

A3.3 Regulierende Entlastungsorgane (Drehwinkelgeber)

In einigen Bauwerken sind selbstregulierende Stau- oder Biegeklappen zu finden (Abbildung 31). Selbstregulierende Entlastungsorgane haben die Aufgabe, den Wasserspiegel im Bauwerk im Entlastungsfall möglichst konstant zu halten. Die Auslegung dieser Organe erfolgt durch den Hersteller.

Abbildung 31: Beispielhafte Abbildung einer unterströmten Stauklappe (links) und einer überströmten Biegeklappe (rechts)

Eine vom Hersteller bereitgestellte Kennlinie gibt in der Regel einen Zusammenhang zwischen der Position der Klappen (Neigungswinkelgeber) und dem zugehörigen, entlasteten Volumen an.

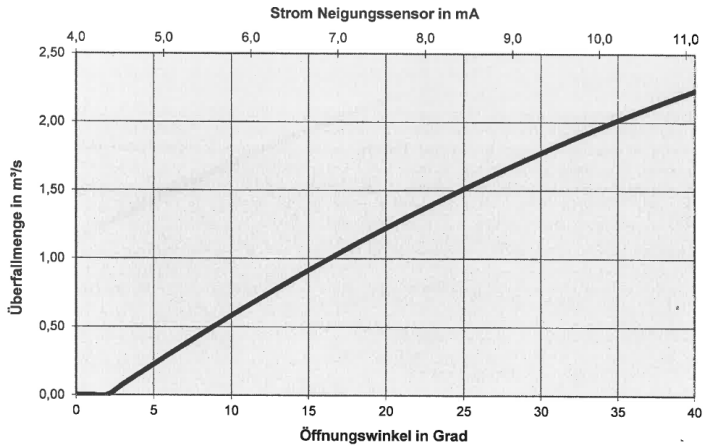


Abbildung 32: Beispielhafte Abbildung einer unterströmten Stauklappe und deren Kennlinie (Öffnungsmenge/Überfallmenge)

Um die erhobenen Abflussvolumina überprüfen zu können, ist eine Messwert-simulation durchzuführen. Dabei sollte die Klappe manuell zu betätigen und das übertragene Messsignal im Vergleich zu dem eingestellten Öffnungswinkel zu überprüfen sein.

Zusätzlich erhöht sich das Risiko für Messfehler durch die Verwendung beweglicher Teile. Durch Reibung an Gelenken und Seitenschilden können Abweichungen in der Winkeleinstellung auftreten (Abbildung 33).

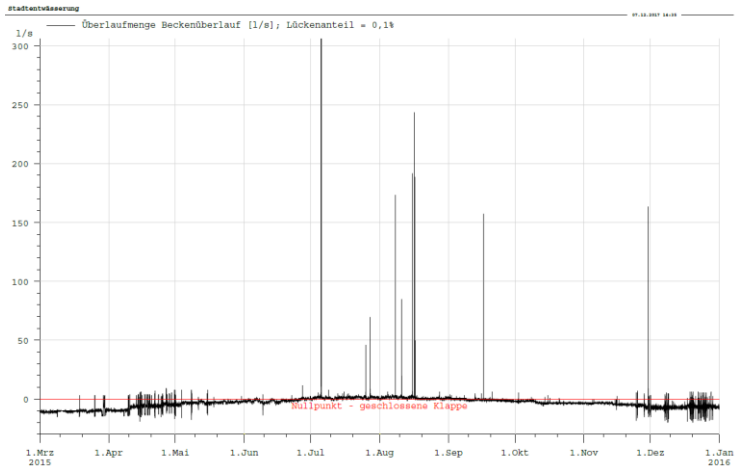


Abbildung 33: Fehlerhafte Aufzeichnung des Entlastungsvolumens auf Basis eines Drehwinkelgebers mit hinterlegter Auswertelogik

Daher ist es wichtig, dass der Nullpunkt des Drehwinkelgebers dem geschlossenen Zustand der Klappe entspricht. Zusätzlich sollten regelmäßig Funktionsprüfungen hinsichtlich der Beweglichkeit der Klappe durchgeführt werden. Die durch die Bewegung erzeugten Signale des Drehwinkelgebers sollten ebenfalls überprüft werden.
Von einer Auswertungslogik, die den ausgegebenen Öffnungswinkel mit Hilfe der Kennlinien direkt berechnet, wird abgeraten. Diese sollten im Idealfall erst an zentraler Stelle, im Idealfall im MDMS, mit Hilfe der Kennlinien umgerechnet werden.

A3.4 Tauchwände, Rechen und Siebe vor der Schwelle

Das Arbeitsblatt DWA-A 166 (2013) fordert für viele Bauwerke die Installation von Tauchwänden, Rechen oder Sieben zur Rückhaltung von Grob- und Schwimmstoffen an den Entlastungsschwellen. Diese können jedoch Einfluss auf die Überfallhöhe und somit Einfluss auf die Platzierung der Messeinrichtungen haben.

Eine Tauchwand darf nicht in unmittelbarerer Nähe einer Schwelle platziert werden, da diese im Falle einer frontalen Anströmung einen Höhenverlust hervorruft und so die Überfallhöhe $h_ü$ an der Schwelle verfälscht.
Um eine Beeinflussung des hydraulischen Verhaltens der Schwelle vermeiden zu können, ist eine Tauchwand mindestens 30 cm und 2-mal die erwartete Überfallhöhe $h_ü$ von der Schwelle entfernt zu platzieren. Zusätzlich sollten diese eine Eintauchtiefe zwischen $h_ü$ und $2h_ü$ unter der Wehroberkante aufweisen (Abbildung 34).

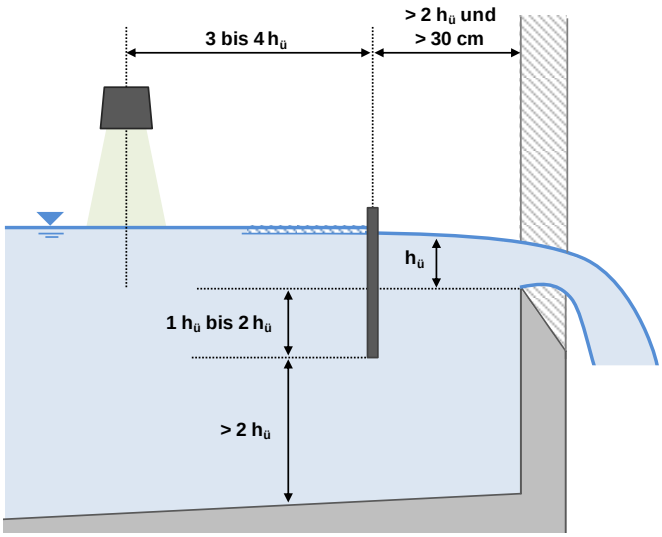


Abbildung 34: Position einer Tauchwand vor einer festen Schwelle (nach Arbeitsblatt DWA-A 166, 2013)

Für aufschwimmbare Tauchwände gilt zu überprüfen, ob diese im Entlastungsfall in den Messkegel eines berührungslosen Echolots hineinragen und die Messungen stören. Allgemein gilt, dass Messgeräte nicht zwischen Tauchwand und Schwelle platziert werden, da hier der Mindestabstand (Absinken des Wasserspiegels zur Schwelle hin) nicht eingehalten werden kann und die Messergebnisse beeinflusst werden.

Rechen oder Siebe können im Trennbauwerk auf der Schwelle installiert werden, um die Schutzstoffe im ablaufenden Strom zur Kläranlage zu halten. Verlegungen oder Verzopfungen führen zu einem Aufstau des Wassers vor dem Rechen im Kanal und erzeugen so hydraulische Verluste. Die Wasserstände vor und hinter den Einbauten kommunizieren somit in der Regel nicht direkt miteinander. Nachweise über den hydraulischen Einfluss auf die Überfallhöhe an der Schwelle kann den Herstellerangaben entnommen werden. Kommt es zu beträchtlichem Rückstau, so gilt zu beachten, dass der Wasserstand nicht in die Blockdistanz der installierten berührungslosen Echolote hineinragt.

A3.5 Rückstau aus dem Gewässer/aus dem unterhalb liegenden Kanal

Eine feste, betonierte Schwelle wird in der Regel als vollkommener Überfall betrieben. Dabei befindet sich der Wasserspiegel des Unterwassers stets unterhalb oder auf gleicher Höhe der Schwelle (Arbeitsblatt DWA-A 166, 2013). Dieser Betriebszustand wird nach Poleni mit der Konstante c = 1 beschrieben (Arbeitsblatt DWA-A 111, 2010).

Eine Rückstau- oder Rückflusssituation kann zum einen durch einen unterhalb liegenden Kanal oder das Gewässer hervorgerufen werden und führt in der Regel zu längeren Einstau- und Entlastungsereignissen, da das zulaufende Regenwasser nicht oder nur bedingt abfließen kann.

Im Rückstaufall kann es daher vorkommen, dass der Spiegel des Unterwassers oberhalb der Schwelle liegt und diese somit als unvollkommener Überfall betrieben wird. Dies ist durch die Abminderung des Faktors c (Betriebszustand) in Abhängigkeit vom Unterwasserstand zu berücksichtigen (Arbeitsblatt DWA-A 111, 2010). Weitere Hinweise sind u. a. in Schröder (1980) enthalten.

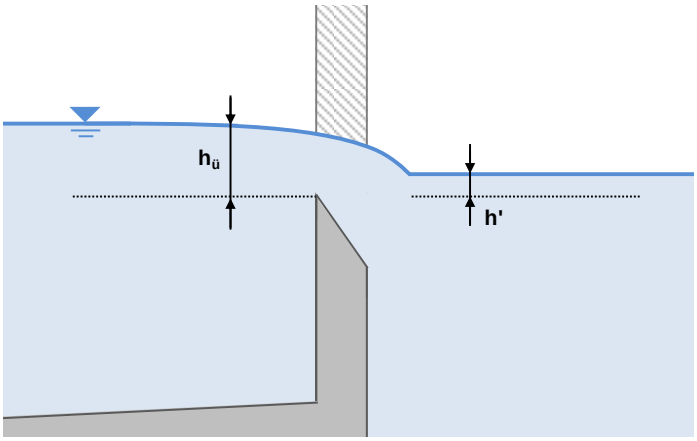


Abbildung 35: Beispielhafte Darstellung eines unvollkommenen Überfalls aufgrund von Rückstau aus dem Gewässer nach Arbeitsblatt DWA-A 111 (2010).

Die Installation eines Schiebers oder einer Klappe kann im Hochwasserfall das Kanalisationssystem und das Gewässer bei steigendem Wasserstand voneinander entkoppeln (Arbeitsblatt DWA-A 166, 2013). Diese Betriebsweise ist bei der Installation der Messgeräte und Auswertung der aufgezeichneten Messdaten zu berücksichtigen.

A3.6 Bauwerke mit mehreren Kammern

Bauwerke, die mehrere Speicherkammern aufweisen, können, je nach Anordnung oder Beckengeometrie, parallel oder nacheinander beschickt werden.

Die Definition des Einstaubeginns in diesen Bauwerken, in Bezug auf die hydraulischen Randbedingungen, wird im Anhang von Teil 1 der Handlungsempfehlung beschrieben.

Für die Überwachung des Entlastungsverhaltens ist die Anordnung der Entlastungsschwellen maßgeblich. Häufig sind in jeder Kammer dieser Bauwerke separate Klärüberläufe zu finden, die in der Regel mit einer ebenfalls separaten Messeinrichtung überwacht werden müssen. Vor allem im Hinblick auf die Auswertung des Entlastungsvolumens können nur so belastbare Ergebnisse erzielt werden.

Allgemein gilt, dass ein Einstau- oder Entlastungsereignis beginnt, sobald der Wasserstand den definierten Mindestwasserstand in einem der Becken überschritten hat und erst dann endet, sobald der Mindestwasserstand in allen Becken unterschritten wird.

Sind die Randbedingungen

- Parallele Beschickung
- Geringes Gefälle im Entwässerungsnetz
- Langsame Fließgeschwindigkeiten
- Geringe Turbulenzen
- Kommunikation zwischen den Schächten

für das gesamte Bauwerk erfüllt, so besteht die Möglichkeit, das Entlastungsverhalten lediglich in einer Kammer zu überwachen und die berechnete Entlastungshöhe auf alle anderen Kammern zu übertragen. Dies ist allerdings in den seltensten Fällen gegeben.

A4 Messtechnische Überwachung des Bauwerksbetriebs (Beispiele)

Beispiel aus der Praxis 1: Betrieb eines Regenüberlaufbeckens

Im Folgenden sind Ganglinien dargestellt, die in einem Regenüberlaufbecken, welches im Nebenschluss betrieben wird, aufgezeichnet wurden. Messtechnisch ist das Bauwerk wie folgt ausgerüstet:

- Drucksonde im Rundbecken (Pumpensumpf)
  Überwachungsgröße: Einstauverhalten des Bauwerks
- Ultraschallsonde am Beckenüberlauf (separates Trennbauwerk)
  Überwachungsgröße: Entlastungsverhalten des Beckenüberlaufs
- Gedükertes Vollfüllungs-MID (Drosselschacht)
  Überwachungsgröße: Weiterleitungsmenge zur Kläranlage

Die Ultraschallsonde am Beckenüberlauf dient als Überwachungsgröße, wohingegen die Drucksonde zur Pumpensteuerung und das Vollfüllungs-MID zur Abflussregelung des Bauwerks dienen. Abbildung 36 zeigt einen Ausschnitt aus den Planunterlagen.

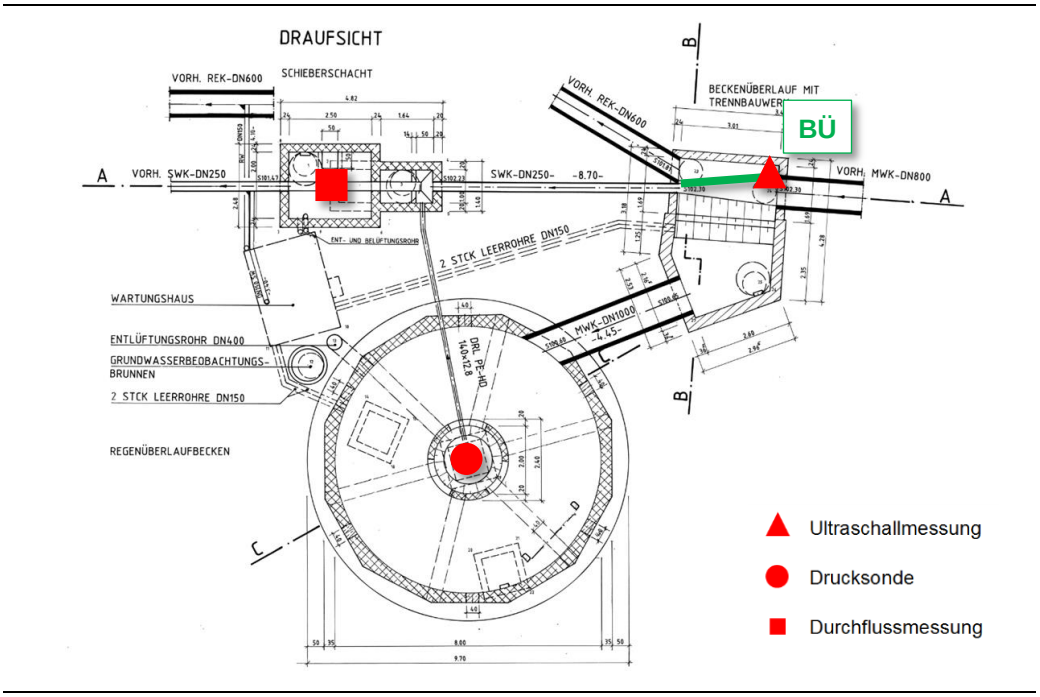


Abbildung 36: Überblick über das Regenüberlaufbecken und die installierte Messtechnik (Beispiel)

In Abbildung 37 sind Fotos des Bauwerks dargestellt, die zum einen das Trennbauwerk und die dort angebrachte Ultraschallsonde und zum anderen einen Blick in die Speicherkammer mit Pumpensumpf und darin befindlicher Drucksonde zeigen.

Abbildung 37: Trennbauwerk des Regenüberlaufbeckens (links) und Beckenkammer mit Pumpensumpf und Wirbeljet (rechts)

In Abbildung 38 sind die Ganglinien der oben genannten Messeinrichtung einander gegenübergestellt. Zusätzlich sind die Schwellenhöhe des Beckenüberlaufs und der Mindestwasserstand zum Einstaubeginn hinterlegt.

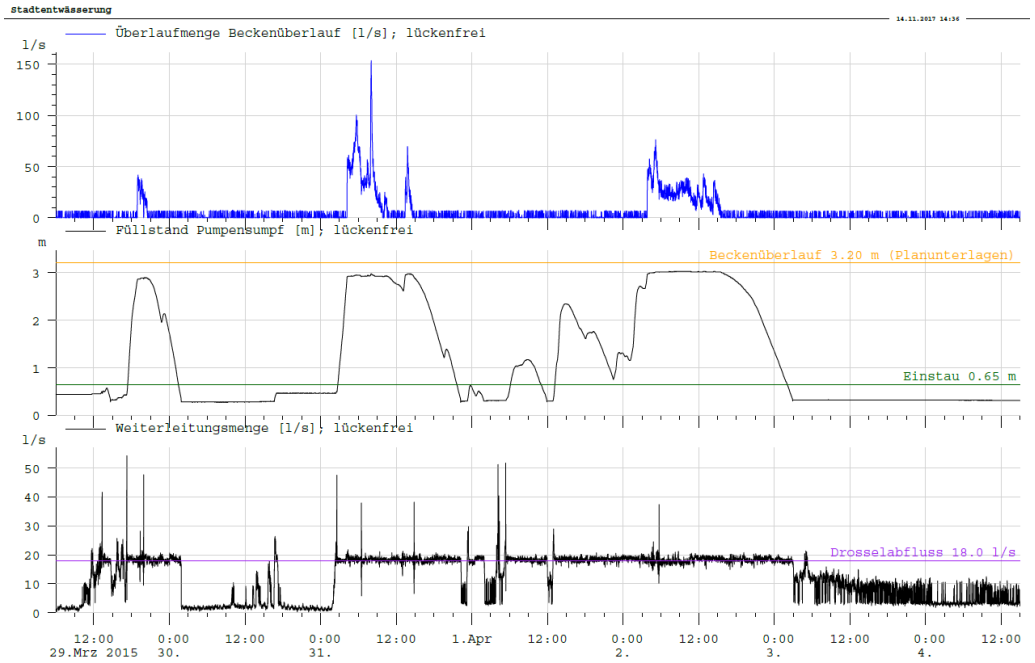


Abbildung 38: Übersicht über die Ganglinien innerhalb eines gesamten Jahres

Fakten zu den Ganglinien:

- Die drei aufgezeichneten Ganglinien sind vollständig, es existieren keine Lücken. Der Messbetrieb ist zuverlässig.
- Die Messbereiche sind passend gewählt, der Wasserstand tritt nicht in die Blockdistanz der Ultraschallmessung ein.
- Die Höhe des Beckenüberlaufs in Bezug auf die Drucksonde im Speicherbecken ist fehlerhaft. Das Plateau der Ganglinien bildet sich deutlich unterhalb der angegebenen Schwellenoberkante aus. Eine Einmessung der Schwelle vor Ort ist notwendig, um eine plausible Auswertung des Entlastungsverhaltens gemäß SüwVO Abw zu ermöglichen.
- Der Mindestwasserstand ist plausibel gewählt (Position der Drucksonde innerhalb des Pumpensumpfes).
- Aufgrund einer hinterlegten Logik innerhalb der Ultraschallsonde wird die Entlastungsmenge am Beckenüberlauf ausgegeben. Die Plausibilität der Daten und des Nullpunktes kann nicht überprüft werden.

Informationen zum Beckenbetrieb aus den vorliegenden Ganglinien:

- Die aufgezeichneten Ganglinien weisen auf einen plausiblen Bauwerksbetrieb hin (Wird der maximale Drosselabfluss erreicht, steigt der Wasserstand in der Speicherkammer an. Bildet die Ganglinie des Wasserstands ein Plateau aus, so zeigt die Ultraschallsonde eine Entlastung am Beckenüberlauf an).
- Der Drosselabfluss von 18 l/s wird eingehalten (Erfüllung der Genehmigung).
- Nach einem Regenereignis entleeren die Pumpen die Beckenkammer vollständig (Energieeffizienz).

Beispiel aus der Praxis 2: Betrieb eines Regenüberlaufbeckens mit nachgeschaltetem Retentionsbodenfilter

Im Folgenden sind einige Messergebnisse dargestellt, die an einem Regenüberlaufbecken, welches als Durchlaufbecken im Nebenschluss (Vorstufe) mit nachgeschaltetem Retentionsbodenfilter betrieben wird, aufgezeichnet wurden. Messtechnisch ist das Bauwerk unter anderem wie folgt ausgerüstet:

- Ultraschallsonde innerhalb des Rundbeckens am Klärüberlauf (1)
  Überwachungsgröße: Entlastungsverhalten des Klärüberlaufs
- Ultraschallsonde zur Messung des Wasserstandes im Retentionsbodenfilter in der Nähe des Klärüberlaufs (2)
  Überwachungsgröße: Entlastungsverhalten des Beckenüberlaufs
- Drucksonde im Entleerungsbauwerk des Retentionsbodenfilters
  Überwachungsgröße: Steuerung der Entleerungspumpe des Bodenfilters

Die Ultraschallsonden am Klärüberlauf der Vorstufe dienen als Überwachungsgrößen, wohingegen die Drucksonde zur Pumpensteuerung zur Entleerungsregelung des Retentionsbeckens dient. Abbildung 39 zeigt einen Ausschnitt aus den Planunterlagen.

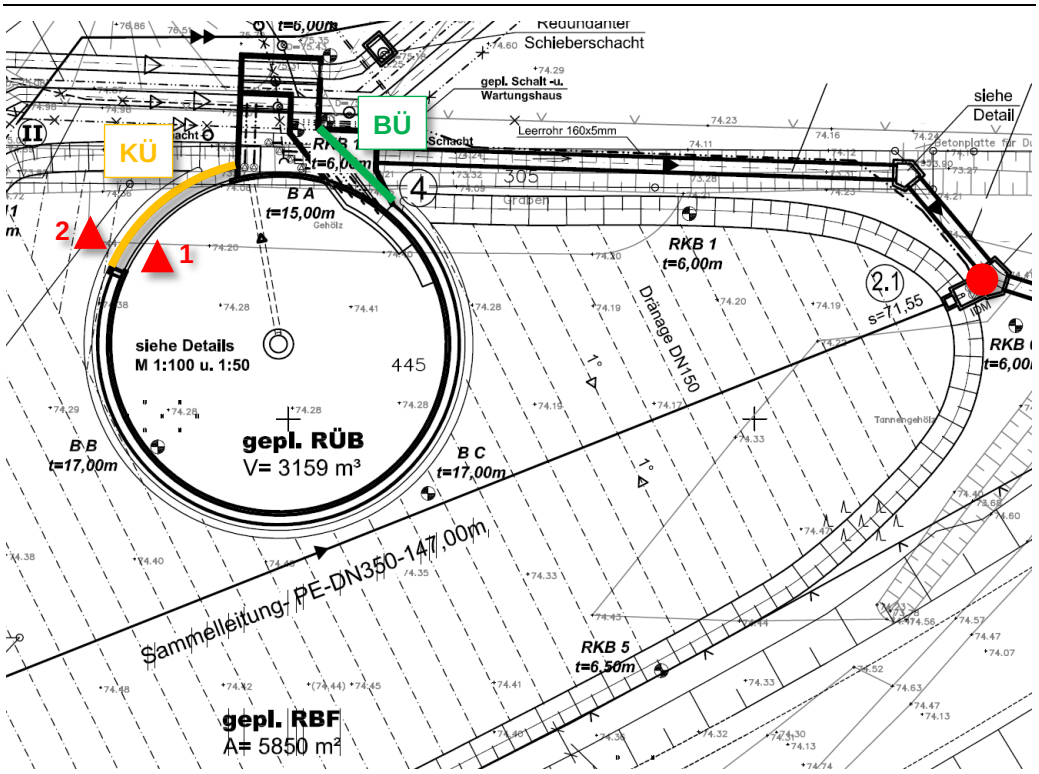


Abbildung 39: Übersichtsplan des Regenüberlaufbeckens und des nachgeschalteten Retentionsbodenfilters mit Angabe des Stauziels

Die Fotos in Abbildung 40 zeigen den Klärüberlauf der Vorstufe, über den aus dem Becken in den nachgeschalteten Retentionsbodenfilter abgeschlagen wird. An der Schwelle befindet sich zu beiden Seiten eine Ultraschallsonde.

Abbildung 40: Ultraschallsonden Klärüberlauf der Vorstufe: Überwachung des Wasserstands in der Speicherkammer (links) und im Bodenfilter (rechts)

In Abbildung 41 sind die Ganglinien der oben genannten Messeinrichtung einander gegenübergestellt. Zusätzlich sind die Schwellenhöhe des Klärüberlaufs und die Stauziele des Retentionsbodenfilters hinterlegt.

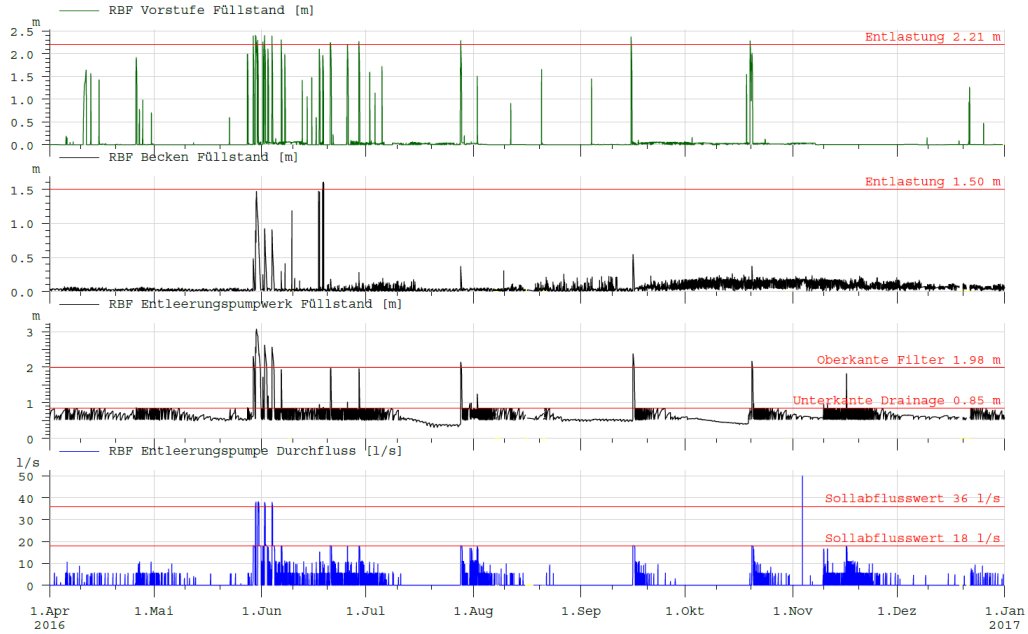


Abbildung 41: Übersicht über die Ganglinien über mehrere Monate

Fakten zu den Ganglinien:

- Die vier aufgezeichneten Ganglinien sind vollständig, es existieren keine Lücken. Der Messbetrieb ist zuverlässig.
- Die Messbereiche sind passend gewählt, der Wasserstand tritt nicht in die Blockdistanz der Ultraschallmessung ein.
- Die Höhe des Klärüberlaufs in Bezug auf die Ultraschallsonde im Speicherbecken ist plausibel hinterlegt (Plateau der Ganglinien). Eine plausible Auswertung des Entlastungsverhaltens gemäß SüwVO Abw ist möglich.
- Die Füllstände des Retentionsbodenfilters und des Entleerungspumpenschachtes sind zueinander plausibel und entsprechen den Sollvorgaben.

Informationen zum Beckenbetrieb aus den vorliegenden Ganglinien:

- Die aufgezeichneten Ganglinien weisen auf einen plausiblen Bauwerksbetrieb hin. Entlastet das Regenüberlaufbecken über den Klärüberlauf, steigt der Wasserstand innerhalb des Retentionsbodenfilters an. Steigt der Wasserstand im Entleerungspumpwerk über die Höhe der Filterflächenoberkante, so steigt auch der Wasserstand auf dem Filter.
- Nach einem Regenereignis entleeren die Pumpen den Filter vollständig, eine deutliche Nachlaufzeit ist erkennbar.
- Ein Retentionsbodenfilter ist nach jedem Einstauereignis vollständig zu entleeren, um die Luftsauerstoffversorgung über die Drainage und damit eine ausreichende Regeneration sicherzustellen (MKULNV, 2015). Der gezeigte Bodenfilter wird nach jedem Regenereignis vollständig entleert (Unterkante Drainage bei 0,85 m).
- Ein Bodenfilter im Mischsystem sollte im Mittel 10 mal jährlich mit Abflüssen aus einer Entlastungsanlage beschickt werden (MKULNV, 2015). Diese Anforderung wird hier erfüllt.

A5 Beispielhaftes Dokumentationsprotokoll (Bauwerk und Messtechnik)

Metadaten Bauwerk				
Bauwerksname				
Bauwerkskennung/-ID (intern)				
Bauwerkstyp				
Anordnung und Beschickung				
Beckenform				
Entwässerungssystem				
Bauwerksvolumen [m³]				
Dauerstaubetrieb				
ELKA-Nummer [1]				
ELKA-Bezeichnung [1]				
Gewässer und -kennzahl [1]				
Baujahr/Inbetriebnahme				
Zugeordnete Niederschlagsstation				
Kläranlage				
Lage	UTM Nordwert			
	UTM Ostwert			
Drosselorgan	Art der Drossel			
	Bemessungsdruckhöhe [m]			
	Drosselabfluss [l/s]			
Mindestwasserstand (Einstaubeginn) [m]				

Metadaten Entlastung		**Klärüberlauf**	**Beckenüberlauf**
Art der Schwelle			
Einmessung/ Parameter	Schwellenlänge [m]		
	Schwellenform		
	Schwellenhöhe [m ü. NHN] [2]		
	rel. Schwellenhöhe [m] [3]		
	Überfallbeiwert [-]		
Art der Tauchwand			

Metadaten Messtechnik [4]	**Sensor 1**	**Sensor 2**	**Sensor 3**
Sensortyp/-art			
Überwachungsgröße			
Messeinheit			
ZR-Name			
Austauschnummer (intern) [5]			
Messspanne			
Nullpunkt/Bezugspunkt			
Sondenposition			

[1] Daten aus ELKA

[2] Absolute Höhe der Schwellen in Meter ü. NHN

[3] Relative Höhe der Schwellen in Meter in Bezug zur Messeinheit

[4] Anzahl der Sensoren individuell je Bauwerk

[5] Verknüpfung zum Datenauswertungstool

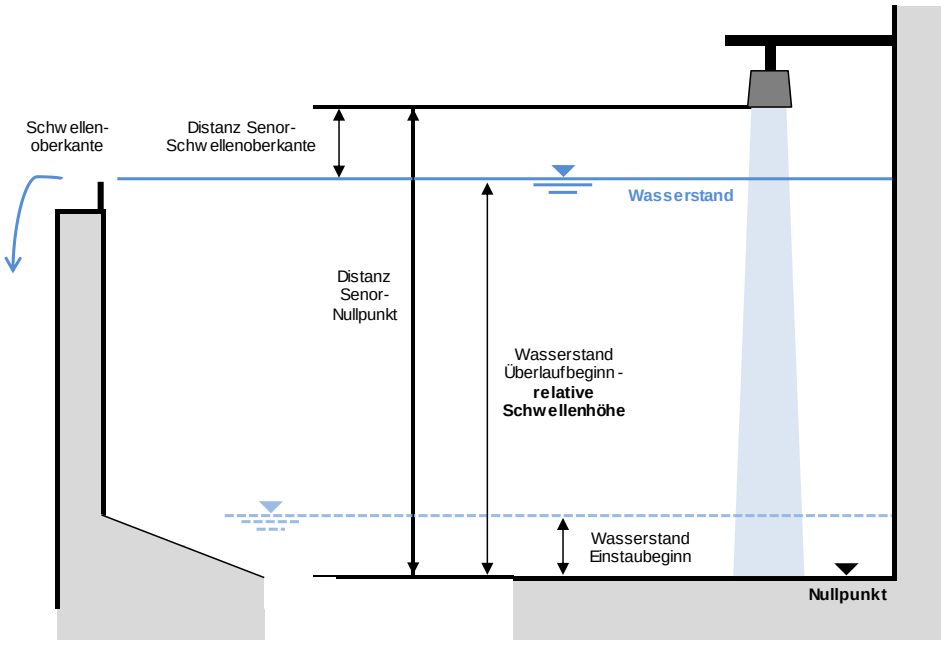
A6 Beispielhafte Wartungsprotokolle für die Messtechnik (Echolote und Drucksonden)

Wartungsprotokoll Echolot		Datum	
		Uhrzeit	
		Durchgeführt von	
Bauwerk		Bauwerkskennung/-ID	

Bezeichnung Sonde		Beschreibung der Sondenposition:
Seriennummer Sonde		
Seriennummer Logger		
Seriennummer DFÜ		

Überprüfung vor Ort	**Erfolgt**	**Nicht notwendig**	**Durchgeführte Anpassungen**
Sondenposition			
Kabelverbindungen			
Energieversorgung			
Signalübertragung			
Reinigung			
Datums- und Uhrzeitkontrolle			

Einmessen der Sonde
Höhe der Schwellenoberkante [m] (KÜ oder BÜ)
Distanz [m] Sensorunterkante – Schwellenoberkante
Distanz [m] Sensorunterkante – Nullpunkt
Wasserstand bei Einstaubeginn [m]
Wasserstand bei Überlaufbeginn [m]



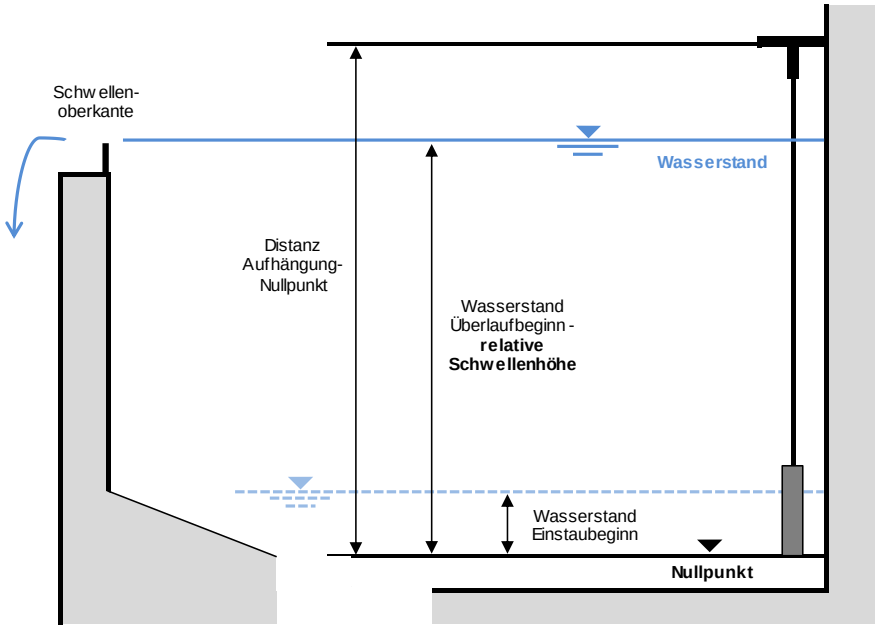
Simulierter Wasserstand in cm (Stativ und Platte)	**Messwertanzeige vor Ort in cm**	**Messwertanzeige im PLS in cm**	**Differenz**
			Ausreichend? (Ja/Nein)

Wartungsprotokoll Drucksonde		Datum	
		Uhrzeit	
		Durchgeführt von	
Bauwerk		Bauwerkskennung/-ID	

Bezeichnung Sonde		Beschreibung der Sondenposition:
Seriennummer Sonde		
Seriennummer Logger		
Seriennummer DFÜ		

Überprüfung vor Ort	**Erfolgt**	**Nicht notwendig**	**Durchgeführte Anpassungen**
Sondenposition			
Kabelverbindungen			
Energieversorgung			
Signalübertragung			
Reinigung			
Datums- und Uhrzeitkontrolle			

Einmessen der Sonde
Höhe der Schwellenoberkante [m] (KÜ oder BÜ)
Distanz [m] Aufhängung – Schwellenoberkante
Distanz [m] (Kabellänge) Aufhängung – Sondennullpunkt
Wasserstand bei Einstaubeginn [m]
Wasserstand bei Überlaufbeginn



Simulation verschiedener Wasserstände			
Simulierter Wasserstand in cm (Gefülltes Rohr)	**Messwertanzeige vor Ort in cm**	**Messwertanzeige im PLS in cm**	**Differenz**
		Ausreichend? (Ja/Nein)	