



Institut für  
Unterirdische Infrastruktur

# Durchflussmesseinrichtungen von Regentlastungsbauwerken

- Abschlussbericht -

Wissenschaftliche Leitung: Dr.-Ing. Bert Bosseler

Wissenschaftliche Bearbeitung: Dipl.-Ing. Thomas Birkner  
Dr. Sabine Cremer

Auftraggeber:



Ministerium für  
Umwelt und Naturschutz,  
Landwirtschaft und Verbraucherschutz  
des Landes NRW

# **Durchflussmesseinrichtungen von Regentlastungsbauwerken**

## **AUFTRAGGEBER**

Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz NRW  
Schwannstr. 3  
40 190 Düsseldorf

## **AUFTRAGNEHMER**

Institut für Unterirdische Infrastruktur  
Exterbruch 1  
45 886 Gelsenkirchen

## **WISSENSCHAFTLICHE LEITUNG**

Dr.-Ing. Bert Bosseler

## **PROJEKTLEITUNG UND BEARBEITUNG**

Dipl.-Ing. Thomas Birkner  
Dr. Sabine Cremer

## **BEARBEITUNGSZEITRAUM**

November 1998 – Juli 2001

## **Danksagung**

Das Institut für Unterirdische Infrastruktur (IKT) bedankt sich an dieser Stelle bei dem Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz NRW für das entgegengebrachte Vertrauen, beim Landesumweltamt NRW für die fachliche Begleitung des Projekts.

Den Mitarbeitern des Tiefbauamtes der Gemeinde Hünxe, der Stadtentwässerung Mülheim, der LINEG und des Ruhrverbandes gebührt besonderer Dank für die Bereitstellung des vielfältigen Informations- und Datenmaterials und die weitreichende Unterstützung durch fachliche Diskussionen und zahlreiche Ortstermine.

Nicht zuletzt richtet sich der Dank außerdem an die Mitarbeiter der Firmen HST, NIVUS, UFT, VOLMAR und W.A.S., die dem IKT freundlicherweise ihre umfangreichen Produktinformationen überließen und für Rückfragen während der Projektbearbeitung jederzeit zur Verfügung standen.

---

<b>1</b>	<b>VERANLASSUNG</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>PROBLEM- UND ZIELSTELLUNG</b>	<b>1</b>
<b>3</b>	<b>RECHTLICHE UND TECHNISCHE ANFORDERUNGEN</b>	<b>3</b>
3.1	Rechtliche Anforderungen	3
3.2	Technische Anforderungen	4
3.2.1	Richtlinien für Entlastungsbauwerke	5
3.2.1.1	ATV-DVWK Arbeitsblatt A 128	6
3.2.1.2	ATV-DVWK Arbeitsblatt A 111	7
3.2.1.3	ATV-DVWK Arbeitsblatt A 156	8
3.2.1.4	ATV-DVWK Arbeitsblatt A 166	9
3.2.1.5	ATV-DVWK Arbeitsblatt A 241	11
3.2.1.6	ATV-DVWK Merkblatt M 176	12
3.2.1.7	DIN EN 752-4	13
3.2.2	Richtlinien für Messeinrichtungen	14
3.2.2.1	DIN 1319	14
3.2.2.2	Arbeitsbericht der ATV-Arbeitsgruppe 1.2.5	16
3.2.2.3	Pegelvorschrift, Anlage D	18
3.2.2.4	ATV-DVWK Merkblatt M 256	20
3.2.2.5	DIN 19 559-1	22
3.2.2.6	DIN 19 559-2	25
3.2.2.7	ISO 1438-1	27
3.2.2.8	DIN EN 29104	28
3.2.2.9	VDI/VDE 2641	29
3.2.2.10	DVGW-Arbeitsblatt W 420	30
3.3	Zusammenfassung der Anforderungen	32

---

<b>4</b>	<b>MARKTÜBERSICHT</b>	<b>39</b>
4.1.1	Produktübersicht	39
4.1.1.1	Wasserstandsmessung mit Ultraschall-Echoloten	41
4.1.1.2	Wasserstandsmessung mit Druckmesssonden	43
4.1.1.3	Entlastungsschwelle	44
4.1.1.4	V/h-Messung, kombinierte Messwertaufnehmer	46
4.1.1.5	Magnetisch-induktive V/A-Messung	48
4.1.1.6	Rückstau-Venturi-Kanal	49
4.1.2	Investitionskosten für die Messeinrichtung nach Herstellerangaben	50
4.1.3	Qualitätssicherung durch die Hersteller	51
4.1.4	Zusammenfassung und Bewertung der Hersteller-Recherche	55
<b>5</b>	<b>BETREIBER-ÜBERSICHT</b>	<b>57</b>
5.1	Bestandsaufnahme	58
5.2	Qualitätssicherung aus Sicht der Betreiber	59
5.2.1	Einbau	59
5.2.2	Betrieb und Wartung	65
5.2.3	Datenauswertung und –verwendung	66
5.3	Betriebskosten	68
5.4	Zusammenfassung und Bewertung der Betreiber-Übersicht	69
<b>6</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK</b>	<b>70</b>
<b>7</b>	<b>VERZEICHNIS DER ABBILDUNGEN</b>	<b>73</b>
<b>8</b>	<b>VERZEICHNIS DER TABELLEN</b>	<b>74</b>
<b>9</b>	<b>LITERATUR</b>	<b>75</b>

## 1 Veranlassung

Die am 1. Januar 1996 in Kraft getretene Selbstüberwachungsverordnung Kanal (SüwV Kan) [1] des Landes Nordrhein-Westfalen schreibt unter § 3 vor, dass bei ...*wesentlichen Einleitungen von Abwasser... bei den wichtigsten Regenklärbecken, Regenüberlaufbecken und Stauraumkanälen ... kontinuierlich aufzeichnende Wasserstandsmessgeräte einzubauen sind, mit denen die ... Überlaufmengen, -dauer und -häufigkeit ... zu ermitteln sind.* Mit dem Erlass dieser Verordnung wurde die gesetzliche Grundlage geschaffen, Forderungen umzusetzen, die in technischen Regelwerken bereits zu einem früheren Zeitpunkt ausdrücklich formuliert waren.

Ziel des Gesetzgebers ist es, die Betreiber von Abwasseranlagen zu einer kostensparenden und umweltverträglichen Kanalnetzbewirtschaftung zu veranlassen, die durch geeignete Steuerungsmaßnahmen Abflussspitzen im Kanalnetz weitgehend dämpft und damit Entlastungseignisse vermeidet. Betreibern von Regentlastungsbauwerken werden daher durch den wasserrechtlichen Bescheid der Genehmigungsbehörde, der unter anderem auf der Prüfung der Entwürfe durch das Langzeitsimulationsmodell LWA-Flut [2] beruht, individuell Beschränkungen für die höchstens zulässige jährliche Entlastungsrate auferlegt. Die Größenordnung liegt zur Zeit bei etwa 35 % des abflusswirksamen Niederschlags [3, 12].

Zur Realisierung dieses Ziels ist eine gesicherte Datenbasis über die Entlastungshäufigkeit und das -volumen bestehender und neu zu errichtender Entlastungsbauwerke unerlässlich. Die grundlegende Voraussetzung hierfür ist, dass die zur Messung der Ereignisse verwendeten Einrichtungen zuverlässig und genau arbeiten. Die hier dargestellte Übersicht über die vorhandenen Anlagen und die laufenden Kosten für Betrieb und Wartung wird die Entscheidung ermöglichen, ob die bestehenden Einrichtungen die Erfüllung der gesetzlich verankerten Aufgaben ermöglichen.

## 2 Problem- und Zielstellung

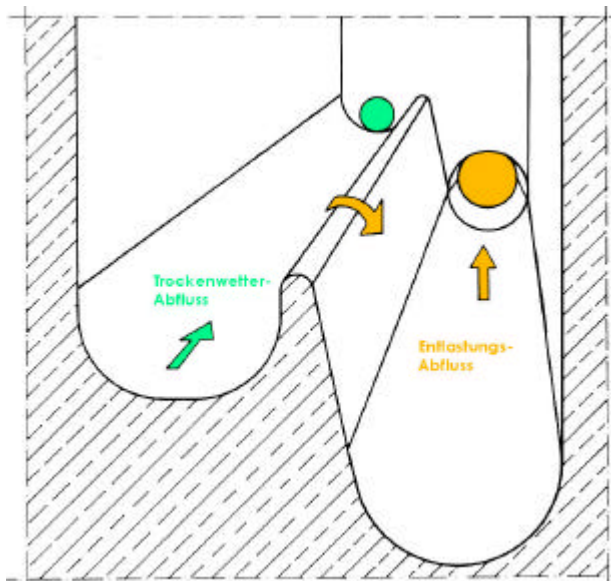
Durchflussmessenrichtungen findet man an zahlreichen Stellen auf dem Gebiet der Abwasserentsorgung. Sowohl an Kläranlagen als auch im Kanal spielt die Messung von Abwasservolumenströmen eine tragende Rolle zur Überwachung und Sicherstellung des ordnungsgemäßen Betriebs. Beispielsweise fordert die *Verordnung über Art und Häufigkeit der Selbstüberwachung von Abwasserbehandlungsanlagen und Abwassereinleitungen (SüwV)* [4] für Kläranlagen in Nordrhein-Westfalen ab einer Ausbaugröße von mehr als 500 Einwohnerwerten die kontinuierliche Messung der Abwassermenge im Zu- oder Ablauf, als Grundlage für die Berechnung von Schmutzfrachten.

Innerhalb des Kanalisationsnetzes verwendet man die Durchflussmessung u.a. zur Feststellung der hydraulischen Auslastung von Kanalquerschnitten; darunter fällt z.B. auch die systematische Ermittlung der Fremdwassermenge mit temporär eingebauten oder mobilen Durchflussmesssystemen. Der Schwerpunkt für die kontinuierliche Aufzeichnung langfristiger Abwasserganglinien im Kanal liegt jedoch im Bereich von Regentlastungsbauwerken. Bei heftigen Regenfällen dienen Regenbecken als Retentionsräume, durch welche Abflussspitzen kurzzeitig zurückgehalten und die Abflüsse zur Kläranlage auf ein verträgliches Maß (im Allgemeinen der doppelte Trockenwetterabfluss) begrenzt werden. Im Einzelfall führen langanhaltende Regenfälle bis zur Vollfüllung eines Beckens, so dass darüber hinaus zuflie-

ßendes überschüssiges Abwasser nahezu ungeklärt ins Gewässer abgeschlagen wird. Abflussmengenmessungen findet man häufig an den beiden Auslässen derartiger Regenbecken (vgl. Abbildung 1), d.h.

- am Beckenabfluss (Drosselstrecke), um die zur Kläranlage weitergeleitete Abwassermenge zu überwachen und gegebenenfalls durch mechanische Einrichtungen zu drosseln;
- an der Entlastung, als Nachweis für die mengenmäßige Einhaltung von wasserrechtlichen Auflagen der Genehmigungsbehörde bzw. zur frühzeitigen Feststellung unplanmäßig großer Abschlagsmengen.

Im ATV-DVWK Arbeitsblatt A 128 [5] in der derzeit gültigen Fassung vom April 1992 werden für die Eigenüberwachung von ... *wasserwirtschaftlich bedeutsamen Becken* ... *registrierende Wasserstandsmesseinrichtungen* ...



gefordert, um das Anspringen der Entlastungsbauwerke und ihre Auswirkung auf natürliche Gewässer abschätzen zu können. In Ergänzung zu dieser technischen Richtlinie sind im ATV-DVWK Arbeitsblatt A 111 [6] konkrete Informationen zur Konstruktion von Entlastungsschwellen enthalten, die gleichzeitig als Überfallbauwerke für hydraulische Volumenstrommeseinrichtungen genutzt werden sollen.

Abbildung 1: schematische Darstellung einer Regenentlastung

Neben senkrecht angeströmten Überläufen werden hier auch die hydrometrisch meist ungünstigen seitlich angeströmten Streichwehre und gekrümmte Überfallbauwerke diskutiert. Generell werden alle Messeinrichtungen durch die ungünstigen hydraulischen Bedingungen im Überlaufbauwerk (unruhige Zuströmung, starke Volumenstromschwankungen etc.) beeinträchtigt [7]. Betreiber der Regenentlastungseinrichtungen werden trotzdem in den seltensten Fällen ein separates Messbauwerk - beispielsweise im Entlastungskanal - errichten. Gründe hierfür sind zum einen betrieblicher Art (Rückstau bei hydraulischen Messbauwerken) zum anderen aber hauptsächlich betriebswirtschaftlicher Art, weil für zusätzliche Messeinrichtungen erhebliche Kosten befürchtet werden [8, 12].

In der Folge können die gemessenen Daten mit extrem hohen Fehlern (> 50 %) behaftet sein und eine darauf basierende Entscheidungsfindung in Frage stellen.

Zur Abschätzung des Handlungsbedarfs im Land Nordrhein-Westfalen wird mit der vorliegenden Studie eine Bestandsaufnahme der gängigen Messsysteme in Regenentlastungsbauwerken sowie eine Abschätzung des Aufwands für Einbau, Betrieb und Wartung der Einrichtungen erstellt. Zunächst werden die vielfältigen rechtlichen und technischen Anforderungen an Durchflussmeseinrichtungen, hier besonders zur Durchflussmessung in Entlastungsbauwerken, dargestellt.

In einer daran anschließenden Bestandsaufnahme werden diese Anforderungen anhand der Ergebnisse einer einheitlichen Umfrage bei Herstellern und Betreibern solcher Messeinrichtungen konkretisiert und auf ihre betriebliche Umsetzung überprüft.

Es wird geklärt, inwieweit möglicherweise gesetzlich verankerte Maßgaben notwendig sind, die abweichend von den derzeit gültigen technischen Richtlinien eine weitergehende Genauigkeit und Zuverlässigkeit der Messwertermittlung für bestehende und neu zu errichtende Bauwerke fordern und gewährleisten.

### **3 Rechtliche und Technische Anforderungen**

#### **3.1 Rechtliche Anforderungen**

Für den Betrieb von Abwasseranlagen, hier besonders den Messeinrichtungen an Regenbecken, sind die bestehenden gesetzlichen Auflagen von großer Bedeutung. Zu diesen gehören insbesondere die Eigenkontrollverordnungen der Länder. Die bereits erwähnte Selbstüberwachungsverordnung Kanal des Landes NRW (SüwV Kan) [1] beinhaltet diesbezüglich nicht nur die Auflage „[...] bei wesentlichen Abwassereinleitungen [...]“ aus Entlastungsbauwerken „[...] eines Kanalisationsnetzes zur Überwachung kontinuierlich aufzeichnenden Wasserstandsmessgeräte einzubauen.“. Im Anhang der SüwV Kan werden dem Betreiber dieser Messeinrichtungen zudem Vorschläge gemacht, wie bei der Überwachung und Wartung dieser Geräte vorzugehen ist. So wird hinsichtlich der Überwachungsintervalle auf Herstellerangaben verwiesen. Für die im Rahmen der Selbstüberwachung durchzuführenden Maßnahmen ist vom Betreiber eine Anweisung für die Selbstüberwachung aufzustellen. Gemäß §3 (2) der SüwV Kan sind dort sowohl Umfang, Art und Ziel der Zustands- und Funktionsprüfungen festzulegen. Über das Ergebnis dieser Überwachung ist gemäß §5 der SüwV Kan grundsätzlich ein Überwachungsbericht zu führen, der die Durchführung der vorgesehenen Maßnahmen protokolliert. Sofern keine Empfehlungen des Herstellers vorliegen und der Betreiber diesbezüglich keine eigene, betriebsbedingte Anweisung für die Selbstüberwachung aufgestellt hat, in der vergleichbare Überwachungsmaßnahmen geregelt werden, gilt gemäß SüwV Kan folgendes für

- Regenüberläufe:  
Jährliche Funktionsprüfung der Messeinrichtung, d.h. Probelauf nach Angaben des Herstellers.
- Regenklärbecken, Regenüberlaufbecken, Stauraumkanäle und Rückhaltebecken:  
Monatliche Prüfung der Funktionsfähigkeit der Messeinrichtung nach Herstellerangaben;  
Überprüfung der Gerätekenlinie, d.h. Kalibrieren nach Herstellerangaben.

Abhängig von dem Ergebnis der Selbstüberwachung werden im Runderlass „Anforderungen an den Betrieb und die Unterhaltung von Kanalisationsnetzen“ des Umweltministeriums NRW vom 03.01.1995 [9] die entsprechend durchzuführenden Betriebs- und Unterhaltungsmaßnahmen aufgeführt. Fehlerhafte Messeinrichtungen an Regenbecken sind demnach innerhalb eines Monats zu kalibrieren und neu einzustellen. Im Gegensatz zu den Vorgaben der SüwV Kan, gilt diese Frist als verbindlich und darf nicht durch eigene Anweisungen des Betreibers verändert werden. Hintergrund ist die Sicherstellung des einwandfreien Betriebs und der Funktionsfähigkeit aller Abwasseranlagen.



Über die durchgeführten betrieblichen Maßnahmen, sind gemäß Runderlass [9] Betriebsberichte zu führen, die neben Instandsetzungsmaßnahmen auch alle wesentlichen Betriebsstörungen dokumentieren.

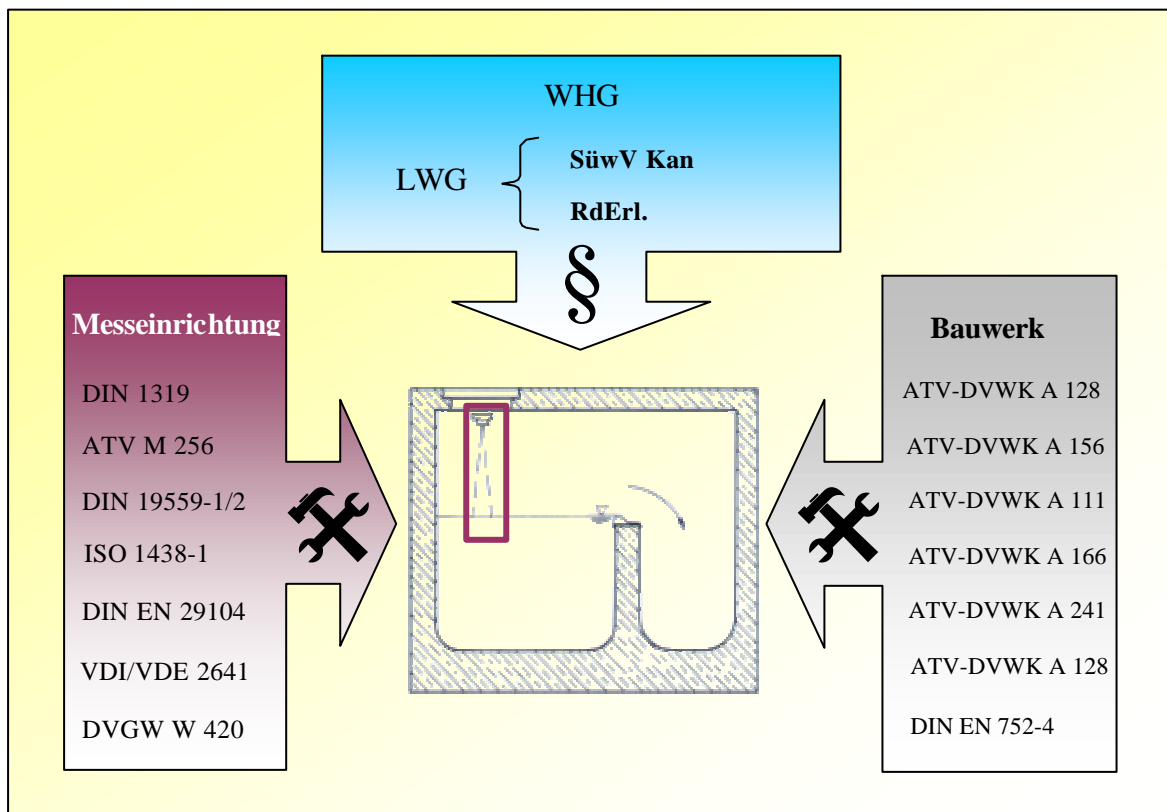
Zudem gelten für den Betrieb der Messeinrichtungen als Teil der Kanalisation die übergeordneten Vorgaben des Wasserrechts (siehe LWG und WHG). Beispielsweise wird in §18b des WHG und §57 LWG deutlich auf den Betrieb von Abwasseranlagen nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik (a.a.R.d.T.) verwiesen. Unter den Begriff der a.a.R.d.T. fallen zahlreiche technische Regelwerke, wie z.B. Arbeitsblätter von ATV-DVWK.

### 3.2 Technische Anforderungen

Die allgemein anerkannten Regeln der Technik zur Bemessung und Konstruktion von Regenbecken werden vor allem durch Arbeitsblätter der ATV-DVWK und DIN-Normen vorgegeben. Dabei lässt sich gemäß *Abbildung 2* unterscheiden zwischen den Normen,

- die fast ausschließlich Anforderungen an die Konstruktion und den Betrieb des *Entlastungsbauwerks* enthalten (Kapitel 3.2.1) und denen,
- die technische und betriebliche Anforderungen an das *Messverfahren bzw. die Messeinrichtung* beschreiben (Kapitel 3.2.2).

*Abbildung 2* und *Tabelle 1* enthalten eine Zusammenstellung der technische Normen, deren messtechnisch bedeutsame Anforderungen in den folgenden Kapiteln systematisch dargestellt sind.



*Abbildung 2: Anforderungen (a.a.R.d.T.) an die Messung von Abschlügen im Entlastungsbauwerk*

*Tabelle 1: Technische Anforderungen (a.a.R.d.T.) an die Messeinrichtung und das Entlastungsbauwerk*

<b>Anforderungen an die Messeinrichtung</b>	<b>Anforderungen an das Entlastungsbauwerk</b>
DIN 1319 – <i>Grundlagen der Messtechnik</i>	ATV A 128 – <i>Bemessung und Gestaltung von Regenentlastungsanlagen</i>
Arbeitsbericht ATV-AG 1.2.5 – <i>Quantitative und qualitative Abflussmessung</i>	ATV A 111 – <i>Hydraulische Dimensionierung und Leistungsnachweis von Regenwasserentlastungsanlagen</i>
Pegelvorschrift (LAWA & BMVIT) – <i>Richtlinie für das Messen und Ermitteln von Abflüssen und Durchflüssen</i>	ATV A 156 – <i>Regeln für den Kanalbetrieb – Regenbecken und –entlastungen</i>
ATV M 256 – <i>Anforderungen an Betriebsmesseinrichtungen auf Kläranlagen</i>	ATV A 166 – <i>Bauwerke der zentralen Regenwasserbehandlung und -rückhaltung</i>
DIN 19559 – <i>Durchflussmessung von Abwasser in offenen Gerinnen und Freispiegelleitungen</i>	ATV A 241 – <i>Bauwerke in Entwässerungsanlagen</i>
ISO 1438 – <i>Water flow measurement in open channels using weirs and venturi flumes, Part 1: Thin Plate Weirs</i>	ATV M 176 – <i>Konstruktive Gestaltung und Ausrüstung von Bauwerken der zentralen Regenwasserbehandlung und –rückhaltung</i>
DIN EN 29104 – <i>Durchflussmessung in geschlossenen Leitungen – Beurteilung des Betriebsverhaltens von magnetisch-induktiven Durchflussmessgeräten</i>	DIN EN 752-4 – <i>Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden – Hydraulische Bemessung und Umweltschutzaspekte</i>
VDI/ VDE 2641 – <i>Magnetisch-induktive Durchflussmessung</i>	
DVGW W 420 – <i>Magnetisch-induktive Durchflussmessung</i>	

### 3.2.1 Richtlinien für Entlastungsbauwerke

In der nachfolgenden Darstellung von Richtlinien für Entlastungsbauwerke werden die normativen Anforderungen unterschieden nach

- Anforderungen an das Bauwerk, welche die hydraulischen Messbedingungen beeinflussen;
- Anforderungen an die Messeinrichtung hinsichtlich der geeigneten Messverfahren, Messstellen und aufzuzeichnenden Messdaten;
- Anforderungen an die Instandhaltung und den Betrieb von Regenbecken und deren Messeinrichtung.

Aus den Anforderungen abgeleitete Schlussfolgerungen sind kursiv gedruckt und zusätzlich durch die Symbole ☺ bzw. ☹ gekennzeichnet, die anzeigen, ob aufgrund der zuvor genannten Anforderung eine Verbesserung bzw. Verschlechterung der Messbedingungen zu erwarten ist.

### 3.2.1.1 ATV-DVWK Arbeitsblatt A 128

Das ATV-DVWK Arbeitsblatt *Richtlinien für die Bemessung und Gestaltung von Regenentlastungsanlagen in Mischwasserkanälen* [5] definiert die Planungsgrundsätze, die Bemessungsgrundlagen und die Regeln für Bau und Betrieb von Entlastungsbauwerken der Mischwasserkanalisation. Die hydraulische Berechnung der Überlaufbauwerke ist nicht Gegenstand des ATV-Arbeitsblatts A 128, sondern wird in einer weiteren technischen Richtlinie, dem ATV-DVWK Arbeitsblatt A 111 (vgl. Abschnitt 3.2.1.2), eingehend behandelt.

Von wesentlicher Bedeutung für die messtechnische Ausrüstung von Regenbecken ist, dass nach ATV-DVWK Arbeitsblatt A 128 in wasserwirtschaftlich relevanten Becken zur Eigenüberwachung registrierende Wasserstandsmesseinrichtungen einzubauen sind. Im Gegensatz zu der Verpflichtung durch die Selbstüberwachungsverordnung Kanal (SüwV Kan [1]), *kontinuierlich aufzeichnende Wasserstandsmessgeräte einzubauen ..., mit denen die ... Überlaufmengen, -dauer und -häufigkeit ... zu ermitteln sind*, beschränkt sich die technische Richtlinie allerdings darauf, die *Registrierung der Überlaufständigkeit* zu fordern. Aus dieser wenig konkreten Formulierung kann zunächst nur abgeleitet werden, dass mit Hilfe der Wasserstandsmessung am Überlaufbauwerk Dauer und Häufigkeit von Entlastungsereignissen aufgezeichnet werden sollen.

Zudem sind im ATV-DVWK Arbeitsblatt A 128 folgende weitere Anforderungen formuliert:

#### *Hydraulisch wirksame Anforderungen an das Bauwerk*

- Die Überfallkante des Bauwerks soll einerseits sehr lang sein, zum anderen werden möglichst geringe Überfallhöhen angestrebt, um suspendierte Feststoffe im Kanal zurück zu halten.
- ☹ *Beide Bedingungen setzen die Eignung des Überlaufbauwerks für Durchflussmessungen erheblich herab.*
- Bei Stauraumkanälen mit unten liegender Entlastung:
  - Die horizontale Fließgeschwindigkeit am Beginn des Überlaufbauwerks soll im Fall der kritischen Regenspende von 15 l/s/ha 0,3 m/s nicht überschreiten.
  - Vor dem Entlastungsbauwerk soll z. B. durch allmähliche Aufweitung im Verhältnis 1:10 eine ausreichende Beruhigungsstrecke eingerichtet werden.
- ☺ *Prinzipielle Maßnahmen zur Strömungsberuhigung, die den Austrag von Schwebstoffen vermindern sollen, schaffen günstigere hydraulische Bedingungen für das Messbauwerk.*

#### *Anforderungen an die Messeinrichtung*

- Wasserwirtschaftlich bedeutsame Becken müssen mit registrierenden Wasserstandsmesseinrichtungen ausgestattet werden.
- Die Überlaufständigkeit kann auf Messstreifen oder auf sonstigen Datenträgern aufgezeichnet werden.
- Die Fernübertragung zu einem zentralen Überwachungsort (z. B. der Kläranlage) kann zweckmäßig sein.

### *Instandhaltung*

Es sind keine Anforderungen zur Instandhaltung formuliert.

#### **3.2.1.2 ATV-DVWK Arbeitsblatt A 111**

Das ATV-DVWK Arbeitsblatt A 111 *Richtlinien für die hydraulische Dimensionierung und den Leistungsnachweis von Regenwasser-Entlastungsanlagen in Abwasserkanälen und -leitungen* [6] behandelt die Bemessung von Neubauten sowie den Leistungsnachweis bereits bestehender Regenwasserentlastungsanlagen. **Einrichtungen zur Messung des Abwasservolumenstroms werden ausdrücklich aus dem Geltungsbereich ausgeschlossen.** Es ist geplant, das Arbeitsblatt in Abschnitt 2 *Mitgeltende technische Regeln* der DIN EN 752-4 (vgl. Abschnitt 3.2.1.3) aufzunehmen.

Der Anwendungszweck spiegelt sich sehr deutlich in den Konstruktionsregeln für die Überlaufbauwerke wider. Hier werden ausschließlich vereinfachende Annahmen zu den Randbedingungen des Überfalls gemacht. Für den hydraulischen Beiwert  $\mu$ , der streng genommen in Abhängigkeit von der veränderlichen Überfallhöhe steht [10], kann beispielsweise nach dem ATV-Arbeitsblatt A 111 für scharfkantige Wehre der konstante Wert  $\mu = 0,62$ , bei allen anderen geometrischen Ausführungen  $\mu = 0,50$  angenommen werden.

Diese für die Funktion der Überlaufschwelle als Entlastungsbauwerk hinreichend genaue Vorgehensweise zeigt allerdings Mängel, wenn die gleiche Schwelle als hydraulisches Messbauwerk verwendet werden soll. Der Fehler, der durch die Annahme eines konstanten Koeffizienten bei einer Überfallmengenmessung entsteht, kann bei scharfkantigen Wehren mehr als 50 % betragen [11, 12].

Zudem sind im ATV-DVWK Arbeitsblatt A 111 folgende weitere Anforderungen formuliert:

#### *Hydraulisch wirksame Anforderungen an das Bauwerk*

- Bei Regenüberlaufbecken (RÜBs) können senkrecht angeströmte Überlaufbauwerke eingesetzt werden, bei Regenüberläufen (RÜs) auch seitlich angeströmte.
- ☹ *Seitlich angeströmte Überlaufschwelle bieten in der Regel weniger gute Messbedingungen als senkrecht angeströmte.*
- Der Überfallstrahl muss belüftet werden.
- Scharfkantige Überfälle müssen auf planmäßig vorgesehener Höhe justiert und gegen Verstellung gesichert sein.
- ☺ *Beide Anforderungen begünstigen die Rahmenbedingungen für hydraulische Messbauwerke.*
- In Sonderfällen (speziell bei Rückstau) ist auch ein unvollkommener Überfall zulässig.
- Der hydraulische Beiwert  $\mu$  soll bei scharfkantigen Wehren mit 0,62, bei allen anderen Ausführungen mit 0,5 angenommen werden, wenn kein Einzelnachweis geführt wird.
- Auswirkungen von Tauchwänden auf den Entlastungsabfluss und die Überfallhöhe  $h_i$  müssen nicht berücksichtigt werden, wenn deren Abstand größer als  $2 \cdot h_{i \max}$  ( $> 0,3$  m) und die Eintauchtiefe zwischen  $h_i$  und  $2 h_i$  liegt.

☹ *Die hier genannten Vereinfachungen und Spielräume beeinträchtigen die Kennlinie des Messbauwerks. Sowohl konstante Beiwerte als auch der Einbau von Tauchwänden in den als unbedenklich eingestuften Grenzen erzeugen erhebliche Fehler [11,12].*

#### *Anforderungen an die Messeinrichtung*

Es sind keine Anforderungen an die Messeinrichtung formuliert.

#### *Wartung und Instandhaltung*

- Alle Anlagen zur Abflussbeeinflussung müssen regelmäßig inspiziert und mindestens einmal jährlich gewartet werden.
- Es sind nur Werkstoffe zulässig, die eine Erhaltung der geometrischen und funktionalen Eigenschaften gewährleisten.
- Bei beweglichen Teilen müssen die notwendigen Maßnahmen zum Erhalt in den Wartungsplänen enthalten sein.

### **3.2.1.3 ATV-DVWK Arbeitsblatt A 156**

Das Arbeitsblatt A 156 *Regeln für den Kanalbetrieb – Regenbecken und –entlastungen* [13] bezieht sich vorrangig auf den Betrieb, die Instandhaltung und die betrieblichen Anforderungen an Bau und Ausrüstung dieser Sonderbauwerke, die im Verlauf der Norm durchweg als Regenbecken bezeichnet werden. Bezüglich der betrieblichen Anforderungen an Bau und Ausrüstung wird verwiesen auf das ATV-DVWK Arbeitsblatt A 166 (vgl. Kap. 3.2.1.4). Für Hinweise zur konstruktiven Gestaltung der Regenbecken kann das ATV-DVWK Merkblatt M 176 hinzu genommen werden (vgl. Kap. 3.2.1.6).

Im Arbeitsblatt A 156 wird deutlich darauf hingewiesen, dass die Wartung, Kalibrierung und Auswertung von Messstellen einen erheblichen Aufwand für den Betrieb bedeutet und die Messungen daher auf unbedingt notwendige Becken beschränkt werden sollten. So sollen an betrieblich und gewässerschutztechnisch bedeutsamen Becken Messeinrichtungen vorgesehen werden, um z.B. die Beweisführung bei eventuellen Gewässerschäden zu erleichtern bzw. die Einhaltung der bescheidgemäßen Einleitbedingungen zu belegen.

Zudem sind im ATV-DVWK Arbeitsblatt A 156 folgende weitere Anforderungen formuliert:

#### *Hydraulisch wirksame Anforderungen an das Bauwerk*

Es sind keine hydraulisch wirksamen Anforderungen an das Bauwerk formuliert.

#### *Anforderungen an die Messeinrichtung*

- Funktion, Bedeutung und örtliche Randbedingungen bestimmen wesentlich die Anforderungen an die Messeinrichtung.
- Vorgeschlagene Messwerte:
  - Füllstand im Becken,
  - Beginn und Ende des Entlastungsereignisses,
  - Weitergeführter (nicht entlasteter) Abfluss,

- Stellung von Drosselorganen.
- Die Messwerte sind aufzuzeichnen und sollen in Messwertarchiven abgelegt werden.
- Die Messwerte sind auf Plausibilität zu überprüfen.
- Entsprechend der eigenen Anforderungen des Betreibers empfiehlt sich eine statistische Auswertung, z.B. nach Anzahl und Dauer der Entlastungsereignisse.

### *Instandhaltung*

- Regenbecken und –entlastungen sind regelmäßig zu inspizieren. Mindestens nach jedem größeren Regenereignis ist u.a. auch die Funktion der Fernüberwachung und der Messwerterfassung zu prüfen.
- Durch regelmäßige Wartung und Kalibrierung (gemäß Herstellerangaben), ist die Betriebssicherheit und Genauigkeit der Messwertaufnehmer zu gewährleisten.
- Die Messeinrichtungen sind bei der Beckenreinigung besonders zu berücksichtigen, d.h. besonders bei der zusätzlichen Reinigung von Hand sollten diese eingeschlossen werden.
- Inspektions-, Wartungs- und Reinigungsmaßnahmen sind ordnungsgemäß zu dokumentieren (s. auch Eigenkontrollverordnungen der Länder, z.B. SüwV Kan [1]).
- Bei Fernüberwachung kann der Wartungsaufwand u.a. für die Messeinrichtung reduziert werden.

### **3.2.1.4 ATV-DVWK Arbeitsblatt A 166**

Der Geltungsbereich des ATV-DVWK Arbeitsblatt A 166 *Bauwerke der zentralen Regenwasserbehandlung und –rückhaltung* [14] umfasst die konstruktive, ausrüstungstechnische und betriebliche Ausführung von u.a. Regenüberlaufbecken, Stauraumkanälen und Regenrückhaltebauwerken. Es wird auf die derzeit nur vereinzelt vorhandenen Messeinrichtungen in Entlastungsbauwerken hingewiesen, deren Bedeutung aber für die Zukunft als zunehmend bezeichnet. Von großem Nutzen sind diese Entlastungsmessungen insbesondere an den Stellen, an denen eine Kanalnetzbewirtschaftung (-steuerung) vorgenommen wird. Ebenso lassen sich die gewonnenen Daten als Grundlage verwenden, um Simulationsprogramme zu kalibrieren oder den Erweiterungsbedarf für ein Kanalisationsnetz abzuschätzen.

Zudem sind im ATV-DVWK Arbeitsblatt A 166 folgende weitere Anforderungen formuliert:

#### *Hydraulisch wirksame Anforderungen an das Bauwerk*

- Beckenüberläufe
  - Meist seitlich angeströmte Schwelle (z.B. Streichwehr) mit ein- oder beidseitigem Überlauf.
  - Seltener ist die Ausführung senkrecht angeströmter Wehre.
  - Vor der Überlaufschwelle (zulaufseitig) darf kein hydraulischer Wechselsprung entstehen.
  - Keine seitliche Einmündung von Kanälen in das Abschlagbauwerk.

☺ *Die Vermeidung von Wechselsprüngen und seitlichen Zuflüssen wirkt strömungsberuhigend und begünstigt damit die Messbedingungen.*

- Die maximale Schwellenbelastung (-beschickung) sollte ca. 300 l/(s·m) bei einem einjährlichen Abflussereignis nicht übersteigen.
- Feststoffabscheider (z.B. Tauchwände) sind außerhalb des Durchflussbereichs anzuordnen.

☹ *Der negative Einfluss einer Tauchwand wird vermieden.*

### Anforderungen an die Messeinrichtung

- Optionen für die Messwerterfassung
  - Durchflussmengenmessung
  - registrierende Wasserstandsmessung (mit Bezug auf ATV A 128 und der Eigenkontrollverordnungen besonders in bedeutsamen Becken)
  - Messung der Überlaufaktivität
  - Stellung von Schiebern, Wehren, etc.
- Allgemeine Anforderungen an die Durchflussmessung
  - Grundlage bilden die Messmethoden gemäß DIN 19559 [23,24].
  - Eignung eines Messverfahrens richtet sich z.B. nach Aufgabenstellung, hydraulischer Situation, angestrebter Genauigkeit sowie Investitions- und Wartungskosten.
  - Vorgeschlagen wird der MID zur Messung des Drosselabflusses, da mit diesem Verfahren der geringste Messfehler zu erwarten ist. Die Kosten steigen jedoch erheblich mit größeren Nennweiten.
  - Als weiteres Messverfahren wird die kombinierte Messung von Füllstand und Fließgeschwindigkeit vorgeschlagen.
- Entlastungsmessung
  - Die Entlastungsaktivität lässt sich durch Häufigkeit, Dauer und gegebenenfalls Volumen der Entlastungsereignisse erfassen.
  - Es gibt zwei Möglichkeiten der Entlastungsmessung: Wasserstandsmessung **vor der Entlastungsschwelle** oder **direkte Abflussmessung im Entlastungskanal** mit nur begrenzter Genauigkeit.
- Unsicherheiten bei der Wasserstandsmessung vor der Entlastungsschwelle
  - Zu geringe Auflösung des Messwertaufnehmers
  - Unsicherheit durch ungewissen oder falsch angenommenen Überfallbeiwert
  - Wasserspiegelschrägstellung (Streichwehr)
- Unsicherheiten im Entlastungskanal

- Großer Messbereich zwischen minimalem und maximalem Abfluss
- Sachgerechte Auswahl eines Messverfahrens, nach
  - Hydraulischen und
  - messtechnischen Gesichtspunkten.
  - Gefahrlose Zugänglichkeit

#### *Instandhaltung*

- Regelmäßige Kontrolle und Reinigung
- Nachkalibrierung

### **3.2.1.5 ATV-DVWK Arbeitsblatt A 241**

Das ATV-DVWK Arbeitsblatt A 241 *Bauwerke in Entwässerungsanlagen* [15] umfasst die konstruktive Ausführung solcher Bauwerke und bietet darüber hinaus Vorschläge zu hydraulischen, konstruktiven und sicherheitstechnischen Mindestanforderungen. Neben den zahlreichen übrigen Bauwerken eines Entwässerungsnetzes werden u.a. auch Regenüberlaufbauwerke der Mischkanalisation behandelt und für deren Bemessung auf das Arbeitsblatt A 128 [5] verwiesen. Falls erforderlich, wird der Einbau von Abflussmesseinrichtungen empfohlen.

Zudem sind im ATV-DVWK Arbeitsblatt A 241 folgende weitere Anforderungen formuliert:

#### *Hydraulisch wirksame Anforderungen an das Bauwerk*

- Ein- oder beidseitiges Überlaufbauwerk mit hochgezogener Schwelle oder Drossel.
- Gleichmäßige Verjüngung des Durchlaufgerinnes und damit verbunden ein vergrößertes Sohlgefälle.
- ⊗ *Beide Anforderungen setzen die Eignung des Überlaufbauwerks für Durchflussmessungen wegen der ungünstig beeinflussten hydraulischen Bedingungen (abfallender Wasserspiegel bzw. hohe Fließgeschwindigkeit) erheblich herab.*
- Ausbildung der Überlaufschwelle in Beton, Stahlbeton oder Klinkermauerwerk. Beton und Stahlbetonschwellen ohne Estrich.
- Auf ganzer Länge glatte und waagerechte Überlaufschwelle. Verwendung **vorgefertigter Halbschalen** wird empfohlen.
- Feststoffrückhaltung durch Tauchwand im Abstand von 0,3 – 0,5 m; Eintauchtiefe >20 cm.
- Durchflusshöhe unter dem Durchlaufgerinne bei beidseitiger Überfallschwelle >250 mm.

#### *Anforderungen an die Messeinrichtung*

Es sind keine Anforderungen an die Messeinrichtung formuliert.

#### *Instandhaltung*

Es sind keine Anforderungen an die Instandhaltung formuliert.



### 3.2.1.6 ATV-DVWK Merkblatt M 176

Das im Februar 2001 neu erschienene ATV-DVWK Merkblatt M 176 *Hinweise und Beispiele zur konstruktiven Gestaltung und Ausrüstung von Bauwerken der zentralen Regenwasserbehandlung und -rückhaltung* [16] versteht sich als Ergänzung zum bereits gebräuchlichen Arbeitsblatt A 166 (vgl. Kap. 3.2.1.4). Das Merkblatt M 176 dient vor allem als Hilfestellung für die konstruktive Gestaltung und Ausrüstung von Regenbecken. Behandelt wird hingegen nicht der spätere Betrieb solcher Regenbecken.

Zudem sind im ATV-DVWK Merkblatt M 176 folgende weitere Anforderungen formuliert:

#### *Hydraulisch wirksame Anforderungen an das Bauwerk*

- Sorgfältige Ausbildung der Wehrschwelle wegen der unmittelbaren Auswirkungen auf den in der Mengenermittlung zugrunde gelegten Überfallbeiwert. Empfohlen wird die Verwendung von auf der Schwelle montierten Messprofilen, deren Kennlinie im Labor ermittelt wurde. Von gekrümmten Entlastungsschwellen wird abgeraten.
- Beachten der Anströmbedingungen (keine näheren Hinweise auf günstige bzw. ungünstige Anströmbedingungen).
- Berücksichtigen der Schwellenlänge bei der Wahl einer Messstelle. Bei kürzeren Schwellen wird eine Messung in der Mitte des Entlastungsschwelle als ausreichend bezeichnet, während im Verlauf längerer Schwellen zur Erfassung des mittleren Wasserspiegels mehrere Messstellen empfohlen werden.
- Bei der Wahl des Messwertaufnehmers ist auf eine ausreichend große Messspanne zu achten. Insbesondere bei direkter Abflussmessung im Entlastungskanal kann die Messspanne eine Größenordnung erreichen, die nicht mehr durch ein Gerät mit ausreichender Genauigkeit zu erfassen ist.
- Bei der Auswahl einer geeigneten Messstelle ist ein ausreichender Abstand zur Entlastungsschwelle zu berücksichtigen, um den Wasserstand unbeeinflusst vom zur Schwelle hin abfallenden Wasserspiegel zu erfassen.
- Die Qualität der Messergebnisse wird durch den Einfluss einer Tauchwand erheblich verschlechtert.

#### *Anforderungen an die Messeinrichtung*

Verwendung finden in der Regel Einrichtungen zur Aufnahme des Wasserstandes, an die folgende Anforderungen gestellt werden:

- Messung des Wasserstandes mit einer Genauigkeit von  $\pm 1$  cm
- Aufzeichnungsintervall bei digitaler Speicherung  $< 1$  Minute
- Bei direkter Speicherung der in Entlastungsmengen umgerechneten Messwerte besteht die Gefahr, dass auftretende Messfehler nicht nachträglich korrigiert werden können. Nur bei Aufzeichnung der Rohdaten (z.B. Wasserstandsganglinien) können Messfehler wie z.B. der falsch kalibrierte Nullpunkt bzw. die Nullpunktdrift in den aufgezeichneten Messdaten nachträglich berücksichtigt und beseitigt werden.

- Bei Aufzeichnung der Entlastungsaktivität ist zu berücksichtigen, dass dieser Wert insbesondere aufgrund von Wellenbewegungen in der Regel entsprechend unscharf ausfällt. Nicht selten liegt die Zahl der gemessenen Entlastungsereignisse deutlich über der Einstauhäufigkeit des Beckens.
- Es dürfen nur explosionsgeschützte Messeinrichtungen betrieben werden. Davon ausgenommen ist das Lufteinperl-Verfahren, sofern dessen elektrischen Bauteile sich außerhalb des explosionsgefährdeten Bereichs befinden.

### *Instandhaltung*

Es wird empfohlen, die Messeinrichtung mindestens ½-jährlich zu überprüfen und bei Bedarf neu zu kalibrieren.

Für weitere Hinweise, die Wartung und Instandhaltung von Regenbecken betreffen wird auf den Entwurf des ATV-DVWK Arbeitsblatts A 140, Teil 2 *Regeln für den Kanalbetrieb – Regenbecken und Entlastungen* verwiesen, welches in der Fassung vom November 2000 als Weißdruck mit der Bezeichnung A 156 [13] erschienen ist (vgl. Kap. 3.2.1.3).

### **3.2.1.7 DIN EN 752-4**

Die europäische Norm DIN EN 752 *Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden* [17], enthält funktionale Anforderungen an Entwässerungssysteme in Freispiegelableitung, die nicht Bestandteil der Gebäudeentwässerung sind.

Teil 4: *Hydraulische Berechnung und Umweltschutzaspekte* befasst sich schwerpunktmäßig mit den Grundsätzen, die bei der hydraulischen Berechnung unter Beachtung von Umweltaspekten berücksichtigt werden müssen. Die Norm stellt fest, dass Auswirkungen auf die Umwelt unter anderem bei Regentlastungsbauwerken entstehen. Obwohl die Beeinflussung der natürlichen Gewässer nur kurzzeitig auftritt, können die dabei auftretenden Belastungen ein Mehrfaches der Schmutzfracht betragen, die durch Kläranlagen eingetragen wird. Bei der Auslegung von Regentlastungsbauwerken steht daher immer der Schutz der natürlichen Gewässer im Vordergrund. Dieses Ziel muss erreicht werden, ohne dabei die Kanalisation hydraulisch zu überlasten oder die Reinigungsleistung der Kläranlage herabzusetzen.

Zur Überprüfung dieser Vorgaben sollen Abflusssimulationsmodelle eingesetzt werden. Die Norm gibt allerdings keine Hinweise darauf, unter welchen Bedingungen die Eingangsdaten für diese Modelle gewonnen werden sollen, zu denen auch die Entlastungswassermenge und die –häufigkeit gehören. Angaben zu Messbauwerken oder –einrichtungen fehlen.

Die Norm verweist im informativen Anhang A (Quellen zusätzlicher Information) unter anderem auf die ATV-Arbeitsblätter A 111 und A 128 (vgl. Abschnitte 3.2.1.2 und 3.2.1).

### *Hydraulisch wirksame Anforderungen an das Bauwerk*

- Reduzierung des Feststoffaustrags auf ein annehmbares Maß (z.B. durch Tauchwände),
  - Die Auslaufsohle des Entlastungsbauwerks soll oberhalb des höchsten Wasserstands des natürlichen Gewässers liegen.
- ☺ *Durch diese Maßnahme wird ein unvollkommener Überfall am Entlastungs- und Messbauwerk vermieden.*

### *Anforderungen an die Messeinrichtung*

Es sind keine Anforderungen an die Messeinrichtung formuliert.

### *Instandhaltung*

Es sind keine Anforderungen an Wartung und Instandhaltung formuliert.

## **3.2.2 Richtlinien für Messeinrichtungen**

Die technischen Anforderungen an Durchflussmesseinrichtungen reichen von der DIN 1319 [18], die sich mit Begriffsdefinitionen und den allgemeinen „*Grundlagen der Messtechnik*“ befasst, bis hin zur VDI/ VDE 2641 „*Magnetisch-induktive Durchflussmessung*“ [27] oder ISO 1438-1 „*Thin Plate Weirs*“ [10], die bereits auf spezielle Anforderungen an bestimmte Messverfahren eingehen. Die messtechnischen Anforderungen dieser und weiterer Normen (vgl. Tabelle 1) werden in den folgenden Kapiteln ausführlich dargestellt.

### **3.2.2.1 DIN 1319**

Die Normenreihe DIN 1319 *Grundlagen der Messtechnik* (Teile 1 – 4 [18]) definiert Grundbegriffe der Metrologie, die unabhängig von der zu messenden Größe für alle Bereiche der Messtechnik Gültigkeit haben. Teil 3 befasst sich schwerpunktmäßig mit der Ermittlung der Messunsicherheit durch Auswertung von Messungen. Hierbei behandelt Teil 4 speziell den Fall, dass mehrere Messgrößen gemeinsam als Funktion anderer Größen ausgerechnet oder Ausgleichsrechnungen nötig werden (Beispiel: Ringversuche). Der Geltungsbereich der Norm erstreckt sich sinngemäß auch auf die Auswertung von rechnerisch simulierten Messungen.

Zu den in Teil 1 definierten Grundbegriffen gehören unter anderem folgende in der Durchflussmesstechnik häufig verwendeten Begriffe:

- Messprinzip,
- Messmethode,
- Messverfahren,
- Messwert,
- Messergebnis,
- Messabweichung,
- Messunsicherheit,
- Einflussgröße,
- Messgerät,
- Messeinrichtung,
- Messbereich,
- Aufnehmer,
- Kalibrierung,
- Justierung,
- Prüfung,
- Fehlergrenzen.

In der Fachliteratur werden insbesondere die Begriffe *Messprinzip*, *-methode* und *-verfahren* häufig synonym eingesetzt. Tatsächlich beschreibt das Messprinzip nach DIN 1319-1 die physikalische Grundlage einer Messung, eine Methode nur eine bestimmte Art des Vorgehens bei der Messung (z. B. Vergleichs- oder Differenz-Messmethode), während ein Verfahren die praktische Anwendung von Prinzip und Methode meint.

*Messwert* und *Messergebnis* werden von der DIN 1319-1 eindeutig der Ausgabe eines Messgeräts (*Messwert*) bzw. einem oder mehreren berichtigten Messwert(en) als Schätzung des wahren Werts der Messgröße (*Messergebnis*) zugeordnet und dürfen nicht synonym verwendet werden.

Wichtig in diesem Zusammenhang ist auch die Unterscheidung zwischen den Begriffen *Kalibrierung* und *Justierung*. Der Begriff *Kalibrierung* wird im technischen Sprachgebrauch häufig für Maßnahmen verwendet, die einen Eingriff in das Gerät bedeuten, korrekt also als *Justierung* bezeichnet werden müssen. Tatsächlich erfordert die Kalibrierung jedoch keinerlei Eingriff in das Messgerät. Vielmehr wird der Zusammenhang ermittelt, der zwischen dem Eingangswert, der Messgröße und der Ausgangsgröße, dem Messwert besteht. Nicht selten findet man hier auch fälschlicherweise den Begriff *Eichung*, der ausschließlich der Prüfung und Kennzeichnung eines Messgeräts nach den Vorschriften des Eichgesetzes und entsprechenden Verordnungen vorbehalten ist.

Die *Messunsicherheit* wird von der DIN 1319-1 als quantitatives Maß der Genauigkeit definiert. Sie geht zusammen mit dem *Messergebnis* in das *vollständige Messergebnis* ein, das z.B. in der Form

$$x = M \pm u$$

dargestellt werden kann (mit  $M = \text{Messergebnis}$ ,  $u = \text{Unsicherheit}$  und  $x = \text{vollständigem Messergebnis}$ ).

DIN 1319-3 legt die mathematischen Regeln zur Ermittlung der *zufälligen Messabweichung* und der *systematischen Messabweichung* als Bestandteile der *Messunsicherheit* fest. Der zufällige Anteil der Messunsicherheit ist als die (empirische) Standardabweichung des Mittelwerts definiert, für den systematischen Teil der Unsicherheit wird die Standardabweichung einer Verteilung von Werten für die systematische Messabweichung eingesetzt, die aufgrund von Erfahrungstatsachen möglich ist. Die *Messunsicherheit* der Messgröße  $y$  folgt aus der quadratischen Kombination der *zufälligen* und der *systematischen Unsicherheit*:

$$u(y) = \sqrt{u^2(x_1) + u^2(x_2)}$$

(mit  $u(x_1) = \text{Zufallsanteil der Messunsicherheit}$ ,  $u(x_2) = \text{systematischem Anteil der Messunsicherheit}$  und  $u(y) = \text{Gesamtmessunsicherheit der Messgröße}$ ).

Die Angabe des *Vertrauensbereichs* ist nach DIN 1319-3 grundsätzlich als **Zusatzinformation** zu verstehen.

*Fehlergrenzen* sind als Abweichungsgrenzbeträge für Messabweichungen eines Messgeräts definiert. Sie werden vereinbart oder in Spezifikationen bzw. Vorschriften vorgegeben. Im Sinne der DIN 1319-1 bezeichnet der Begriff *Verkehrfehler* Fehlergrenzen für den Gebrauch eines geeichten Messgeräts, die durch die Eichordnung vorgeschrieben werden. Mit Ausnah-

me des MID sind die zur Durchflussmessung eingesetzten Messgeräte jedoch aufgrund der ohnehin vorhandenen Messunsicherheit nicht eichfähig.

Für die *Prüfung* eines Messgeräts, d. h. die Feststellung, ob es die gesetzten Forderungen erfüllt, können zugelassene Werte der Einflussgrößen als *Referenzbedingungen* definiert werden.

### **3.2.2.2 Arbeitsbericht der ATV-Arbeitsgruppe 1.2.5**

Die ATV-Arbeitsgruppe 1.2.5 hat das Ziel, Durchflussmesstechnik zu dokumentieren und Verfahren zusammenzustellen, die für den Einsatz in Kanalnetzen und auf Kläranlagen geeignet sind. Messunsicherheiten und Genauigkeitsanforderungen bei der Durchflussmessung in Abwasser wurden im Arbeitsausschuss V 31 des Normenausschusses Wasserwesen (NAW) im DIN diskutiert. Die Ergebnisse dieser fachlichen Diskussion sind in die DIN 19 559, Teil 1, eingeflossen (vgl. Abschnitt 3.2.2.3).

Nach einer Übersicht über die unterschiedlichen Messverfahren und einer rein deskriptiven Darstellung der derzeit gängigen Messwertaufnehmer spricht der Arbeitsbericht [19] konkrete Empfehlungen zur Einrichtung von Durchflussmessstellen nach dem Stand der Technik aus. Aus den vorher vorgestellten Messverfahren, -aufnehmern und -geräten werden für eine kleine Untermenge, die besonders häufig im Abwasserbereich eingesetzt wird, Empfehlungen ausgesprochen.

#### *Allgemeine Anforderungen*

- Nach DIN 19 559-1 [23] werden zwei metrologische Klassen vorgeschlagen, mit höherer Fehlergrenze im unteren Belastungsbereich,
- Garantiefehlerermittlung: Kalibrierung auf einem Prüfstand unter Nennbedingungen,
- Verkehrsfehlerermittlung: Kalibrierung unter Betriebsbedingungen,
- Abweichungen von den Verkehrsfehlergrenzen können durch Kontrollmessungen festgestellt werden; das Messgerät muss eine höhere Genauigkeit als das zu überprüfende Gerät besitzen.

#### *Anforderungen an die Messverfahren*

##### *Venturi-Kanal*

- Die erzielbare Genauigkeit ist im unteren Messbereich eingeschränkt,
- die erzielbaren Genauigkeiten für Abflüsse an der unteren Bereichsgrenze müssen beachtet und die Venturi-Strecke richtig dimensioniert werden,
- das Verhältnis zwischen  $Q_{\min}$  und  $Q_{\max}$  sollte nicht kleiner als 0,1 sein,
- die Wassertiefe sollte möglichst berührungslos aufgenommen werden (Ultraschall-Echolot),
- das Gerinne oberstromig zum Venturi-Kanal muss gewartet werden (Ablagerungen entfernen),

- erhöhter Wartungsaufwand bei geringen Durchflüssen.

#### *Messwehr*

- Die Mindestwehrhöhe muss beachtet werden, damit der Überfallstrahl stets belüftet ist,
- aufgrund der Verschmutzungsempfindlichkeit im Abwasser nur für Kurzzeitmessungen geeignet.

#### *Wasserstandsmessung*

- Bei einem einzigen Querschnitt sehr unsicher, nur in Ausnahmefällen anwenden,
- hohe Anforderungen an die Genauigkeit des Wasserstandssensors.

#### *Geschwindigkeitsbestimmung durch Punktmessung, Messung entlang einer Messgeraden*

- Kalibrierung mit einem aufwendigeren Verfahren nötig.

#### *Geschwindigkeitsbestimmung über einen Messquerschnitt*

- Bei Abfluss mit freier Oberfläche müssen Kompensationsberechnungen ausgeführt werden,
- die erzielbaren Genauigkeiten sind bei freier Oberfläche geringer als beim vollgefüllten Querschnitt.

#### *Volumetrische Verfahren*

- Eingeschränkter Anwendungsbereich.

#### *Verdünnungsverfahren*

- Bei der Anwendung sind große Erfahrungen in der analytischen Chemie nötig,
- die Auswahl der Tracer-Substanzen ist wegen der Auflagen der Wasseraufsichtsbehörden eingeschränkt,
- aufgrund des hohen Aufwands nicht für Dauermessungen geeignet.

#### *Anforderungen an Messaufnehmer*

##### *Schwimmer, Stechpegel*

- Nur für Kurzzeitmessungen,
- im Abwasser verschmutzungsempfindlich.

##### *Druckmessdose*

- Große Gefahr der Verlegung und Verstopfung des Gerinnes,
- die Güteklasse muss nach dem Messzweck bestimmt werden.

### *Messflügel, Staurohr*

- Nur für Kurzzeitmessungen,
- im Abwasser verschmutzungsempfindlich.

### *Ultraschall-Echolot*

- Die Schallfrequenz sollte mehr als 40 kHz betragen, um Reflexionen von seitlichen Begrenzungen zu vermeiden,
- Schaum auf der Wasseroberfläche kann höhere Wasserstände vortäuschen,
- erhöhte Wartungsmaßnahmen zur Verhinderung von Schaumbildung im Gerinne,
- der Sensor darf nicht in Gerinnekrümmungen eingebaut werden.

### *Druckrohr-MID (Vollfüllungs-MID)*

- Gedückerte MIDs sollten im aufsteigenden Ast des Dükers eingebaut werden, um Verschmutzungen vorzubeugen,
- der Aufstau im Oberwasser und die Minstdurchflussgeschwindigkeit für den MID müssen beachtet werden,
- oberstromig zum MID werden in der Verzögerungsstrecke Wartungsarbeiten notwendig.

### *Gerinne-MID (Teilfüllungs-MID)*

- Im Kreisrohr ist ab einem Füllungsgrad von 0,5 eine reproduzierbare Messung mit einem Vollfüllungs-MID möglich,
- ein Gerinne-Teilfüllungs-MID arbeitet in Kombination mit einer Fließtiefenmessung oberhalb eines Füllstands von 0,5 verlässlich.

### *Ultraschallsensor (Doppler- und Laufzeitdifferenzenprinzip)*

- Vorteil durch geringeren baulichen Aufwand,
- geringere Messgenauigkeit als der Teilfüllungs-MID, nur in Sonderfällen anwendbar.

## **3.2.2.3 Pegelvorschrift, Anlage D**

Die mehrbändige Pegelvorschrift der LAWA und des BMVI behandelt messtechnische Grundlagen, die zur Erfüllung gewässerkundlicher Aufgaben notwendig werden. Im Vordergrund steht die Bestimmung des Abflusses aus Einzugsgebieten natürlicher Gewässer. Die Anlage D *Richtlinie für das Messen und Ermitteln von Abflüssen und Durchflüssen* [20] behandelt grundlegend das Thema der Volumenstrommessung, unabhängig davon, ob das Ergebnis als Abfluss im gewässerkundlichen Sinne oder abstrakt als Durchtritt von Wasser durch einen bestimmten Querschnitt gewertet wird. Primäres Ziel ist, verlässliche und genaue Daten zu hydrologischen Grundgrößen zu erhalten.

Die Anlage D zur Pegelvorschrift diskutiert die zur Zeit der Drucklegung aktuellen Verfahren zur Durchflussmessung:

- die Messung mit Messflügeln, Messgefäßen, Schwimmern und Markierungsstoffen,

- die Durchflussermittlung mit hydraulischen Verfahren,
- die Durchflussbestimmung an Staustufen und
- die Messung mit Ultraschallmessgeräten.

Alle Auflagen, Empfehlungen und Einschränkungshinweise konzentrieren sich auf die Anwendung der Verfahren in natürlichen Gewässern. Der Einsatz der Durchflussmessverfahren in künstlichen Gerinnen wird nur am Rande behandelt. Die äußerst detaillierten Angaben der Pegelvorschrift zur Handhabung der einzelnen Geräte und Auswertung der Ergebnisse können hier nicht im Einzelnen wiedergegeben werden.

### *Allgemeine Anforderungen*

- Eine Genauigkeit besser als  $\pm 5$  % kann nur unter sehr guten Messbedingungen erreicht werden und bedarf großer Sorgfalt,
- die Abschätzung der Unsicherheit muss nach DIN 1319-3 durchgeführt werden.

### *Messflügel*

- Anwendbarkeitsgrenzen:
  - erst ab einer Wassertiefe von 0,6 m,
  - nicht bei instationären Strömungsverhältnissen;
- Voraussetzungen für eine hohe Messgenauigkeit (maximal  $\pm 5$  %) sind:
  - festes, eindeutig fixiertes Messprofil,
  - ungestörte, weitgehend konstante Messbedingungen,
  - richtige Wahl des Flügeltyps und des Messverfahrens,
  - genau kalibrierte und einwandfrei funktionierende Messgeräte,
  - sorgfältiges Messen.

### *Volumetrische Verfahren (Messung mit Messgefäßen)*

- Nicht zur Messung größerer Abflüsse geeignet,
- bei großen Gefäßen (Becken) kann eine minimale Unsicherheit von  $\pm 3$  % erreicht werden.

### *Schwimmer (zur Geschwindigkeitsmessung)*

- Hauptsächlich zur Erkundung von Strömungsverhältnissen, weniger zur Durchflussbestimmung.

### *Verdünnungsverfahren (Markierungsstoffe)*

- Der Einsatz des Verdünnungsverfahrens wird wegen des erhöhten Aufwands auf Spezialanwendungen eingeschränkt,
- das Markieren von Gewässern stellt eine Gewässerbenutzung nach § 7 WHG dar und muss genehmigt werden,



- wenn radioaktive Tracer eingesetzt werden, muss das Strahlenschutzgesetz beachtet werden,
- der Anwender benötigt spezielle chemische Kenntnisse,
- um eine gute Durchmischung zu erreichen, sollte der Abfluss turbulent sein,
- gleichzeitig darf die Durchmischungsstrecke aber nicht zu lang sein, um Verluste des Tracerstoffes über undichte oder stark verzweigte Leitungen zu vermeiden.

### *Hydraulische Verfahren*

- Beachtet werden muss, dass die größten Unsicherheiten bei hydraulischen Verfahren dadurch auftreten, dass das erforderliche strömende Fließverhalten nicht überall vorhanden ist,
- weitere Unsicherheitsquellen sind konstant angesetzte hydraulische Beiwerte (mögliche Abweichungen > 30 %).
- Anwendbarkeitsgrenzen:
  - nur bei strömenden Verhältnissen im Oberstrom,
  - kein Rückstau,
  - geradlinige Anströmung mit möglichst gleichmäßiger Geschwindigkeitsverteilung ( $l_A > 5 \cdot h_{\max}$ ),
  - die Oberwasser-Fließtiefe sollte im Abstand  $l \geq 3 h_{\max}$  von der Überfallkante gemessen werden,
  - mindestens zweimal jährlich müssen Kontrollmessungen zur Überprüfung der Messeinrichtung durchgeführt werden,
  - die Messanlage ist so zu warten, dass die zugrundeliegenden Bedingungen eingehalten werden,
- mit hydrometrisch geeichten Anlagen können Genauigkeiten von  $\pm 5 \%$  erreicht werden.

### *Ultraschallmessgeräte (Laufzeitdifferenzenverfahren zur Geschwindigkeitsmessung)*

- In den meisten Fällen wird eine hydrometrische Eichung nötig, die Unsicherheit beträgt dann zwischen  $\pm 5 - 10 \%$ .
- nur einsetzbar, wenn eine Änderung des Durchflusses mit einer deutlichen Änderung der Geschwindigkeit verbunden ist,
- Partikel und Luftblasen schwächen das Signal,
- sorgfältige Wartung und hydrometrische Kontrolle erforderlich, ansonsten kann die Unsicherheit bis zu  $\pm 30 \%$  ansteigen.

### **3.2.2.4 ATV-DVWK Merkblatt M 256**

Der Geltungsbereich des ATV-DVWK Merkblatts M 256 *Anforderungen an Betriebsmeseinrichtungen auf Kläranlagen, Teil 1 - Allgemeine Anforderungen* [21] und *Teil 6 – Anforderungen an Messeinrichtungen zum Messen und Überwachen von Füllständen* [22] erstreckt

sich auf den Einsatz fest installierter, kontinuierlich arbeitender Messeinrichtungen auf Kläranlagen.

### **Teil 1 – Allgemeine Anforderungen**

Teil 1 des Merkblatts behandelt die allgemeinen Anforderungen, die die vorgesehenen Messeinrichtungen erfüllen müssen und gibt darüber hinaus Empfehlungen welche zusätzlichen Merkmale wünschenswert wären.

#### *Allgemeine Hinweise*

- Der Messbereich des Messwertaufnehmers einer Füllstandsmessung sollte den geometrisch möglichen Bereich geringfügig überschreiten (z.B. 0,1-4,0 m statt 3,80 m Beckentiefe)
- Als Anhaltswert für die zulässige Messunsicherheit gilt 5-10 % vom kleinsten im Normalbetrieb zu erwartenden Messwert.

#### *Die wichtigsten Forderungen*

- Korrosions- und schlagfestes Gehäuse für Messwertaufnehmer und Messumformer
- Durch den Hersteller vorkalibriertes Gesamtsystem
- Sichere Handhabung durch Plausibilitätsprüfung der Eingaben
- Dokumentation: deutsch, Kurzanleitung für Betrieb, Kalibrierung und Störungsbehebung, Hinweise zur Wahl des Messortes

#### *Die wichtigsten Empfehlungen*

- Werksseitig vorkalibrierte Messwertaufnehmer
- Meldung bei Ausfall der Messwertaufnehmer

### **Teil 6 – Anforderungen an Messeinrichtungen zum Messen und Überwachen von Füllständen**

Das Merkblatt gilt u.a. für Füllstandsmesseinrichtungen in Gerinnen, Becken und offenen oder geschlossenen Behältern. Gegenstand sind insbesondere Ultraschall-Echolote und hydrostatische Druckaufnehmer.

#### *Allgemeine Hinweise*

- Unter Berücksichtigung der Einbaubedingungen werden auch preiswerte Kompaktgeräte empfohlen, die Messwertaufnehmer und –umformer in einem Bauteil vereinen.
- Empfohlen werden für den Abwasserbereich berührungslose Füllstandsmesseinrichtungen, die keine regelmäßige Wartung erfordern.

### *Die wichtigsten Forderungen*

- Ultraschallmessenrichtungen: korrosionsbeständig gegen H<sub>2</sub>S, schwingungsgedämpft, Laufzeitkorrektur, Ausblenden von Störechos
- Hydrostatische Füllstandsmessung: korrosionsbeständig, Temperatursensor zur Temperatur- und Luftdruckkompensation
- Messunsicherheit ≤ 2% vom Messwert
- Kalibrierung durch direkte Dateneingabe vor Ort
- Wartungsfreie Instandhaltung

### **3.2.2.5 DIN 19 559-1**

Die DIN 19 559-1 *Durchflussmessung von Abwasser in offenen Gerinnen und Freispiegelleitungen: Allgemeine Angaben* [23] ist anwendbar für die Ermittlung des Durchflusses in Einrichtungen zur Abwasserableitung; ausgeschlossen sind Druckleitungen. Teile der hier formulierten Anforderungen sind das Ergebnis der Arbeit des Arbeitsausschusses V 31, Normenausschuss Wasserwesen (NAW) im DIN (vgl. Abschnitt 3.2.2.1).

### *Allgemeine Anforderungen*

- Bei der Auswahl eines geeigneten Messverfahrens muss berücksichtigt werden:
  - Eigenschaften des Abwassers,
  - Festlegungen des Messbereichs  $Q_{\min}$  bis  $Q_{\max}$ ,
  - hydraulische Randbedingungen, wie maximal zulässiger Energiehöhenverlust, Rückstau usw.,
  - Anforderungen an die Messgenauigkeit,
  - Art der Messung: kontinuierlich, diskontinuierlich,
  - Möglichkeit der Durchführung von Kontroll- bzw. Kalibriermessungen,
  - Betriebssicherheit und Wartungsfreundlichkeit,
  - örtliche Gegebenheiten;
- Messwertaufnehmer sollten generell folgende Eigenschaften aufweisen:
  - robust und wartungsarm,
  - keine Beeinträchtigung des Messquerschnitts,
  - hohe Langzeitkonstanz,
  - gute Genauigkeit,
  - großer Messbereich;
- der Durchfluss muss aus dem Messsignal eindeutig ableitbar sein,
- Messeinrichtungen für Dauermessungen müssen zuverlässig und wartungsfreundlich sein.

### *Messverfahren*

#### Venturi-Kanal

- Das Verhältnis zwischen  $Q_{\min}$  und  $Q_{\max}$  muss größer als 0,1 sein,

- die Genauigkeit im unteren Messbereich ist eingeschränkt,
- Rückstauinflüsse müssen beachtet werden.

#### Messwehr

- Im Vergleich zum Venturi-Kanal erhöhter Aufstau,
- erhöhter Wartungsaufwand durch stärkere Feststoffablagerung,
- die Mindestwehr- und –überfallhöhe müssen beachtet werden,
- Anwendungsgrenzen für Dreieckswehre:
  - je nach Öffnungswinkel erstreckt sich die Messbandbreite von 0,2 l/s bis 100 l/s,
  - das Verhältnis zwischen  $Q_{\min}$  und  $Q_{\max}$  muss größer als 0,01 sein;
- Anwendungsgrenzen für Rechteckwehre:
  - stark eingeschränkte Genauigkeit im unteren Teil des Messbereichs,
  - das Verhältnis zwischen  $Q_{\min}$  und  $Q_{\max}$  muss größer als 0,05 sein.

#### Wasserstandsmessung

- Nur zur Abschätzung, wenn nur ein Querschnitt zur Verfügung steht,
- kalibrierbar, wenn Messungen in zwei Querschnitten verwendet werden.

#### Geschwindigkeitsbestimmung durch Punktmessung, Messung entlang einer Messgeraden

- Es ist eine Kalibrierung über den gesamten Messbereich durch ein genaueres Messverfahren erforderlich.

#### Volumetrische Verfahren

- Nur für Kontrollmessungen geeignet.

#### Verdünnungsverfahren

- Der Anwender muss über große Erfahrung in der analytischen Chemie verfügen,
- es muss eine vollständige Durchmischung gewährleistet werden,
- wasserrechtliche Vorschriften müssen beachtet werden,
- nicht für Dauermessungen geeignet.

#### *Messwertaufnehmer*

##### Schwimmer, Stechpegel

- Die mechanisch bewegten Teile unterliegen sehr stark Umwelteinflüssen,
- durch Anlagerung von Wasserinhaltsstoffen oder Bewuchs kann der Fehler größer werden.

#### Druckmessdose

- Temperaturabhängigkeit, Nullpunktstabilität und Langzeitdrift müssen beachtet werden.

#### Druckmessung mittels Lufteinperlung

- Wartung des Tauchrohrs notwendig,
- die Mindestüberdeckung des Tauchrohrs muss beachtet werden.

#### Kapazitiver Wasserstandssensor

- Nichtlinearitäten im unteren Messbereich müssen beachtet werden.

#### Ultraschall-Echolot

- Die Abhängigkeit der Schallgeschwindigkeit von der Temperatur und Feuchte der Luft muss beachtet werden.

#### Messflügel, Staurohr

- Empfindlich gegen Verschmutzung im Abwasser,
- nur für Kurzzeitmessungen geeignet.

#### Druckrohr-MID (Vollfüllungs-MID)

- Die Mindestfließgeschwindigkeit muss beachtet werden.

#### Gerinne-MID (Teilfüllungs-MID)

- Die Mindestfließgeschwindigkeit muss beachtet werden,
- Kalibrierung erforderlich.

#### Anforderungen an die Fehlerbestimmung

- Die Fehlergrenzen müssen unter Nennbedingungen für die vollständige Messeinrichtung ermittelt werden,
- die Nennbedingungen sind vom Hersteller oder Betreiber anzugeben,
- aufgrund der unvermeidlichen Fertigungsstreuungen müssen die Durchflussmesseinrichtungen einzeln kalibriert werden,
- für die Kalibrierung unter Nennbedingungen auf einem Prüfstand werden Garantiefehlergrenzen  $G_g$  angegeben; bei bauartkalibrierten Durchfluss-Messeinrichtungen wird das Doppelte der bestimmten Fehlergrenze angenommen,
- bei der Verwendung unter Nennbedingungen wird das Doppelte des Garantiefehlers als Verkehrsfehler  $G_v = 2 \cdot G_g$  angenommen,
- unter Betriebsbedingungen gelten die Verkehrsfehler, bei Abweichungen von den Nennbedingungen (Abwasser) wird ein Korrekturfaktor  $f$  eingeführt,

- der Messbereich wird in zwei Belastungsbereiche eingeteilt, begrenzt durch  $Q_{\min}$ ,  $Q_{\bar{u}}$  (beide als Bruchteile von  $Q_{\max}$  definiert) und  $Q_{\max}$ , für die verfahrensabhängig die Fehler  $G_{\bar{u}}$  (unterer Messbereich) und  $G_o$  (oberer Messbereich) festgelegt werden (vgl. nachfolgenden Abschnitt 3.2.2.6).

### 3.2.2.6 DIN 19 559-2

Die DIN 19 559-2 *Durchflussmessung von Abwasser in offenen Gerinnen und Freispiegelleitungen: Venturi-Kanäle* [24] ist anwendbar für die Ermittlung des Durchflusses mittels Venturi-Kanälen in öffentlichen und privaten Einrichtungen zur Abwasserableitung und –behandlung.

Die Norm enthält detaillierte Angaben zu der Bemessung der hydraulisch wirksamen Einengung einer Standardausführung des Venturi-Kanals, deren ausführliche Darstellung aufgrund der Komplexität des Themas nicht Gegenstand dieses Berichts sein soll.

#### *Venturi-Kanal*

- Anwendbarkeitsgrenzen:
  - nicht bei unzureichenden Platzverhältnissen,
  - Rückstau muss zur Gewährleistung der Ableitung unbedingt vermieden werden, d.h., die Verbauungsverhältnisse sollten **zwischen  $A_e/A_o = 0,3$  und  $A_e/A_o = 0,6$**  liegen,
  - der kleinste zulässige Durchfluss bei feststofffreiem Abwasser beträgt  **$Q_{\min} = 0,5$  l/s**, bei Rohabwasser müssen mindestens  **$Q_{\min} = 5$  l/s** erreicht werden,
  - die zulässige Mindestwassertiefe liegt bei  **$h_{\min} = 3$  cm**,
  - das Verhältnis zwischen dem größtem und kleinsten Abfluss sollte den Wert  **$Q_{\min} / Q_{\max} = 0,1$**  nicht unterschreiten,
  - im Zulauf muss auf eine Mindestfließgeschwindigkeit zur Erzielung einer ausreichenden Schleppspannung geachtet werden,
  - schießende Strömung im Oberwasser ist nicht zulässig,
  - grobsperrige Abwasserinhaltsstoffe müssen vermieden werden.
- in der **Einlaufstrecke** oberstromig zu der Verziehung müssen folgende Bedingungen eingehalten werden:
  - Länge mindestens das 10fache der Gerinnebreite  $b_o$ ,
  - konstantes Gefälle,
  - geradliniger Verlauf der Achse von Gerinne und Messquerschnitt,
  - gleich bleibender Gerinnequerschnitt,
  - keine zusätzlichen Ein- oder Ableitungen
  - keine Unebenheiten in der Gerinnesohle und –wandung,
  - strömender Abfluss ;

- die **Verziehung** muss folgende Bedingungen erfüllen:
  - tangentialer Anschluss an die Drosselstrecke,
  - die Länge sollte das 2fache der maximalen Oberwassertiefe nicht unterschreiten,
  - die Einengung muss so ausgeführt sein, dass im gesamten Messbereich die Grenzverhältnisse durchlaufen werden,
  - das Gefälle darf von der Verziehung bis zum Ende der Drosselstrecke nicht negativ, aber auch nicht größer als in der Einlaufstrecke werden;
- für die **Drosselstrecke** gilt:
  - die Länge sollte nicht weniger als das Doppelte der maximalen Oberwasserfließtiefe  $h_{0\max}$  betragen;
- die **Auslaufstrecke** muss so gestaltet sein, dass kein Rückstau auftritt und der Fließwechsel nicht behindert wird.

#### *Messwertaufnehmer*

- der Messwertaufnehmer muss im Abstand von  $1-2 \cdot h_{0\max}$  oberhalb der Verziehung angebracht werden,
- wenn hohe Abflüsse mit großer Genauigkeit erfasst werden sollen, kann der Aufnehmer im Abstand  $3 - 4 \cdot h_{0\max}$  angebracht werden,
- der Messaufnehmer muss mechanisch robust sein und darf die Strömungsgeometrie nicht beeinflussen.

#### *Wartung*

- Sämtliche Bereiche einschließlich der Einlaufstrecke müssen zur Wartung und Funktionsüberprüfung frei zugänglich sein,
- die regelmäßige Wartung umfasst: Funktionsprüfung, gelegentliche Kontrollmessung, Kontrolle auf Rückstaufreiheit,
- die gesamte Messeinrichtungen muss von Ablagerungen frei gehalten werden.

#### *Anforderungen an die Genauigkeit*

- Die Messbereiche eines Venturi-Kanals (Klasse I) werden durch die Grenzen ( $Q_{\min} = 0,1 \cdot Q_{\max}$ ) < ( $Q_{\text{ü}} = 0,3 \cdot Q_{\max}$ ) <  $Q_{\max}$  markiert (unterer und oberer Messbereich),
- bei einzelkalibrierten Venturi-Kanälen gilt für den Garantiefehler:  $G_g = G$ ,
- der Verkehrsfehler beträgt das Doppelte des Garantiefehlers:  $G_v = 2 \cdot G_g = 2 \cdot G$ , dieser Fehler ist maßgeblich für die Kalibrierung bzw. Nachkalibrierung,
- für bauartkalibrierte Bauwerke wird das Doppelte des Fehlers  $G$  angenommen, d. h., hier beträgt der Verkehrsfehler  $G_v = 2 \cdot G_g = 4 \cdot G$ ,
- kalibrierte Venturi-Messeinrichtungen (Gerinnebreite  $b_0 \geq 300$  mm) können im unteren Messbereich einen Fehler  $G = 5$  %, im oberen Bereich einen Fehler  $G = 3$  % erreichen,

- bei Gerinnebreiten unter 300 mm erhöht sich der Fehler auf  $G = 8 \%$  bzw.  $G = 5 \%$ ,
- der Anteil am Gesamtfehler, der durch den Messumformer und die Ausgabeeinrichtung beigetragen wird, sollte 1/3 der angegebenen Fehlergrenzen nicht überschreiten,
- nach der Fertigstellung muss eine Bau- und Funktionsabnahme durchgeführt werden,
- die ordnungsgemäße Funktion muss in festzulegenden Zeitabständen mittels Kontrolleinrichtungen überprüft werden.

### 3.2.2.7 ISO 1438-1

Die internationale Norm ISO 1438 *Waterflow measurement in open channels using weirs and venturi flumes – Part 1: Thin plate weirs* [25] legt Verfahrensweisen für die Messung des Durchflusses in offenen Gerinnen mittels Rechteck- und Dreieckswehren fest. Grundvoraussetzung für die Anwendung der Norm ist ein stationärer, freier und vollständig belüfteter Abfluss. Die in der Norm genannten Beiwerte gelten ausschließlich für einen Temperaturbereich von 5 bis 30° C. Die Norm enthält detaillierte Angaben zu der Bemessung des hydraulischen Bauwerks, die hier nicht im Einzelnen widergegeben werden können.

Im Jahr 1998 wurde die Norm durch einen Anhang (Amendment 1 [25]) ergänzt. Neben erweiterten Bedingungen zur Anwendung von Berechnungsformeln geht der Anhang speziell auf die Anwendung von Strömungsgleichrichtern zur Beruhigung der Strömung und Verkürzung der Einlaufstrecke ein.

#### Messwehr

- in der **Einlaufstrecke** oberstromig des Messwehrs müssen folgende Bedingungen eingehalten werden:
  - Länge mindestens das 10fache der Breite des Überfalls  $b$  bei maximaler Überfallhöhe  $h_{\max}$ ,
  - das Gerinne sollte glatt, eben und horizontal ausgebildet werden,
  - stationär-gleichförmige Strömung,
  - wenn Strömungsgleichrichter eingesetzt werden, beträgt der Mindestabstand zum Wehr wiederum das 10fache der Breite des Überfalls  $b$  bei maximaler Überfallhöhe  $h_{\max}$ ,
  - die Perforation des Strömungsgleichrichters muss etwa 40 – 60 % der gesamten durchflossenen Fläche betragen,
  - wenn die Überfallhöhe 2/3 der Überfallkantenhöhe  $p$  nicht überschreitet, kann die Einlaufstrecke durch einen Strömungsgleichrichter bei eingeschnürten Wehren auf  $B + 3 \cdot h_{\max}$ , bei nicht eingeschnürten Wehren auf  $B + 5 \cdot h_{\max}$  reduziert werden;
- für den **Überfall** gilt:
  - die Wehrplatte muss senkrecht zu Wänden und Sohle des Gerinnes eingebaut werden,
  - die Oberfläche im Anstrom sollte glatt ausgebildet sein,
  - der Ausschnitt muss mittig angebracht werden,
  - die Überfallkante sollte zwischen 1 – 2 mm dick sein,



- die Ansträgung bei dickeren Wehrplatten sollte einen Winkel von mindestens 45° bilden und muss sich unterstromig zum Wehr befinden,
  - der Überfallstrahl muss vollständig belüftet sein;
- die **Auslaufstrecke** muss so gestaltet sein, dass kein Rückstau auftritt und ein vollkommener Überfall gewährleistet ist.

#### *Messwertaufnehmer*

- Der Messwertaufnehmer muss im Abstand von  $4 - 5 \cdot h_{\max}$  vor der Überfallkante angebracht werden,
- die Nullpunkteinstellung muss überprüft werden.

#### *Wartung*

- Wehr und Gerinne im Ober- und Unterstrom müssen regelmäßig von Ablagerungen befreit werden, um die Genauigkeit der Messung zu gewährleisten,
- die Wehrplatte muss gegen Verstellung gesichert sein, Beschädigungen der Überfallkante beim Reinigen müssen unbedingt vermieden werden,
- vor der Wartung müssen die Konstruktionspezifikationen durchgesehen werden,
- Messaufnehmer müssen gesäubert und auf Lecks untersucht werden,
- die Messgenauigkeit muss regelmäßig überprüft werden,
- wenn ein Strömungsgleichrichter verwendet wird, muss darauf geachtet werden, dass die Lochplatte gereinigt wird, um eine minimale Durchlässigkeit von 40 % zu gewährleisten.

### **3.2.2.8 DIN EN 29104**

Die DIN EN 29104 *Durchflußmessung von Fluiden in geschlossenen Leitungen; Verfahren zur Beurteilung des Betriebsverhaltens von magnetisch-induktiven Durchflußmeßgeräten für Flüssigkeiten* [26] behandelt Untersuchungsverfahren für die Beurteilung des Betriebsverhaltens von magnetisch-induktiven Durchflussmessern (MID) in geschlossenen Leitungen. Die einheitlichen Verfahren sollen es Betreibern und Untersuchungsstellen ermöglichen, das Betriebsverhalten vergleichend zu überprüfen.

Der Anwendungsbereich ist ausdrücklich auf industrielle, in Rohrleitungen eingebaute magnetisch-induktive Durchflussmessgeräte beschränkt. Die im folgenden zitierten Anforderungen werden von der Norm für die Untersuchung auf Prüfständen genannt, gelten aber natürlich auch für die Einbaubedingungen bei Anwendung.

Die Norm enthält (anders als beispielsweise das DVGW-Arbeitsblatt W 420 (vgl. Abschnitt 3.2.2.10)) keine Anforderungen an die Genauigkeit.

#### *Allgemeine Anforderungen (MID)*

- Die Strömung muss stationär, axialsymmetrisch und frei von Drall und Pulsation sein,
- das leitende Medium und der MID müssen das gleiche elektrische Potential aufweisen,

- wenn vom Hersteller gefordert, müssen Erdungsringe verwendet werden,
- der Innendurchmesser der Einlaufstrecke darf nicht kleiner, aber auch nicht größer als 103 % des Innendurchmessers des Durchflussmessgeräts sein,
- die Einlaufstrecke muss mindestens 10 DN, die Auslaufstrecke mindestens 5 DN lang und ungestört sein,
- zur Beurteilung des Betriebsverhaltens müssen jeweils wenigstens drei Messungen bei 10, 25, 50, 75 und 100 % des Messbereichsendwerts durchgeführt werden.

### 3.2.2.9 VDI/VDE 2641

Die Richtlinie VDI/VDE 26 41 *Magnetisch-induktive Durchflussmessung* [27] hat das Ziel, einen Überblick über die Technik magnetisch-induktiver Durchflussmesseinrichtungen zu geben und einheitliche Begriffe und Methoden für die Prüfung und den Vergleich von Geräten festzulegen. Anforderungen an die Genauigkeit werden – anders als beispielsweise im DVGW-Arbeitsblatt W 420 (vgl. Abschnitt 3.2.2.10) – nicht formuliert.

#### *Allgemeine Anforderungen (MID)*

- MIDs sollten bevorzugt in senkrechten Leitungen eingebaut werden,
- in langen Steigleitungen sollte der Aufnehmer möglichst unten eingebaut werden, damit beim Leerlaufen der Leitung kein Unterdruck im Aufnehmer auftritt,
- beim Einbau in waagerechte Leitungen muss die Elektrodenebene ebenfalls waagrecht liegen,
- MIDs sind weitgehend unabhängig von Temperatur, Druck und Viskosität des Messstoffs,
- auch für verschmutzte, zähflüssige und feststoffhaltige Flüssigkeiten geeignet,
- zur Vermeidung von Ablagerungen sollte auf eine ausreichende Fließgeschwindigkeit geachtet werden,
- geringfügige Ablagerungen im Messrohr beeinträchtigen die Messung nicht, sofern ihre Leitfähigkeit nicht erheblich von der des Messstoffs abweicht,
- wenn eine störungsfreie Einlaufstrecke von mindestens  $5 \cdot DN$  und eine Auslaufstrecke von  $2 \cdot DN$  eingehalten wird, wird der Verkehrsfehler unter Einbaubedingungen nicht größer als 2 % werden,
- das Bezugspotential muss durch Erdungsringe o. ä. hergestellt werden,
- die Entfernung zwischen Aufnehmer und Messumformer sollte möglichst klein sein, um Störspannungen zu vermeiden.

#### *Kennzeichnung und Dokumentation (MID)*

- Das Typenschild des Aufnehmers muss enthalten:
  - Hersteller, Typ, Gerätenummer, Nennweite, Nenndruck, Hilfsenergie,
  - Werkstoffe,
  - Maximal zulässige Betriebstemperatur,

- Schutzart,
- Durchfluss- oder Geschwindigkeitskonstante;
- Das Typenschild des Umformers muss enthalten:
  - Hersteller, Typ, Gerätenummer,
  - Hilfsenergie,
  - Ausgangssignal;
- die Dokumentation des Herstellers soll eine Betriebsanleitung und eine technische Beschreibung enthalten,
- Die technische Beschreibung muss enthalten:
  - Beschreibung der Arbeitsweise von Aufnehmer und Messumformer,
  - Beschreibung des Aufbaus der Geräte,
  - technische Daten.

#### *Anforderungen an die Genauigkeit (MID)*

- MIDs, die im geschäftlichen oder amtlichen Verkehr verwendet werden, müssen geeicht sein,
- die Bauarten dieser Geräte müssen von der Physikalisch Technischen Bundesanstalt PTB in Braunschweig zur Eichung zugelassen werden,
- die Unsicherheit von Prüfeinrichtungen, die zur Überprüfung von MIDs eingesetzt werden, darf nicht größer als ein Drittel der Fehlergrenze der zu prüfenden Messeinrichtung sein,
- der Prüfstand muss so ausgelegt sein, dass eine möglichst axialsymmetrische, drallfreie Strömung im Aufnehmer gewährleistet ist.

#### **3.2.2.10 DVGW-Arbeitsblatt W 420**

Das DVGW-Arbeitsblatt W 420 *Magnetisch-Induktive Durchflussmessung – MID-Geräte* – [28] enthält ähnlich wie die DIN EN 29104 (vgl. Abschnitt 3.2.2.8) Anforderungen und Prüfbedingungen zur Beurteilung von magnetisch-induktiven Durchflussmessern (MID). Gleichzeitig werden aber auch Anforderungen an die Genauigkeit unter Prüf- und Betriebsbedingungen formuliert. Bei Erfüllung der genannten Anforderungen kann das untersuchte Gerät mit einem DVGW-Prüfzeichen ausgestattet werden.

Der Anwendungsbereich ist auf kaltes und bis auf 90° C erwärmtes Trinkwasser beschränkt, kann aber sinngemäß auf andere Medien, darunter auch Abwasser, erweitert werden.

#### *Allgemeine Anforderungen (MID)*

- Anwendbarkeitsgrenzen:
  - Mindestleitfähigkeit des Messmediums **20 mS/cm**,
  - nicht unter extremen Belastungen wie Druckstößen und Vibrationen,

- die Einlaufstrecke muss mindestens 5 DN, die Auslaufstrecke mindestens 2 DN lang sein,
- Querschnittsreduzierungen dürfen nicht größer als  $\varphi/2= 8^\circ$  werden,
- der Innendurchmesser des MIDs darf nicht größer als der der Einlaufstrecke sein,
- der Durchmesser des MIDs soll nur so groß sein, dass die größte Geschwindigkeit nicht unter 3 m/s liegt;
- Erforderliche Mindestbaulänge eines MID in Abhängigkeit vom durchströmten Querschnitt
  - DN 50 – DN 80:            200 mm
  - DN 100:                    250 mm
  - DN 150:                    300 mm
  - DN 200:                    350 mm
  - DN 300:                    500 mm

*Anforderungen an die Genauigkeit (MID)*

- Messgenauigkeit bei Prüfbedingungen (kompletter Aufbau):
  - 10 % < Q < 100 %            +/- 0,7 % vom Messwert M,
  - 1,5 % < Q < 10 %            +/- 0,07 % vom Endwert E,
- Messgenauigkeit unter Betriebsbedingungen:
  - 10 % < Q < 100 %            +/- 1 % vom Messwert M,
  - 1,5 % < Q < 10 %            +/- 0,1 % vom Endwert E,

*Wartung*

- jährliche Kontrolle der
  - Umgebungsbedingungen
  - Dichtigkeit von Flanschverbindungen
  - Funktionssicherheit der Netzeinspeisung
- Messtechnische Funktionsprüfung alle 4 Jahre
  - Empfohlen: Nachkalibrieren der Messaufnehmer und –umformer durch externe Kalibriergeräte (Kundendienst des Herstellers)

*Erstprüfung*

- Kalibrierung des Messwertaufnehmers auf einem eichamtlich zugelassenen Prüfstand
  - Prüfbedingungen: Messbereich 3m/s; Kalibrierung bei 1,5%, 10% und 100%

*Kennzeichnung (MID)*

- Die Kennzeichnung des Messaufnehmer sollte die folgenden Angaben enthalten:

- Hersteller, Typ, Gerätenummer, Nennweite, Nenndruck, Hilfsenergie,
- Werkstoffe (Auskleidung, Elektroden),
- Maximal zulässige Betriebstemperatur,
- Schutzart,
- Durchfluss- oder Geschwindigkeitskonstante,
- DVGW-Prüfzeichen mit Registernummer;
- Die Kennzeichnung des Messumformer sollte die folgenden Angaben enthalten:
  - Hersteller, Typ, Gerätenummer,
  - Hilfsenergie,
  - Ausgangssignal,
  - DVGW-Prüfzeichen und Registernummer.

### 3.3 Zusammenfassung der Anforderungen

Ziel der ersten Bearbeitungsschritte im Rahmen dieses Forschungsvorhabens war es, in den Kapiteln 3.1 und 3.2 die bestehenden rechtlichen und technischen Grundlagen bezüglich der Durchflussmessung darzustellen. Berücksichtigt wurden dabei sowohl die speziell für das Land Nordrhein-Westfalen geltenden gesetzlichen Bestimmungen der SüwV Kan [1] bzw. des ministeriellen Runderlasses vom 03.01.1995 [9] als auch landesübergreifende technische Hinweise aus Arbeitsblättern von ATV-DVWK sowie VDI, DVGW und DIN, welche als allgemein anerkannten Regeln der Technik (a.a.R.d.T.) zu verstehen sind. Die Vielzahl der verschiedenen Normen ließ sich gemäß *Abbildung 2* übersichtlich darstellen, indem man diese drei unterschiedlichen Anforderungsgruppen zuweist:

- **Rechtliche Anforderungen**, d.h. gesetzliche Bestimmungen, welche die Funktionsfähigkeit der Messeinrichtung sicherstellen;
- **Bauliche Anforderungen**, d.h. bauliche Auflagen für geeignete hydraulische Verhältnisse an der Messstelle;
- **Anforderungen an die Messeinrichtung**, d.h. z.B. erforderliche Messgenauigkeit, Mindestintervalle für die Kalibrierung, etc.

Bei näherer Betrachtung der Inhalte dieser Normen, wird deutlich, dass zumindest die Anforderungen an die Messeinrichtung detaillierter zu spezifizieren und nach Messverfahren bzw. Messwertaufnehmern zu unterscheiden sind. Die für die Messung am Entlastungsbauwerk wesentlichen Normen sind in den folgenden *Tabelle 2* bis *Tabelle 7* dargestellt. Ergänzend zum Überblick über den Inhalt dieser Normen enthält insbesondere der erste Tabellenabschnitt eine Einschätzung hinsichtlich der hydrometrischen Auswirkungen dieser Anforderungen. Dabei wird unterschieden zwischen Anforderungen, die die hydraulischen Bedingungen für eine Messung verbessern (+) und denen, die sich negativ (-) auf die Messbedingungen vor Ort auswirken.

Im Besonderen hervorzuheben sind zudem die folgenden immer wiederkehrende Forderungen nach

- Aufzeichnung der Messwerte als Rohdaten, d.h. z.B. Wasserstände, um auch nachträglich noch Messfehler bereinigen zu können [16];
- Berücksichtigung der meist negativen Einflüsse einer Tauchwand auf die Messbedingungen im Anströmbereich [16], [14];
- Sorgfältiger Gestaltung der Entlastungsschwelle bei Verwendung hydraulischer Messverfahren und Berücksichtigung eines höhenabhängigen Messwertes [16], [15];
- Regelmäßiger Wartung der Messwertaufnehmer gemäß Überwachungs- bzw. Betriebsanweisung einschließlich der Dokumentation aller Maßnahmen in Überwachungs- bzw. Betriebsberichten (vgl. u.a. [1], [9], [13], [16]).
- Die aufgezeichneten Messwerte sollten in regelmäßigen Abständen auf Plausibilität geprüft werden [13].

Von der Vielzahl möglicher Durchflussmessverfahren wurden in der zusammenfassenden Darstellung ausschließlich solche Messverfahren berücksichtigt, die für die erschwerten Bedingungen am Entlastungsbauwerk in Frage kommen. Die zunächst in den Kapiteln 3.2.1 und 3.2.2 erörterten Anforderungen an Venturi Kanäle bleiben demzufolge unberücksichtigt, da sich dieses Verfahren in seiner ursprünglichen Ausführung kaum für die Entlastungsmengenmessung eignet. Venturi-Kanäle könnten zur Messung an einem Regenbecken ausschließlich im Entlastungskanal eingesetzt werden. Aufgrund der dafür erforderlichen Größe des Bauwerks und der problematischen Strömungsverhältnisse (u.a. Turbulenz und Rückstau) ist die serienmäßige Ausrüstung von Entlastungskanälen mit einer solchen Messeinrichtung bisher jedoch nicht üblich. Eine Ausnahme bildet das von der Firma HST angebotene, den hydro-metrischen Bedingungen angepasste Messprinzip des Rückstau-Venturi-Kanals (Vertrieb unter dem Namen *Hassinger-Rinne*). Für dieses jüngst entwickelte, innovative Verfahren liegen jedoch erst wenige praktische Erfahrungen vor, so dass man nicht von einem gängigen Messsystem sprechen kann. Aus diesem Grund wird dieses Verfahren im Rahmen der noch folgenden Marktübersicht nur am Rande erläutert (vgl. Kapitel 4.1.1.6).

Tabelle 2: Anforderungen an Entlastungsbauwerke

Technische Regel	Anforderung	Wirkung auf das Messbauwerk	
<b>ATV-DVWK A 128</b>	<i>Hydraulisch wirksame Anforderungen an das Bauwerk</i>		
	Beruhigungsstrecke vor dem Überfallbauwerk, Fließgeschwindigkeit < 0,3 m/s (Stauraumkanäle mit Entlastung unten)	Verbesserung der hydraulischen Bedingungen am Messbauwerk	+
	Lange Überfallkante Geringe Überfallhöhe	Überfallhöhe nicht über die gesamte Schwelle konstant; Messfehler bei geringen Höhen größer	-
	<i>Anforderungen an die Meßeinrichtung</i>		
	Bei ww. relevanten Becken registrierende Wasserstandsmessgeräte mit Aufzeichnung auf Messstreifen oder anderen Datenträgern		
<b>ATV-DVWK A 111</b>	<i>Hydraulisch wirksame Anforderungen an das Bauwerk</i>		
	Bei RÜBs senkrecht angeströmte Überlaufbauwerke	Definierte Überfallbedingungen	+
	Belüfteter Überfallstrahl		+
	Justierung und Sicherung gegen Verstellen		+
	Unvollkommener Überfall bei Rückstau zulässig	Ohne Kalibrierung fehlerhafte Kennlinie	-
	Beiwert $\mu$ kann als konstant angenommen werden		-
	Tauchwände müssen nicht berücksichtigt werden, wenn der Abstand größer als $2 \cdot h_{i\max}$ (> 0,3 m) ist und die Eintauchtiefe zwischen $h_{i\min}$ und $2 h_{i\max}$ liegt		-
	<i>Wartung und Instandhaltung</i>		
	Regelmäßige Inspektion und mindestens einmal jährliche Wartung		
	Nur korrosionsbeständige Werkstoffe zulässig		
	Bei beweglichen Teilen müssen Erhaltungsmaßnahmen im Wartungsplan enthalten sein		
<b>DIN EN 752-4</b>	<b>Hydraulisch wirksame Anforderungen an das Bauwerk</b>		
	Sohle des Entlastungskanals soll höher als der höchste Wasserstand im natürlichen Gewässer liegen	Unvollkommener Überfall am Entlastungsbauwerk wird verhindert	+

Tabelle 3: Hydraulische Messverfahren

Technische Regel	Parameter	Anforderung
<b>Bauwerk</b>		
Pegelvorschrift	strömender Abfluss im Anstrom	unbedingt erforderlich; hat größten Einfluss auf die Messunsicherheit
Pegelvorschrift	Einlaufstrecke $l_A$	$> 5 \cdot h_{\max}$
Pegelvorschrift	hydraulische Beiwerte	dürfen nicht als konstant angesetzt werden; Fehler von mehr als 30 % können die Folge sein
Pegelvorschrift	Rückstau	nicht zulässig
<b>Messaufnehmer</b>		
Pegelvorschrift	Fließtiefenaufnehmer	im Abstand von $l \geq 3 h_{\max}$ von der Überfallkante
<b>Wartung</b>		
Pegelvorschrift	Wartungsumfang	die zugrunde liegenden Bedingungen der Messeinrichtung müssen erhalten bleiben
Pegelvorschrift	Kontrollmessungen	mindestens zweimal jährlich

Tabelle 4: Messwehr

Technische Regel	Parameter	Anforderung
<b>Anwendbarkeitsgrenzen</b>		
ATV-AG 1.2.5	Medium	aufgrund der Verschmutzungsempfindlichkeit im Abwasser nur für Kurzzeitmessungen geeignet
ISO 1438-1 Pegelvorschrift	Strömung	stationär-gleichförmig; schießende Strömung nicht zulässig; hat größten Einfluss auf die Messunsicherheit
DIN 19559-1	Hydraulische Kapazität	Aufstau vor dem Messwehr darf nicht zu hoch werden
DIN 19559-1	Verhältnis $Q_{\min}/Q_{\max}$	$> 0,01$ (Dreiecksmesswehre) $> 0,05$ (Rechteckmesswehre)
ATV-AG 1.2.5 DIN 19559-1	Genauigkeit an der unteren Bereichsgrenze	stark eingeschränkt
DIN 19559-1	Messbandbreite	0,2 L/s – 100 L/s (Dreiecksmesswehre); stark eingeschränkte Genauigkeit im unteren Teil des Messbereichs (Rechteckmesswehre)
Pegelvorschrift	Rückstau	nicht zulässig
Pegelvorschrift	hydraulische Beiwerte	dürfen nicht als konstant angesetzt werden; Fehler von mehr als 30 % können die Folge sein



<b>Messwehr (Fortsetzung)</b>		
<b>Technische Regel</b>	<b>Parameter</b>	<b>Anforderung</b>
<b>Einlaufstrecke</b>		
Pegelvorschrift ISO 1438-1	Länge	$> 5 \cdot h_{\max}$ ; $> 10$ fache Breite des Überfalls; kann mit einem Strömungsgleichrichter auf $B + 3 \cdot h_{\max}$ (eingeschnürte Wehre) bzw. $B + 5 \cdot h_{\max}$ reduziert werden (bei $h_{\max} < 2/3 p$ )
ISO 1438-1	Gerinnesohle und -wandung	eben, glatt, horizontal
ISO 1438-1 Pegelvorschrift	Strömung	stationär-gleichförmig; schießende Strömung nicht zulässig
ISO 1438-1	Strömungsgleichrichter	Abstand $> 10$ fache Breite des Überfalls; Perforation mindestens 40 – 60 %
<b>Überfall</b>		
ISO 1438-1	Wehrplatte	senkrecht zu Sohle und Wänden des Gerinnes, im Anstrom glatt ausgebildet
ATV-AG 1.2.5 ISO 1438-1	Mindestwehr-, -überfallhöhe	Überfallstrahl muss stets belüftet sein
ISO 1438-1	Ausschnitt	mittig
ISO 1438-1	Überfallkante	1 – 2 mm stark; Ansträgung mindestens 45°, unterstromig zum Wehr
<b>Auslaufstrecke</b>		
ISO 1438-1	Ausbildung	kein Rückstau; vollkommener Überfall gewährleistet
<b>Messwertaufnehmer</b>		
ISO 1438-1	Position	im Abstand von $4 - 5 \cdot h_{\max}$ vor der Überfallkante
ISO 1438-1	Justierung	Überprüfung der Nullpunkteinstellung
<b>Wartung</b>		
ISO 1438-1	Konstruktionsspezifikationen	bei der Reinigung beachten
ISO 1438-1	Ablagerungen	müssen regelmäßig im Ober- und Unterstrom entfernt werden
ISO 1438-1	Wehrplatte	muss gegen Verstellung gesichert sein; Überfallkante muss regelmäßig gereinigt werden, (Beschädigung der muss unbedingt vermieden werden)
ISO 1438-1	Messaufnehmer	müssen regelmäßig gereinigt und auf Lecks untersucht werden
ISO 1438-1	Strömungsgleichrichter	Lochplatte muss gereinigt werden, um eine minimale Durchlässigkeit von 40 % zu gewährleisten
ISO 1438-1	Messgenauigkeit	muss regelmäßig überprüft werden
<b>Fehlerbestimmung</b>		
DIN 19559-1	Messbereiche	$(Q_{\min} = 0,1 \cdot Q_{\max}) < (Q_{\tilde{u}} = 0,3 \cdot Q_{\max}) < Q_{\max}$
DIN 19559-1	Garantiefehler (Kalibrierung unter Nennbedingungen)	$G_g = G$ (Einzelkalibrierung), $G_g = 2 \cdot G$ (Bauartkalibrierung)
DIN 19559-1	Nennbedingungen	müssen vom Hersteller oder Betreiber angegeben werden
DIN 19559-1	Verkehrsfehler (Kalibrierung unter Verkehrsbedingungen)	$G_v = 2 \cdot G_g = 2 \cdot G$ (Einzelkalibrierung), $G_v = 2 \cdot G_g = 4 \cdot G$ (Bauartkalibrierung); maßgeblich für die (Nach-) Kalibrierung
DIN 19559-1 ATV-AG 1.2.5	Funktionsprüfung	nach Fertigstellung; in festzulegenden Zeitabständen mit Kontrolleinrichtungen wiederholen; das Messgerät muss eine höhere Genauigkeit als das zu überprüfende Gerät haben

Tabelle 5: Messwertaufnehmer für die Fließtiefe

Technische Regel	Parameter	Anforderung
<b>Ultraschall-Echolot</b>		
ATV-AG 1.2.5 ATV-DVWK M 256-2	Schallfrequenz	zur Vermeidung von Reflexionen > 40 kHz, besser > 60 kHz
ATV-DVWK M 256-2	Abstrahlwinkel	höchstens 20°W, besser < 7°W
ATV-DVWK M 256-2	Abstand zum Medium	höchstens 50 cm, besser < 30 cm
ATV-AG 1.2.5 ATV-DVWK M 256-2	Position	nicht in Gerinnekrümmungen; keine Schaumbildung auf der Wasseroberfläche zulässig; geschützt vor Sonneneinstrahlung
ATVDVWK M 256-2	Notwendige Ausstattung	Temperaturkompensation, beheizte Membran, korrosionsfest, Vergleichsmessstrecke, Störsignalunterdrückung
ATV-AG 1.2.5 DIN 19559-1	Fehler-Einflussfaktoren	Temperatur, Luftfeuchte
<b>Druckmessdose</b>		
ATV-AG 1.2.5 ATV-DVWK M 256-2	Notwendige Ausstattung	Temperaturkompensation, korrosionsfest, unempfindlich gegen Ablagerungen, keine Beeinträchtigung des Gerinneprofils
ATV-AG 1.2.5 DIN 19559-1	Fehler-Einflussfaktoren	Temperatur, Nullpunkt-, Langzeitdrift, Verschmutzung
<b>Druckmessgeräte mit Lufteinperlung</b>		
ATV-DVWK M 256-2 DIN 19559-1	Notwendige Ausstattung	Temperaturkompensation, korrosionsfest, unempfindlich gegen Ablagerungen, getrennte Luftleitung für Speisung und Messung, Schutz gegen Einfrieren der Leitungen, Regelung und Überwachung des Messluftstroms, Wartung der Luftleitungen
ATV-AG 1.2.5 DIN 19559-1	Fehler-Einflussfaktoren	Temperatur, Nullpunkt-, Langzeitdrift, Verschmutzung

Tabelle 6: Messumformer

Technische Regel	Parameter	Anforderung
ATV-DVWK M 256-2	Notwendige Ausstattung	Messanfang und –spanne einstellbar, Linearisierung über Polygonzug, Integrationseinrichtung (Mengenähler); <i>Empfehlungen:</i> Impulsausgang für Messwertübertragung und Probennehmeranschluss, Dämpfung einstellbar

Tabelle 7: Messwertaufnehmer für die Fließgeschwindigkeit

Technische Regel	Parameter	Anforderung
<b>Druckrohr-MID</b>		
<b>Anwendbarkeitsgrenzen</b>		
VDI/VDE 2641 DVGW W 420	Medium	muss elektrisch leitfähig sein (> 20 µS); Temperatur, Druck und Viskosität nicht relevant; auch feststoffhaltige oder zähflüssige Flüssigkeiten
ATV-AG 1.2.5 VDI/VDE 2641	Position	im aufsteigenden Ast des Dükers; möglichst weit unten, um Unterdruck im MID beim Leerlaufen der Leitung zu vermeiden; in waagerechten Leitungen muss die Elektrodenebene ebenfalls waagerecht liegen
ATV-AG 1.2.5	Hydraulische Kapazität	Aufstau im Oberwasser muss beachtet werden
ATV-AG 1.2.5 DVGW W 420	Durchflussgeschwindigkeit	systembedingte Mindestgeschwindigkeit beachten; unterhalb steigt der Messfehler rapide an; die größte Geschwindigkeit sollte nicht unter 3 m/s liegen
DIN EN 29104 DVGW W 420	Strömung	stationär, axialsymmetrisch, frei von Drall, Pulsation und Druckstößen
DIN EN 29104 DVGW W 420	Einlaufstrecke	> 10 DN (> 5 DN), Innendurchmesser darf nicht kleiner als der des MID, aber auch nicht größer als 103% sein; Reduzierungen dürfen nicht größer als $\phi/2 = 8^\circ$ werden
DIN EN 29104 DVGW W 420	Auslaufstrecke	> 5 DN (> 2 DN)
ATV-AG 1.2.5	Messung im offenen Gerinne	Messung ist im Kreisrohr ab einem Füllungsgrad von 0,5 reproduzierbar
<b>Wartung</b>		
ATV-AG 1.2.5	Ablagerungen	müssen oberstromig des MIDs entfernt werden; geringfügige Ablagerungen im Messrohr beeinträchtigen die Messung nicht (bei gleicher Leitfähigkeit wie das Medium)
<b>Kennzeichnung und Dokumentation</b>		
VDI/VDE 2641 DVGW W 420	Typenschild des Aufnehmers	Hersteller, Typ, Gerätenummer, Nennweite, Nenndruck, Hilfsenergie, Werkstoffe, maximal zulässige Betriebstemperatur, Schutzart, Durchfluss- oder Geschwindigkeitskonstante
VDI/VDE 2641	Typenschild des Umformers	Hersteller, Typ, Gerätenummer, Hilfsenergie, Ausgangssignal; (DVGW-Prüfzeichen und Registrierungsnummer)
VDI/VDE 2641	Technische Beschreibung	Beschreibung der Arbeitsweise von Aufnehmer und Messumformer, Beschreibung des Aufbaus der Geräte, technische Daten
<b>Ultraschall-Doppler-, Laufzeitdifferenzen-Geschwindigkeitssensor</b>		
<b>Anwendbarkeitsgrenzen</b>		
ATV-AG 1.2.5	-	nur in Sonderfällen, in denen Einrichtungen höherer Genauigkeit nicht eingesetzt werden können

## 4 Marktübersicht

Die Marktübersicht gibt einen Überblick über die derzeit aktuellen Produkte im Bereich der Entlastungsmengenmessung. Aus der Vielzahl sowohl kleiner als auch großer Anbieter wurden fünf namhafte und bundesweit tätige Hersteller und Ausrüster für den Bereich der Entlastungsbauwerke in die Marktstudie einbezogen (vgl. Tabelle 8). Grundlage für die Recherche waren die von den Firmen bereitgestellten Kataloge und Produktübersichten. Referenzen, Empfehlungen sowie Erfahrungen aus Bau und Betrieb wurden auf der Basis eines zuvor erarbeiteten, einheitlichen Fragenkatalogs in mehreren Gesprächen mit Firmenvertretern ermittelt.

### 4.1.1 Produktübersicht

Zur Messung der Entlastungsmengen bieten sich den Herstellern grundsätzlich zwei mögliche Standorte, um Ihre Messwertaufnehmer einzubauen. Eine Möglichkeit ist die Messung direkt am Überfallbauwerk, d.h. an der Entlastungsschwelle. Dem gegenüber steht die Durchflussmessung im Entlastungskanal (vgl. auch Abbildung 3).

Außer nach dem Standort der Messwertaufnehmer ist außerdem zu unterscheiden zwischen unterschiedlichen Messverfahren und Messwertaufnehmern, die zum Einsatz kommen. Unter den für die Entlastungsmessung angebotenen Messverfahren findet man vor allem solche, die den Volumenstrom

- *hydraulisch* erfassen. D.h. aufgrund einer Messung der Überfallhöhe im Oberwasser wird unter Verwendung von Überfallbeiwerten und hydraulischer Berechnungsformeln (z.B. nach Poleni) die Entlastungsmenge berechnet. Typischer Standort eines Messwertaufnehmers ist in diesem Fall das Überfallbauwerk.
- unter Verwendung der Kontinuitätsgleichung aus einer kombinierten Messung des Wasserstandes und der Fließgeschwindigkeit bestimmen – *v/h-Messung*. Üblicher Einsatzort für solche kombinierten Messwertaufnehmer ist der Entlastungskanal.
- über eine Messung der mittleren Fließgeschwindigkeit bei vordefinierter, durchströmter Querschnittsfläche erfassen (Verwendung der Kontinuitätsgleichung – *v/A-Messung*). Der Einsatz entsprechender Messwertaufnehmer ist ausschließlich für den Entlastungskanal vorgesehen.

Entsprechend der für die Entlastungsmessung möglichen Messverfahren findet man auf dem Markt eine begrenzte Anzahl von Messwertaufnehmern, mit denen die erforderlichen Parameter erfasst werden sollen. Zu unterscheiden ist insbesondere zwischen Messwertaufnehmern

- für den Wasserstand. Zu diesen zählen vor allem Ultraschall-Echolote zur Erfassung des Füllstandes von oberhalb des Wasserspiegels sowie Drucksonden, die den Wasserstand über die Messung des hydrostatischen Drucks von unterhalb der Wasseroberfläche registrieren.
- zur Messung der Fließgeschwindigkeit. Angeboten werden vor allem Ultraschall-Doppler, die auf unterschiedliche Weise eine Messung der mittleren Fließgeschwindigkeit ermöglichen.

- für die magnetisch-induktive Durchflussmessung (MID). Der MID findet wahlweise Verwendung als Vollfüllungs-MID im gedükerten Entlastungskanal oder als Teilfüllungs-MID im ungedükerten Entlastungskanal.

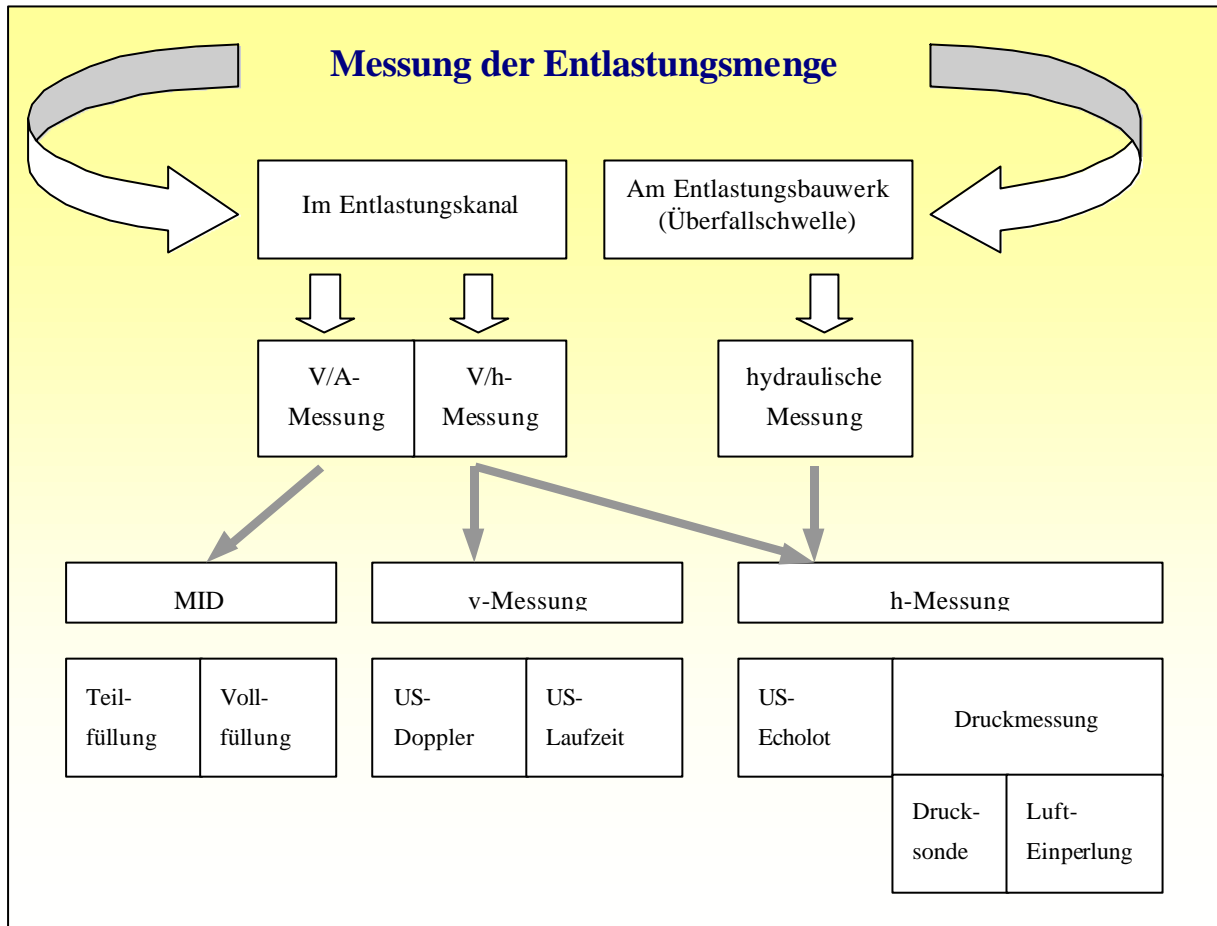


Abbildung 3: Entscheidungsgrundlage für die Wahl eines Entlastungsmengemessverfahrens nach Auswahl von Messstelle, Messverfahren und Messwertaufnehmer

Erweitert wird das Angebot der Messwertaufnehmer durch eine Zahl mechanischer Einrichtungen (z.B. bewegliche Wehre, Messprofile), die zum Teil durch weitere Messtechnik (z.B. Drehwinkelgeber) ergänzt werden.

Eine Übersicht der am Markt angebotenen Messsysteme für Regentlastungen ist in *Tabelle 8* dargestellt. Basierend auf Firmenprospekten und ergänzenden Auskünften der Hersteller wurden Angaben zu Messverfahren, Messwertaufnehmern, Messort und Messfehler zusammengetragen.

Tabelle 8: Übersicht gängiger Messsysteme für Regenentlastungsbauwerke

Ausrüster	Bezeichnung	Meßverfahren	Meßort	Meßaufnehmer	Fehler (nach Herstellerangaben)*	Rückstau
Vollmar, Stuttgart	Vollmar-Meßprofil	hydraulisch	Überlaufbauwerk, Vollmar-Meßprofil	US-Echolot	Meßprofil: 5 % Echolot: 2 - 3 % Linearsmg.: 2 %	
		v/h-Messung	Entlastungskanal	US-Doppler / Drucksonde		0,1
				US-Doppler / US-Echolot		10%
		v/A-Messung	Entlastungskanal, gedükt	Druckrohr-MID		2 - 5 %
		v/A-Messung	Entlastungskanal, ungedükt	Teilfüllungs-MID		5 - 15 %
UFT, Bad Mergentheim	Biegeklappe - Fluid Bend	hydraulisch	Überlaufbauwerk, Entlastungsschwelle mit definierter Q/h- beziehung, scharfkantige Stahl-Schwelle mit 45° Abschrägung	Drucksonde US-Echolot	1% vom Messbereichsendwert, Temperaturdrift 0,2%/10°C	
				Kapazitive Sonde	überwiegend Messung kleiner Wassermengen von max. 5 l/s	
	UFT setzt nach eigener Auskunft keine Messtechnik im Entlastungskanal ein					
W.A.S., Braunschweig		hydraulisch	Überlaufbauwerk	Drucksonde US-Echolot	wahlweise 0,2% bzw. 0,1% vom Endwert 0,2 - 0,25% vom Messbereich	
				Neigungs- / Drehwinkelsensor (Wehrklappenstellung)	Linearität: +/-0,1° im Messbereich von 0 ... +/-10° 1% v.B. im Messbereich von +/-10° ... +/-45° Temp.-fehler: +/-1% v.B. je 1°C Querneigungsfehler: < 1% bis 45°	+/-
			Komplettsystem: Kanal-Agent	Drucksonde	<0,25% vom Endwert	
Nivus, Eppingen		hydraulisch	Überlaufbauwerk	US-Echolot	0,25% v. Messwert (gemessener Abstand)	
				kapazitive Sonde	0,25% v. Messwert	
	OCM-Pro	v/h-Verfahren	Entlastungskanal	US-Doppler / Drucksonde US-Doppler / US-Echolot	US-Doppler (v): +/- 1% v. Messwert bzw. +/- 5 mm/s (größerer Wert gilt) US-Echolot (h): max. +/- 2mm Drucksonde (h): 0,25% FSO Langzeitstabilität +/- 0,1% FSO/Jahr	
HST, Meschede	System HST	hydraulisch	Überlaufbauwerk, scharfkantiges Wehr, Höhenverstellbar durch Langlöcher	US-Echolot	Ausführung der Schwelle gemäß ATV A 111: Überfallbeiwert $\mu = 0,6-0,64$	
	RSVK (Hassing Rinne)	hydraulisch	Entlastungskanal	US-Doppler /US-Echolot	0,05	0,05

\* Angaben zum Messfehler wurden den Produktinformationen der Hersteller entnommen. Sofern nicht anders angegeben, wurde der Begriff „Messfehler“ vom Hersteller nicht genauer definiert.

#### 4.1.1.1 Wasserstandsmessung mit Ultraschall-Echoloten

Die hydraulische Berechnung der Entlastungsmenge, z.B. unter Verwendung der Überfallformel nach Poleni, gehört zu den wohl am meisten angebotenen Messverfahren. Grundlage ist die Erfassung des Wasserspiegels im Oberwasser, vor der Überfallschwelle des Entlastungsbauwerks. Von den im Rahmen dieses Projektes näher betrachteten Herstellern bieten zu diesem Zweck alle die Messwerterfassung mittels Ultraschall-Echolot an (vgl. Tabelle 8).

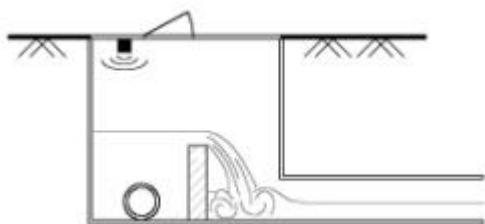


Abbildung 4: Ultraschall-Echolot vor der Entlastungsschwelle

### *Messfehler*

Auffällig ist diesbezüglich, dass dabei verschiedene Ausrüster durchaus auf Produkte des gleichen Fabrikats zurückgreifen, um diese in ihrer Ausrüstung für Regenbecken zu verwenden. Abweichungen des geräteeigenen Messfehlers der unterschiedlichen Ausrüster sind daher aufgrund der identischen Bauart kaum festzustellen. Im Bereich der US-Echolote gehört demzufolge ein geräteeigener Messfehler von  $< 0,25\%$  vom Messwert bzw.  $\pm 2$  mm bereits zum Standard. Für die Genauigkeit des gesamten Messergebnisses bei Verwendung eines Messprofils für die Entlastungsschwelle (vgl. Kapitel 4.1.1.3) wird eine Toleranz von 2 bis 3 % genannt. Gemäß Fehlerfortpflanzung addieren sich dazu außerdem Fehler bedingt durch das verwendete Messprofil sowie die Linearisierung der Q-h-Beziehung. Bei Ableitung der Überfallhöhe aus dem gemessenen Füllstand im Becken garantiert der Hersteller diese Toleranz von 2 bis 3 % jedoch ausschließlich für Schwellenhöhen, die kleiner als 2,50 m sind. Bei höheren Entlastungsschwellen wird ausdrücklich empfohlen, mindestens zwei Messwertaufnehmer (z.B. Ultraschall-Echolote) zu installieren, von denen eines den Füllstand ab Beckensohle aufnimmt, während das andere ausschließlich die Überfallhöhe registriert. Der Nullpunkt des Überfallmesswertaufnehmers sollte demnach auf Höhe der Überfallkante kalibriert worden sein.

### *Kalibrierung*

Von den im Rahmen dieses Projektes befragten Herstellern wurde die Einstellung und Kalibrierung des Nullpunktes der Ultraschall-Echolotmessung als eine der am häufigsten anzutreffenden Fehlerquellen angegeben. Trotz deutlicher Angabe des zulässigen Messbereichs in den Bedienungsanleitungen der vertriebenen Geräte wird oftmals der Nullpunkt auf zu große Entfernung vom Messwertaufnehmer eingerichtet, so dass von Beginn an keine zuverlässige Basis für die Wasserstandsmessung gewährt ist. Als weitere Fehlerquelle bezüglich der Messung mit Ultraschall-Echoloten wird die falsche Vor-Ort-Kalibrierung der Geräte angegeben. Nach Abschluss der Einbauarbeiten werden Nullpunkt und Maximalwert nicht fachgerecht eingemessen und dem Messwertaufnehmer als Messbereich angegeben. Um die Genauigkeit der Kalibrierung zu erhöhen, wird empfohlen, außerdem noch 2 bis 3 weitere Werte des Messbereichs in die Kalibrierung aufzunehmen. Das Ultraschall-Echolot kalibriert man in der Regel mit einer dafür vorgesehenen Kunststoffplatte, die in unterschiedlichen Höhen zum Messwertaufnehmer eingemessen wird.

### *Wartung*

Gemäß Herstellerangaben ist die einmalig nach Einbau vorgenommene Kalibrierung der Ultraschall-Messwertaufnehmer äußerst langzeitstabil, so dass während des Betriebs nur noch ein geringer Wartungsaufwand erforderlich ist. D.h. nach einmaliger Kalibrierung beschränkt sich die von den Herstellern empfohlene Wartung auf Sichtkontrollen, Reinigungsarbeiten sowie gelegentliche Funktionskontrollen, die meist durch einfache „Ein-Knopf-Bedienung“ am Messwertaufnehmer erleichtert werden. Einige Echolote verfügen zudem über eine 4-fache Ausführung des Signals, die den plötzliche Totalausfall der Messung verhindert. Der verschmutzungsbedingte Ausfall eines oder mehrerer dieser Signale gibt bereits den Hinweis auf eine zeitnah erforderliche Reinigung des Messwertaufnehmers.

Eine Nach- bzw. Neukalibrierung wird zwangsläufig nur bei entscheidenden Veränderungen am Bauwerk erforderlich, wie z.B. beim Umbau der Überfallschwelle hin zu einer neuen

Schwellenform bzw. Höhenveränderung, etc. (vgl. Kapitel 4.1.1.3). Damit zeigt sich gleichzeitig eine weitere häufig genannte Fehlerquelle. Bauliche Veränderungen an der Entlastung bzw. am Becken werden vom Betreiber oft ohne Berücksichtigung der dort vorhandenen Messeinrichtung durchgeführt. Die mangelnde Berücksichtigung veränderter Überfallbeiwerte oder neuer Nullpunkte führt zu Fehlern, die sich meist in der Größenordnung jenseits 50 % bewegen.

### *Einbaubedingungen*

Die Wasserstandsmessung mit dem Ultraschall-Echolot wird von einigen Ausrüstern sowohl für die hydraulische Messung der Überfallmenge vor der Entlastungsschwelle als auch für die Wasserstandsmessung in Verbindung mit dem v/h-Verfahren zur Abflussmessung im Entlastungskanal eingesetzt. Bei Verwendung des Ultraschall-Echolots im Entlastungskanal sind aufgrund der veränderten hydraulischen Bedingungen bedeutend höhere Messfehler in Kauf zu nehmen (vgl. Kapitel 4.1.1.4).

Hinsichtlich der hydraulischen und einbautechnischen Randbedingungen für ein Ultraschall-Echolot an der Entlastungsschwelle fallen einige von Herstellerseite häufig genannte Hinweise auf:

- die Messeinrichtung sollte nicht im Bereich des bereits abgesenkten Wasserspiegels nahe der Schwelle installiert werden
- an langen Entlastungsschwellen sollten mehrere Messwertaufnehmer im Verlauf der Schwelle vorgesehen werden.
- Mit nur einem Ultraschall-Echolot sollte möglichst in der Mitte der Schwelle gemessen werden

### **4.1.1.2 Wasserstandsmessung mit Druckmesssonden**

Ähnlich der Wasserstandsmessung mit dem berührungslosen Verfahren der Ultraschall-Messung ist die berührende Erfassung des Füllstandes im Becken mit Druckmesssonden ein ebenfalls vielfach angebotenes Verfahren (vgl. Tabelle 8) – häufig in Kombination mit einem Ultraschall-Doppler zur Fließgeschwindigkeitsmessung im Freispiegelgerinne des Entlastungskanals (vgl. Kapitel 4.1.1.4). Die Palette der Druckmesssonden umfasst zwei unterschiedliche Varianten der hydrostatischen Druckmessung. Zu unterscheiden ist zwischen der Messung mit **Druckmessdosen** (Abbildung 5, links) und der Messung mittels **Einperlverfahren** (Abbildung 5, rechts). Druckmessdosen werden abhängig vom Verwendungszweck auf gleicher Höhe mit der Entlastungsschwelle oder alternativ an der Beckensohle montiert und erfassen auf diese Weise entweder den hydrostatischen Wasserdruck bei Anspringen der Entlastung oder ab dem Beginn eines Beckeneinstaus. Dadurch, dass der Wasserdruck direkt über eine Keramikmembrane erfasst wird, die mit einem Dehnungsmessstreifen verbunden ist, kommt der Messwertaufnehmer einer Druckmessdose während des Einstaus im Becken grundsätzlich in Kontakt mit dem Medium Abwasser.



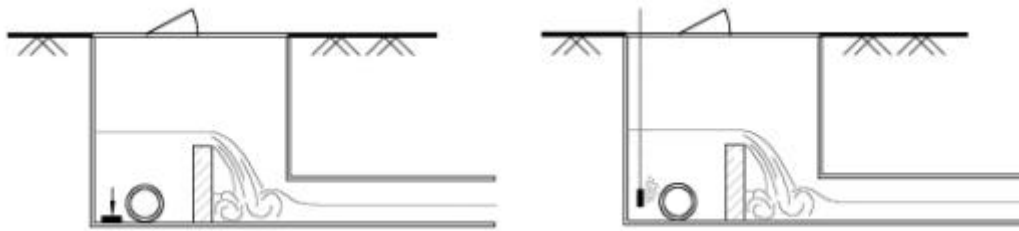


Abbildung 5: Wasserstandsmessung vor der Entlastungsschwelle – links: Druckmessdose – rechts: Lufteinperlverfahren

Anders beim alternativ angebotenen Lufteinperlverfahren. Bei diesem Verfahren besteht kein Kontakt zwischen dem Abwasser und der Messelektronik. Über eine aktive Leitung werden dabei in gleichmäßigen Abständen feine Luftperlen eingeleitet, die einen vom Wasserstand abhängigen Gegendruck erzeugen. Dieser Druck wird außerhalb des Abwassers vom Druckaufnehmer registriert und nach entsprechender Umrechnung als Wasserstand aufgezeichnet.

Im Gegensatz zum Ultraschall-Echolot, unterliegen Druckaufnehmer einem verstärkten Alterungseinfluss, der sogenannten „Nullpunktdrift“. D.h. bei normalem Luftdruck weicht das Gerät entgegen der Vorgabe vom Nullwert ab. Dieser Effekt ist zurück zu führen auf den Übergang von einer elastischen zu einer plastischen Verformung des Druck aufnehmenden Bauteils im Inneren des Messwertaufnehmers. Für Messsonden neueren Baujahrs hat sich die Langzeitstabilität nach Angaben der Ausrüster bereits deutlich erhöht. Genannt werden beispielsweise Messwertabweichungen von 0,1% pro Jahr. Ganz vermeiden lässt sich dieser Effekt bisher jedoch nicht. Der entstehende Messfehler kann nur durch eine Nachkalibrierung des Messwertaufnehmers ausgeglichen werden. Mit Hilfe eines künstlich aufgebrachtens Drucks bekannter Größe werden unterschiedliche Wasserstände simuliert, um den vom Gerät registrierten Messwerten entsprechend neue Wasserstände zuzuordnen.

Außer auf Langzeitstabilität wird seitens der Hersteller großer Wert auf eine Temperaturstabilität der Messtechnik gelegt. Kompensiert wird der **Temperaturfehler**, der sich für Drucksonden im Bereich von ca. 0,2 % je 10°C bewegt, durch integrierte Temperatursensoren, deren Messwerte automatisch in der Bestimmung des Endwertes berücksichtigt werden. Der geräteeigene Messfehler addiert sich zum Temperaturfehler und wird für Drucksonden mit ca. 1% vom Messbereichsendwert angegeben.

Hinsichtlich der Intervalle, in denen der Druckaufnehmer den anstehenden Wasserstand registriert, wird seitens der Hersteller üblicherweise ein Minutentakt vorgegeben. Sobald im Rahmen dieses Intervalls ein ansteigender Pegel registriert wird, werden die Abstände für die Messung auf ein dafür vorgesehenes Intervall verkürzt. Die Messwertaufzeichnung ist ereignisgesteuert.

#### 4.1.1.3 Entlastungsschwelle

Das ATV-Arbeitsblatt A 111 [6] sieht u.a. vor, bei Ermittlung von Überfallmengen an Entlastungsschwellen in der Berechnungsformel (z.B. nach Poleni) einen konstanten **Überfallbeiwert** von  $\mu=0,62$  zu verwenden. Dies ist jedoch nur ein Hinweis für die hydraulische Dimensionierung der Entlastungsschwelle und kann keine Grundlage für die Auswertung von Messergebnissen sein. Bei näherer Betrachtung der hydraulischen Verhältnisse ist ein konstanter Beiwert kaum zu vertreten. Statt dessen sollte unabhängig von der Art der Entlas-

tungsschwelle grundsätzlich ein höhenabhängiger Beiwert berücksichtigt werden. Hydraulische Untersuchungen haben gezeigt, dass bei schmalkronig-scharfkantigen Wehren der Überfallbeiwert zwischen Werten  $\mu=0,48$  bis  $\mu=0,64$  variiert [11]. Von entscheidender Bedeutung für die Variationsbreite dieses höhenabhängigen Beiwertes ist einerseits das Material, aus dem die Schwellenoberfläche besteht, und nicht zuletzt die Form der Entlastungsschwelle (vgl. Abbildung 6).

Geht man davon aus, dass in den Entlastungsbauwerken vorwiegend **vor Ort gefertigte Überfallschwelle** vorgesehen werden, so würde grundsätzlich für jede Beckenentlastung nach Fertigstellung eine Vor-Ort-Kalibrierung der Wasserstand-Abfluss-Beziehung (Q-h-Beziehung) erforderlich. Um diesen Kalibrieraufwand und die dabei leicht möglichen Fehler zu umgehen, bieten die Ausrüster von Regenbecken vorgefertigte Entlastungsschwellen an. Die Q-h-Beziehung solcher definierten Schwellen wurde bereits vor dem Einbau im Labor ermittelt, so dass sich das Augenmerk vor Ort ausschließlich auf den fachgerechten Einbau richtet.

Vielfach angeboten und verwendet werden **scharfkantige Wehrschwelle** aus Edelstahl, die auch für die nachträgliche Montage an einer bereits vorhandenen Betonschwelle geeignet sind. Gemäß der Vorgaben des Betreibers wird ein solches Edelstahlwehr mittels der dafür vorgesehenen Langlöcher auf die entsprechende Schwellenhöhe eingemessen und am Betonunterbau der bisherigen Schwelle montiert. Die Montage mit Langlöchern bietet den Vorteil, dass die Stahlschwelle auf lange Sicht höhenverstellbar bleibt und bei Bedarf auf neuer Höhe eingemessen werden kann. Das Querprofil entspricht in der Regel dem eines gemäß ISO 1438-1 [10] (vgl. Kapitel 3.2.2.7) um mindestens  $45^\circ$  abgeschrägten Messwehrs ähnlich Abbildung 6 (dritte v.l.).

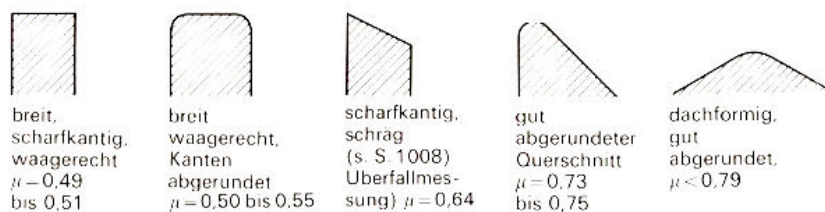


Abbildung 6: Kronenform und Überfallbeiwerte [29]

Neben den scharfkantigen Überfallschwelle findet man in der Produktpalette der Hersteller jedoch auch andersartig geformte Profile, für die der höhenabhängige Überfallbeiwert im Labor definiert wurde. Beispielsweise werden **vorgeformte GFK-Profile** mit bekannter Q-h-Beziehung angeboten, die sich auch zur nachträglichen Montage auf bereits vorhandenen Schwelle eignen.

### Messfehler

Unabhängig davon, ob eine scharfkantige Schwelle oder ein vorgeformtes Messprofil zur Anwendung kommt, muss grundsätzlich ein schwellenabhängiger Messfehler berücksichtigt werden, welcher im Sinne der Fehlerfortpflanzung in das Gesamtmessergebnis eingeht. Zusätzlich zum geräteeigenen Fehler des Messwertaufnehmers (z.B. Ultraschall-Echolot) liegt der durch die Form der Entlastungsschwelle bedingte Fehler nach Herstellerangaben z.B. bei ca. 5% für vorgeformte GFK-Messprofile.

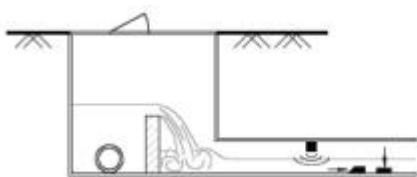
### *Bewegliche Wehrschwellen (Klappwehre)*

Vielfach ist es möglich, durch den nachträglichen Einbau einer Entlastungsschwelle das nutzbare Rückhaltevolumen im Regenbecken deutlich zu erhöhen. Schon die Erhöhung der Schwelle um einige Zentimeter hat bereits eine merklichen Vergrößerung des Stauraums zur Folge. Zur optimalen Nutzung des vorhandenen Stauraums bedient man sich verstellbarer Wehrklappen. Je nach Ausführung verändert sich der Neigungswinkel des Wehres mit oder ohne Aufwendung von Fremdenergie bei steigendem Wasserspiegel. Ziel ist es, den Wasserspiegelanstieg von Beginn bis Ende des Einstaus so gering wie möglich zu halten. Um ein starkes Ansteigen des Wasserstandes zu verhindern wird die Wehrschwelle zunehmend geneigt und damit die mögliche Entlastungsmenge proportional vergrößert wird. Auch für verstellbare Entlastungswehre muss eine definierte Q-h-Beziehung bekannt sein, um über eine Füllstandsmessung auf die Entlastungsmenge schließen zu können. Parallel zum Füllstand im Oberwasser ist der jeweilige Neigungswinkel des verstellbaren Wehres aufzuzeichnen, um daraus die Entlastungsmenge zu berechnen. Der erforderliche Drehwinkelgeber ist in dem Fall mit zusätzlichen Messunsicherheiten behaftet, die in der Berechnung des Gesamtwertes zu berücksichtigen sind. Maßgeblich für die Genauigkeit eines Drehwinkelgebers sind z.B. der Linearisierungsfehler, Temperatur- und Querneigungsfehler. Einige dieser vom Hersteller angegebenen Toleranzen sind Tabelle 8 zu entnehmen. Die Gesamtheit aller von den Herstellern als Einzelfehler angegebenen Werte (z.B. Wasserstandsmessung, Überfallbeiwert, Drehwinkelgeber) fließt gemäß dem Gesetz der Fehlerfortpflanzung in die Berechnung der Entlastungsmenge ein. Folglich ist der berechnete Gesamtwert in der Regel mit einem bedeutend größeren Fehler behaftet, als auf den ersten Blick zu vermuten gewesen wäre.

#### **4.1.1.4 V/h-Messung, kombinierte Messwertaufnehmer**

Verlässt man den Bereich der Produktpalette hydraulischer Messverfahren an der Entlastungsschwelle, dann wendet man sich automatisch der Durchflussmessung im Entlastungskanal zu (vgl. Abbildung 3). Eine seitens der Hersteller für diesen Bereich angebotene Möglichkeit der Abflussmessung ist die kombinierte Messung von Füllhöhe der Leitung und Fließgeschwindigkeit.

Für die Messung der Füllhöhe werden die gleichen Messwertaufnehmer eingesetzt, die bereits in den Kapiteln 4.1.1.1 und 4.1.1.2 beschrieben wurden. Neu hinzu kommen Messwertaufnehmer zur Erfassung der Fließgeschwindigkeit. In welcher Weise die Messungen kombiniert werden, richtet sich weitestgehend nach dem Angebot der Hersteller, die oftmals beide Messwertaufnehmer in einem Gerät kombinieren.



*Abbildung 7: Durchflussmessung im Entlastungskanal mit Ultraschall-Echolot, Ultraschall-Doppler und Druckmessdose (Messwertaufnehmer v.l.n.r.)*

Am häufigsten findet man die Kombination des Ultraschall-Dopplers zur Geschwindigkeitsmessung mit einer Druckmessdose zur Fließtiefenbestimmung. Im Vergleich zur hydraulischen Bestimmung der Überfallmenge an der Entlastungsschwelle hat man im Entlastungskanal mit bedeutend größeren Toleranzen zu rechnen. Die erhöhten Messungenauigkeiten sind insbesondere auf die wesentlich ungünstigeren hydraulischen Randbedingungen am Messort zurückzuführen.

Hohe Strömungsgeschwindigkeiten führen zu einer zunehmenden Ungenauigkeit der Ultraschall-Dopplermessung, während unvermeidlich entstehende lokale Turbulenzen im Bereich des Druckaufnehmers zu einer stark fehlerbehafteten Aufzeichnung der Fließtiefe führen.

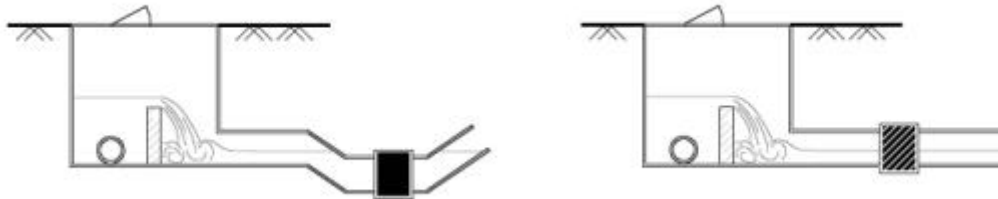
Ein weiteres bereits bekanntes Problem ist die unterschiedliche Verteilung der Fließgeschwindigkeit über den Rohrquerschnitt, z.B. durch Reibungsverluste an der Rohrwandung. Mit dem Ultraschall-Laufzeiten-Verfahren kann die Geschwindigkeit durch Reflexion an im Abwasser mitgeführten Feststoffen immer nur in einer Geraden durch den Querschnitt gemessen werden. Meist geht diese daraufhin als repräsentative Fließgeschwindigkeit unmittelbar in die Berechnung der Durchflussmenge ein.

Dem Problem, dass die gemessene Fließgeschwindigkeit aufgrund der unterschiedlichen Verteilung keineswegs repräsentativ ist, begegnen die Hersteller auf unterschiedliche Weise. Z.B. werden aufwendige Kalibrierungen der Messstelle vor Ort vorgenommen, d.h. nach Einrichten der Messstelle werden die hydraulischen Bedingungen für jeden Füllstand detailliert untersucht. Anhand der so gewonnenen Messergebnisse wird daraufhin eine messstellenspezifische Festlegung der Auswertesoftware für jeden Betriebszustand vorgenommen. Entscheidend für eine fachgerechte Kalibrierung ist die genaue Erfassung des Geschwindigkeitsprofils für unterschiedliche Füllstände und Strömungszustände.

Einen anderen Lösungsweg, um das Problem des unbekanntes Geschwindigkeitsprofils zu lösen, beschreitet die Firma NIVUS mit ihrer neuesten Entwicklung eines Messwertaufnehmers, der auf Basis digitaler Mustererkennung funktioniert. Mit diesem werden in unterschiedlichen Entfernungen und Höhen die Einzelgeschwindigkeiten im durchströmten Querschnitt erfasst und zu einem dreidimensionalen Strömungsprofil zusammengesetzt, dessen Werte unmittelbar als Dateneingang für die Berechnung des Volumenstroms nach Kontinuitätsgleichung verwendet werden.

#### 4.1.1.5 Magnetisch-induktive V/A-Messung

Die Zahl der Hersteller, die magnetisch-induktive Messwertaufnehmer anbieten, um den Durchfluss unmittelbar im Entlastungskanal zu erfassen, stellte sich im Rahmen der hier durchgeführten Recherche als sehr gering heraus. Lediglich die Firma Vollmar bietet in ihrer Produktpalette sowohl gedückerte (Druckrohr-MID) als auch ungedückerte (Teilfüllungs-MID) Messungen an (vgl. *Abbildung 8*).

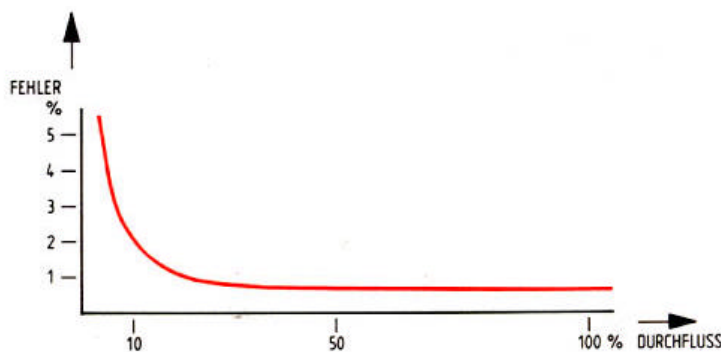


*Abbildung 8: Durchflussmessung im Entlastungskanal – links: gedückertes Druckrohr-MID, rechts: ungedückertes Teilfüllungs-MID*

Dabei liegt der Messfehler des Teilfüllungs-MID erwartungsgemäß vergleichsweise hoch gegenüber dem des Vollfüllungs-MID.

Nach Angaben des Herstellers liegt der Messfehler eines Teilfüllungs-MID im Bereich zwischen ca.  $\pm 5 - 15\%$  vom Messwert während der Fehler des Druckrohr-MID bei  $\pm 2 - 5\%$  liegt. Im Wesentlichen sind diese Werte von den am Messort vorliegenden hydraulischen Randbedingungen abhängig. Zudem steigt der Messfehler bei kleinen Überfallmengen in der Regel deutlich an, wie die qualitative Darstellung eines MID-Messfehlers in Abhängigkeit vom Volumenstrom in *Abbildung 9* deutlich zeigt. Der qualitative Verlauf dieser Funktion beschreibt den Messfehler eines gedückerten Vollfüllungs-MID. Für große Durchflussmengen zwischen 10 und 100% vom Messbereichsendwert wird der geräteeigene Messfehler vom Hersteller mit 0,5 bis 1% angegeben. Im Bereich kleinerer Durchflussmengen (ca. 0-10%) steigt der Messfehler jedoch exponentiell an.

Der nach heutigem Stand der Technik angesetzte maximal tolerable Verkehrsfehler von weniger als  $\pm 5\%$  [20] für stationäre Messeinrichtungen kann demnach nur bei Verwendung eines gedückerten Druckrohr-MID gerade noch eingehalten werden, während der Messfehler des Teilfüllungs-MID deutlich darüber einzuordnen ist.



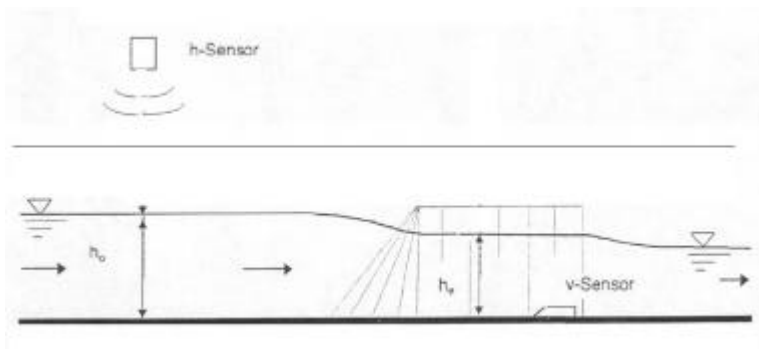
*Abbildung 9: Ansteigen des MID-Messfehlers (Verkehrsfehler) bei abnehmendem Volumenstrom (qualitativ) [30]*

Zu berücksichtigen ist, dass sowohl die für den Teil- als auch für den Vollfüllungs-MID angegebenen Messfehler grundsätzlich ideale hydrometrische Messbedingungen voraussetzen.

Tatsächlich trifft man diese Idealbedingungen im Entlastungskanal jedoch nur in ausgesprochenen Ausnahmefällen an. Unsymmetrische und teilweise schießende Strömungsverhältnisse erschweren in der Regel die Messbedingungen vor Ort, so dass auch bei Messung mit dem Druckrohr-MID ein wesentlich höherer Messfehler jenseits der gerade noch verträglichen 5% erreicht wird. Hinzu kommt, dass Entlastungskanäle aufgrund der stark variablen Abflussmenge vorzugsweise als Ei-Profile konstruiert werden. Der MID in seiner ursprünglichen Form eignet sich jedoch ausschließlich für kreisförmige Querschnitte, so dass dieser in vielen Entlastungsleitungen gar nicht zum Einsatz kommen kann.

#### 4.1.1.6 Rückstau-Venturi-Kanal

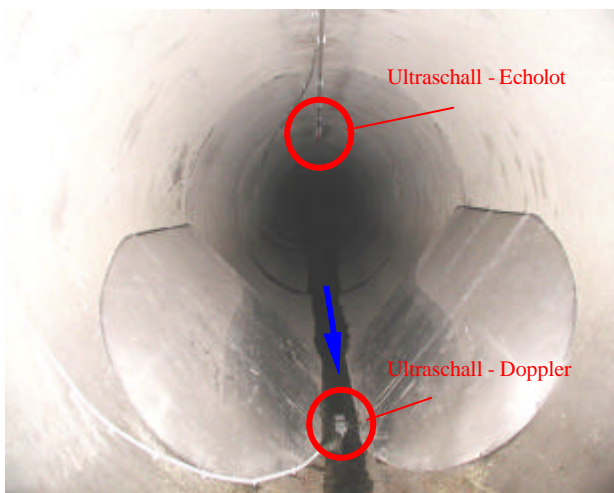
Das Messprinzip des Rückstau-Venturi-Kanals (RSVK) beruht ähnlich der v/h-Messung (Kapitel 4.1.1.4) auf einer gleichzeitigen Geschwindigkeits- und Wasserstandsmessung im Entlastungskanal. Der entscheidende Unterschied zur herkömmlichen Kombination dieser Mess-



wertaufnehmer besteht jedoch in einer Einengung des Querschnitts, vergleichbar dem Prinzip eines Venturi-Kanals.

Abbildung 10: Längsschnitt durch einen Rückstau-Venturi-Kanal [31]

Die Querschnittsverengung bewirkt eine Vergleichmäßigung des Strömungsprofils, so dass an dieser hydrometrisch günstigen Stelle der Messwertaufnehmer für die Fließgeschwindigkeit vorgesehen wird. Oberhalb der Einengung entsteht ein Rückstau, der dort zu strömenden Ab-



flussbedingungen und damit zu günstigen Bedingungen für die Wasserstandsmessung führt. Unter Verwendung der Bernoulli-Gleichung lassen sich die beiden in Fließrichtung auseinanderliegenden und vom Querschnitt her unterschiedlichen Messungen zusammenführen, so dass daraufhin mit Hilfe der Kontinuitätsgleichung der Volumenstrom bestimmt werden kann.

Abbildung 11: Konstruktion eines RSVK im Entlastungskanal Bochum-Markstrasse

Auf eine ausgiebige Diskussion dieses Verfahrens wird bewusst verzichtet, da bisher nur wenige betriebliche Erfahrungen vorliegen [31].

### 4.1.2 Investitionskosten für die Messeinrichtung nach Herstellerangaben

Die Investitionskosten für die Einrichtung einer Messstelle an der Regenbeckenentlastung müssen zunächst unterschieden werden in

- Kosten für den Messwertaufnehmer (z.B. Echolot),
- Kosten für den Messwertumformer, d.h. die Aufzeichnung der Messwerte,
- Kosten für die übrige Messstelleneinrichtung (z.B. Schaltschrank, Aufhängung, etc.), sowie gegebenenfalls
- Kosten für ein neu zu errichtendes Messbauwerk (z.B. Messschacht).

Die in dieser Aufzählung zuletzt genannten Kosten für das Messbauwerk findet man insbesondere bei der Einrichtung einer MID-Messstelle im Entlastungskanal. Einerseits entstehen zusätzliche Kosten dadurch, dass bei Verwendung eines Druckrohr-MID die Entlastungsleitung gedükert werden muss. Andererseits ist sowohl für den gedükerten MID als auch den ungedükerten Teilfüllungs-MID meist ein zusätzlicher Messschacht erforderlich, durch den die permanente Zugänglichkeit zur Messeinrichtung gesichert ist. Ein solches Messbauwerk wird im allgemeinen den größten Teil der Kosten für eine MID-Messung ausmachen. Hinzu

kommen jedoch auch die Kosten für den MID-Messwertaufnehmer, die stark abhängig vom Durchmesser des Entlastungskanals sind.

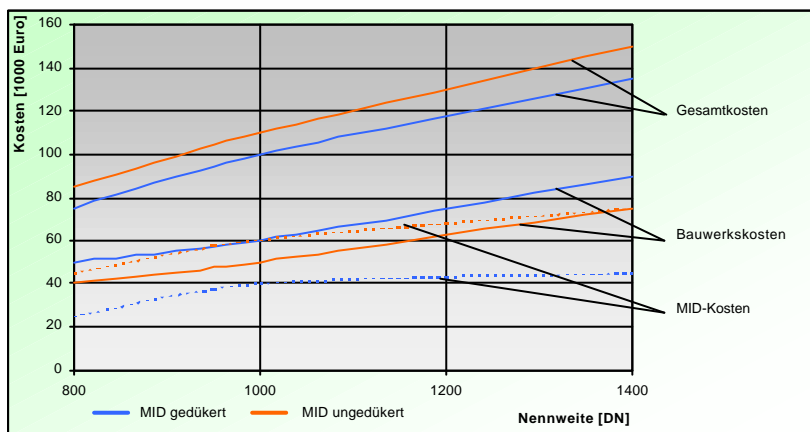


Abbildung 12: Kosten für eine MID-Messstelle im Entlastungskanal (nach Herstellerangaben [30])

Mit zunehmender Nennweite steigen diese Kosten von ca. 25.000 € für den gedükerten MID mit DN 800 auf bis zu ca. 45.000 € für den gedükerten MID mit DN 1400 (vgl. Abbildung 12). In diese Kosten ist neben dem Messwertaufnehmer und -umformer auch die erforderliche Messstelleneinrichtung eingeschlossen.

In Abbildung 13 sind diese Kosten für den MID-Messwertaufnehmer den Kosten für eine hydraulische Messstelle mit einem Ultraschall-Echolot sowie den Kosten für eine Messung mit kombinierten Messwertaufnehmern gegenüber gestellt. Dabei sind im Gegensatz zur vorherigen Abbildung 12 keine Kosten für den Einbau und die Inbetriebnahme berücksichtigt.

Wie zu erwarten war, liegen allein die Kosten für den magnetisch-induktiven Messwertaufnehmer bereits deutlich über den Kosten für andere Messverfahren, von denen das Messverfahren mit kombinierten Messwertaufnehmern wiederum deutlich mehr kostet als die einfache Wasserstandsmessung zur hydraulischen Ermittlung der Entlastungsmenge.

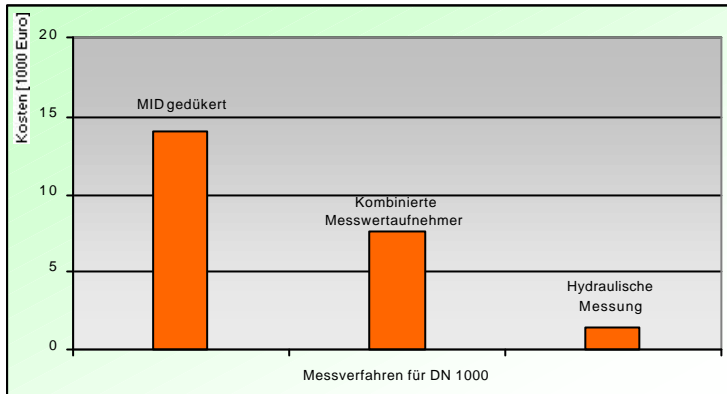


Abbildung 13: Kostenvergleich für gängige Messverfahren bei einem Entlastungskanal DN 1000 (Bestimmung nach Herstellerangaben [35], [30], [32], [33], [34])

Auf dem Hintergrund dieses Kostenvergleichs für einen Entlastungskanal DN 1000 hat man außerdem zu berücksichtigen, dass mit zunehmender Größe die Kosten für einen MID weiter zunehmen während die beiden anderen Verfahren vom Leitungsdurchmesser weitgehend unabhängig sind und daher auch bei einem durchaus nicht unüblichen Kanalquerschnitt von DN 2000 keine nennenswerte Preissteigerung zu erwarten ist.

#### 4.1.3 Qualitätssicherung durch die Hersteller

Die u.a. in dieser Studie berücksichtigten Firmen **UFT, Vollmar und HST sind Komplett-ausrüster**, die im Auftrag eines Planungsbüros oder des Betreibers alle oder zumindest einen Großteil der betrieblichen Komponenten eines Regenentlastungsbeckens im Lieferprogramm haben. Neben Mess- und Regeleinrichtungen rüsten diese Anbieter die Anlagen bei Bedarf auch mit Prozessleitsystemen, Reinigungseinrichtungen und weiteren Komponenten aus. Im Gegensatz dazu sind die Firmen **W.A.S. und NIVUS** stark an der reinen **Messtechnik** orientiert. Die Firma W.A.S. konzentriert sich zudem sehr stark auf die Messung des Entlastungsvolumenstroms an Regenbecken. Diese Ausrüster erlangen vorwiegend bei solchen Auftraggebern besondere Bedeutung, die von der Planung bis zur Komplettausrüstung ihrer Regenentlastungsbecken sämtliche Arbeiten in Eigenregie durchführen, bzw. lokale Baufirmen mit der Beckenausrüstung beauftragen.

Auf dem Hintergrund dieser Unterscheidung zwischen Komplettausrüstern wie z.B. UFT, Vollmar und HST und Teilausrüstern wie W.A.S. und NIVUS, ist auch die Qualitätssicherung der verschiedenen Hersteller zu bewerten. Komplettausrüster nehmen im Rahmen der meisten Projekte von der Planung bis zur Bauausführung alle Phasen der Ausrüstung eines Beckens selbst in die Hand, während die Produkte der Firmen NIVUS und W.A.S. auch von Fremdunternehmen, z.B. lokalen Baufirmen, in der Beckenausrüstung verwendet werden.

#### Teilausrüster

Die Montage der Messtechnik durch Fremdfirmen, wie z.B. Anlagenbauer, hat für die Teilausrüster zur Folge, dass sich ein großer Teil der Qualitätssicherung außerhalb ihres Einflussbereichs abspielt. In ihrer Funktion als Zulieferer endet die Qualitätssicherung für die Teilausrüster in der Regel bei Auslieferung. Die Auswahl der Messstelle sowie der fachgerechte Einbau vor Ort bleiben fast vollständig der Fremdfirma bzw. dem selbstausrüstenden Betreiber überlassen. Nur über die in Verbindung mit der Messtechnik ausgelieferten Bedienungsanleitung bzw. Einbauempfehlungen kann der Teilausrüster einen geringfügigen Einfluss auf die



Ausführung vor Ort geltend machen. Gleichzeitig wird aber bemängelt, dass diese Empfehlungen und Anleitungen vielfach keine Beachtung finden. Kritisiert wurde vor allem, dass

- die Empfehlung zum Bau scharfkantiger Überfallschwellen (-wehre) nur selten umgesetzt wird,
- Höhenänderungen an der Schwelle nicht als Anlass für eine Neukalibrierung des Messwertaufnehmers genommen werden,
- Ultraschall-Echolote in zu großem Abstand zum Nullpunkt montiert werden und
- bei zahlreichen Becken ein falsch eingemessener Nullpunkt die Ursache für einen systematischen Messfehler ist, der zu einer von Beginn an unzuverlässigen Datengrundlage führt.

### *Teil- und Komplettausrüster*

Vor der Auslieferung bzw. Montage führen sowohl zahlreiche Teil- als auch Komplettausrüster nach eigener Auskunft eine Grundkalibrierung ihrer Messsysteme bereits im Werk durch. Je nach Verwendungszweck werden am Gerät bereits Voreinstellungen getroffen. Bei der Montage und Inbetriebnahme vor Ort wird der Messwertaufnehmer dann relativ zur Schwellenhöhe eingemessen und die Werte im Datenspeicher verankert.

Der eigentliche Schwerpunkt für qualitätssichernde Maßnahmen liegt verstärkt beim Einbau der Messtechnik vor Ort. Diese Maßnahmen betreffen sowohl Komplett- als auch Teilausrüster, sofern diese mit dem Einbau und gegebenenfalls in Form von Service- oder Wartungsverträgen auch mit Teilen des Betriebs beauftragt werden.

Im Folgenden sind, analog zur zeitlichen Abfolge, die wesentlichen Bereiche für qualitätssichernde Maßnahmen vor Ort unterschieden in

- 1) Einbau,
- 2) Auslesen & Auswertung,
- 3) Inspektion & Wartung.

#### *1) Qualitätssicherung beim Einbau*

Im Zuge der Einbauphase wird von den im Rahmen dieses Projektes befragten Herstellern bereits großer Wert auf die **Datenaufzeichnung** gelegt. Man ist grundsätzlich bestrebt, ausschließlich Rohdaten aufzuzeichnen, sofern vom Betreiber, d.h. dem Auftraggeber, nichts anderes gewünscht wird. Dies bedeutet, dass statt des bereits berechneten Volumenstroms nur die unmittelbaren Messwerte wie z.B. Wasserstände aufgezeichnet werden. Basierend auf diesen Rohdaten werden erst bei der anschließenden Datenauswertung die endgültigen Entlastungsmengen berechnet.

Dieses Vorgehen hat den entscheidenden Vorteil, dass bei ursprünglich falscher Einstellung des Messbereichs eine Nachkorrektur der aufgezeichneten Werte durch Rückrechnung unter Berücksichtigung des aufgedeckten Messfehlers noch möglich ist. Bei sofortiger Umrechnung der gemessenen Wasserstände und ausschließlicher Aufzeichnung der Entlastungsmengen ist

eine nachträgliche Korrektur nicht mehr möglich. Eine vergleichbare Empfehlung für die Aufzeichnung von Rohdaten findet man im ATV-Arbeitsblatt M 176 (vgl. Kapitel 3.2.1.6).

Hinsichtlich der **Kalibrierung** von Messwertaufnehmer beim Einbau richten sich die Hersteller nach den in den vorangegangenen Kapiteln 4.1.1.1 bis 4.1.1.6 dargestellten Verfahren. Vor der Kalibrierung des Messwertaufnehmers steht jedoch das Einmessen von NN-Höhen als Basis für die Kalibrierung. Eingemessen werden u.a. die Höhe der Beckensohle sowie die der Entlastungsschwelle, um daraufhin den Messbereich des Echolotes bzw. des Druckaufnehmers abzustimmen. Die eingemessenen NN-Höhen werden in der Regel vom Ausrüster protokolliert und als Dokumentation für die Bestandsunterlagen des Entlastungsbauwerks dem Betreiber übergeben. Des Weiteren enthalten die vom Ausrüster angefertigten Betriebsbücher u.a. Inspektions- und Wartungspläne, Bedienungsanleitungen, Schaltpläne und Formblätter für Betriebsprotokolle.

Beim Einbau von **Druckaufnehmern**, die den Wasserstand nicht unmittelbar von der Beckensohle messen, sondern in erhöhter Position installiert sind, werden vom Ausrüster in ihrer Höhe grundsätzlich als Nullpunkt kalibriert. Vorteil dieser Maßnahme ist, dass bei grober Überprüfung der Messung vor Ort (z.B. mit dem Zollstock) die „Von-Hand-Messwerte“ direkt mit den Anzeigewerten der Messeinrichtung verglichen werden können, ohne zuvor die Höhenangaben der Bestandspläne einsehen und dementsprechend nachrechnen zu müssen. Bei Auswertung der Messwerte und Berechnung der Überfallmenge ist dann grundsätzlich die Einbauhöhe zum gemessenen Wasserstand zu addieren.

Vor **Abnahme der Beckenausrüstung** durch den Auftraggeber ist es üblich, die Messtechnik auf ihre planmäßige Funktion zu überprüfen. In der Regel kann zu diesem Zweck das unter Umständen enorme Volumen des Regenbeckens nicht soweit mit Wasser gefüllt werden, bis die Entlastung aktiv wird. Statt dessen wird die Entlastung über den Beckenüberlauf bzw. den gegebenenfalls vorgelagerten Klärüberlauf elektronisch simuliert. Über verschiedene Spannungen (4-20 mA) am Controller wird dabei ein ansteigender bzw. absinkender Wasserspiegels simuliert. Diese Maßnahme dient jedoch einzig und allein der Überprüfung des Controllers und nicht der Kalibrierung des Messwertaufnehmers.

## *2) Auslesen und Auswerten*

Das Auslesen und Auswerten der Messdaten wird von allen im Rahmen dieser Studie berücksichtigten Ausrüstern (Teil- und Vollausrüster) als zusätzliche Dienstleistung den Betreibern angeboten.

Je nach Bedarf werden die Daten z.B. dreimal jährlich bzw. in Verbindung mit ohnehin anstehenden Wartungsmaßnahmen ausgelesen. Einige Ausrüster empfehlen jedoch mindestens das halbjährliche Auslesen der Daten. Parallel zur anschließenden Datenauswertung wird die aufgezeichnete Ganglinie auf Plausibilität der Messergebnisse geprüft. Dem geübten Betrachter fallen dabei bereits geringfügige Unstimmigkeiten auf (z.B. ungleichmäßige Tendenz der Ganglinie), die auf einen möglichen Messfehler schließen lassen. Häufig wird das Auslesen der Messdaten vor Ort mit einer gleichzeitigen Überprüfung der Messeinrichtung verbunden, z.B. als Vor-Ort-Überprüfung des angezeigten Messwertes durch eine manuelle Vergleichsmessung. Das „Vor-Ort-Auslesen“ mit Hilfe des Laptop bzw. durch Austausch des Datenträgers wurde von den meisten Herstellern als üblicher Weg für die Datenübertragung genannt. In der Regel werden den Ausrüstern diese Datenträger daraufhin zur Auswertung per

Post zugestellt. Äußerst selten werden die Daten per Datenfernübertragung (DFÜ) direkt von der Messwerterfassung an den Servicedienstleister übermittelt.

Die Auswertungs-Protokolle der verschiedenen Ausrüster unterscheiden sich nur wenig voneinander. In der Regel findet man dort eine graphische Darstellung der Ganglinie (vgl. Abbildung 14) sowie die zahlenmäßige Erfassung von Entlastungsereignissen u.a. durch folgende Angaben:

- Beginn und Ende,
- Dauer,
- Wasserstände,
- Entlastungsmengen.

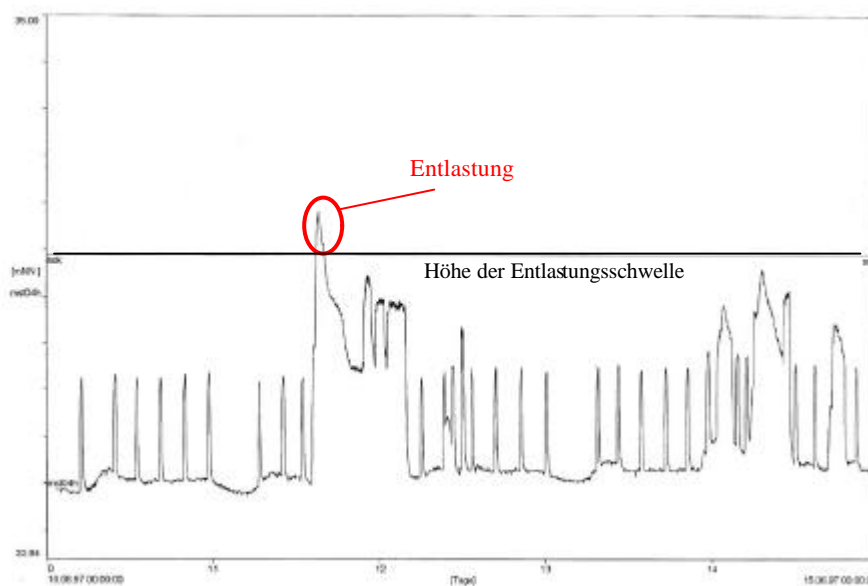


Abbildung 14: Beispiel für die Darstellung einer Wasserstands-Ganglinie mit Abschlagereignis [35]

Gemäß der Angaben zahlreicher Ausrüster wird das Dienstleistungsangebot hinsichtlich des Auslesens und der Auswertung von Messdaten von Betreibern nur selten angenommen. Viel eher ist die Tendenz festzustellen, dass diese Aufgaben vom Betreiber vorzugsweise in Eigenregie wahrgenommen werden. Ein Grund dafür, so die Aussagen einiger Ausrüster, könnte mangelndes Interesse der Betreiber an eine Auswertung der Messreihen sein. Die Erfahrungen der Ausrüster sprechen dafür, dass Messdaten oftmals ohne weitere Bearbeitung archiviert und „vergessen“ werden.

### 3) Wartung

Nach allgemeiner Einschätzung zahlreicher Ausrüster wird die Wartung der Messtechnik eines Regenentlastungsbauwerks von den meisten Betreibern vorwiegend eigenständig durchgeführt. Die in dieser Studie berücksichtigten Ausrüster werden nach eigener Angabe nur in seltenen Fällen hinzugezogen, wenn es um den Betrieb und insbesondere um die regelmäßige Wartung der Messeinrichtungen im Rahmen von Wartungsverträgen geht. Der Umfang von Wartungsverträgen kann abhängig von den Ansprüchen des Auftraggebers erheblich schwanken.

Als Standard werden ein bis zwei Wartungen pro Jahr angeboten, die abhängig von der vorhandenen Messeinrichtung neben der Sicht- und Funktionskontrolle (u.a. Testlauf und elektronische Simulation einer Entlastung) gegebenenfalls auch eine Nachkalibrierung des Messwertaufnehmers einschließen. Insbesondere bei der Wartung von Druckaufnehmern wird die Nachkalibrierung wegen der auf lange Sicht absehbaren Nullpunktdrift empfohlen. Im Gegensatz dazu werden die im allgemeinen als sehr langzeitstabil geltenden Echolote ausschließlich auf ihre Funktion hin geprüft. Der Ausfall eines Messwertaufnehmers außerhalb der Wartungsfristen wird bereits bei zahlreichen Regenbecken unmittelbar per DFÜ an eine Störmeldestelle bzw. an den Bereitschaftsdienst übermittelt, so dass eine schnelle Instandsetzung vorgenommen werden kann. Die Reparatur bzw. der Austausch des Messwertaufnehmers kann gegebenenfalls im Wartungsvertrag eingeschlossen werden, z.B. als 24-Stunden Austauschservice des Herstellers. Für umfangreich ausgestattete Regenbecken wird von einigen Ausrüstern eine Gewährleistungsfrist von bis zu 2 Jahren eingeräumt.

Die größtenteils eigenständige Wartung und Überwachung der Messtechnik durch den Betreiber wird von der Mehrzahl der befragten Hersteller kritisch beurteilt. Einige Ausrüster berichten davon, dass Wartungen vom Betreiber um so nachlässiger gehandhabt werden, je automatischer und unabhängiger die Messtechnik funktioniert. Diese Vernachlässigung kann dazu führen, dass systematische Messfehler erst dann auffällig werden, wenn ausgewertete Messreihen benötigt werden (z.B. im Rahmen der Auskunftspflicht gegenüber dem StUA). Bei stichprobenartigen Nachprüfungen konnten einige Ausrüster sogar feststellen, dass zahlreiche der von ihnen eingerichteten Messstellen aufgrund mangelnder Wartung mittlerweile völlig außer Betrieb sind.

#### **4.1.4 Zusammenfassung und Bewertung der Hersteller-Recherche**

Im Rahmen der in dieser Studie aufgestellten Produktübersicht der gängigen Messsysteme für die Abschlagsmessung an Regenentlastungsbauwerken konnte gezeigt werden, dass einige Messsysteme grundsätzlich von jedem der in dieser Recherche berücksichtigten Hersteller angeboten werden. Der Favorit unter den angebotenen Messverfahren ist zweifellos die Wasserstandsmessung vor der Entlastungsschwelle, z.B. mit dem Ultraschall-Echolot bzw. der Druckmessdose. Die mit Hilfe dieser Messwertaufnehmer im Regenbecken aufgezeichneten Wasserstände werden in der Berechnung der Entlastungsmenge direkt berücksichtigt, z.B. in der Überfallformel nach Poleni.

Demgegenüber bieten nur wenige Hersteller auch Messsysteme für den Entlastungskanal an. Viel eher haben sich einige Ausrüster sogar komplett von der Durchflussmessung im Entlastungskanal abgewendet, da nach ihrer Einschätzung die dort vorherrschenden turbulenten Strömungsbedingungen (meist schießende Strömung) keine ausreichend genaue Messung zulassen.

Durch das breite Angebot hydraulischer Messverfahren ist der Betreiber unweigerlich gezwungen, sich nach der Entscheidung für eines dieser Verfahren zudem auch mit den dazu gehörenden Entlastungsschwellen zu befassen. Insbesondere die Form dieser Schwellen hat einen erheblichen Einfluss auf die Messung und Berechnung der Entlastungsmenge, da der in erster Linie formabhängige Überfallbeiwert  $\mu$  unmittelbar als zusätzlicher Faktor in die Berechnungsformel nach Poleni eingeht. Die durchgeführte Recherche hat jedoch gezeigt, dass von den Herstellern auch für dieses Problem Lösungsvorschläge gemacht werden. Die meisten Hersteller empfehlen den Einsatz scharfkantiger Wehrschwellen, für die in der internatio-

nal gültigen Norm ISO 1438, Teil 1 [10] feste Vorgaben für den höhenabhängigen Beiwert gemacht werden. Außerdem bietet die Firma Vollmar ein im Labor kalibriertes Messprofil an, das auch für die zusätzliche Montage auf bereits bestehenden Entlastungsschwellen geeignet ist.

Gegenüber dem umfangreichen Angebot an Messsystemen stehen nur wenige Hinweise der Hersteller auf die hydraulischen Anforderungen an das Entlastungsbauwerk, wie z.B. die Vermeidung der hydrometrisch wenig geeignete Konstruktion seitlich angeströmter bzw. gebogener Entlastungsschwellen. Dies betrifft vor allem Teilausrüster, die z.B. ausschließlich mit der Montage der Messtechnik beauftragt wurden oder deren Produkte im Auftrag von Fremdfirmen eingebaut werden, die häufig nur geringe hydrometrische Vorkenntnis mitbringen. Eine umfangreichere Beratung hat der Betreiber in der Regel von Komplett-ausrüstern zu erwarten, die von der Planung über den Einbau der Schwelle bis hin zur Messtechnik alle erforderlichen Maßnahmen leiten bzw. die die Bauausführung durch Fremdfirmen überwachen.

Unabhängig von den vermeidbaren Einbau- bzw. Planungsfehlern addieren sich insgesamt vielfältige Messfehler, welche die Qualität des Gesamtergebnisses - der Entlastungsmenge - erheblich beeinflussen. Basierend auf der Durchsicht zahlreicher Hersteller-Prospekte ist zu bemängeln, dass gerade für die geräteeigenen Messfehler nur selten die genauen Randbedingungen angegeben wurden, unter denen dieser Messfehler zu erwarten ist. In den normativen Anforderungen unterscheidet man u.a. zwischen Nenn- bzw. Referenzbedingungen, Normbedingungen und Betriebsbedingungen, die unter Umständen von grundverschiedenen Voraussetzungen ausgehen. Beispielsweise bei Weglassen der Bezeichnung „*Fehler unter Normbedingungen*“ entstände so einen tendenziell zu günstigen Eindruck hinsichtlich der Genauigkeit einer Messeinrichtung.

Die abschließende Betrachtung der Kosten für die verschiedenen am Markt angebotenen gängigen Messsysteme (Kapitel 4.1.2) zeigte, dass es zwischen den drei gängigen Messverfahren durchaus nennenswerte Preisdifferenzen zu berücksichtigen gilt. Trotz der ernstzunehmenden Unsicherheit des MID-Messverfahrens im Entlastungskanal muss für die Einrichtung einer solchen Messstelle mit erheblichen Kosten gerechnet werden, während andere Verfahren bedeutend günstiger ausfallen.

Beim Vergleich der Anschaffungskosten für die jeweiligen Messwertaufnehmer (Abbildung 13) wird einer der Gründe deutlich, warum das Echolot vermutlich als das gängigste Verfahren für die Entlastungsmessung gilt: die Kosten für die hydraulische Bestimmung der Überfallmenge mit einem Echolot einschließlich der Auswerteeinheit betragen nur ca. 1/8 verglichen mit den Kosten für einen gedükerten MID DN 1000 und sind zudem weitgehend unabhängig vom Kanalquerschnitt.

## 5 Betreiber-Übersicht

Als gesetzliche Grundlage für den Betrieb von Abwasseranlagen gelten in Nordrhein-Westfalen die bereits in Kapitel 3.1 umfassend erläuterte SÜwV Kan [1] sowie der Runderlass vom 03.01.95 [9], durch deren Anhang dem Betreiber u.a. Überwachungs- bzw. Unterhaltungsmaßnahmen vorgegeben werden. Hinsichtlich des Betriebes von Messeinrichtungen an Regenbecken verweist jedoch insbesondere die SÜwV Kan auf die Angaben der Hersteller von Messeinrichtungen. Sowohl die monatliche Funktionsprüfung der Messeinrichtung als auch das Überprüfen der Gerätekenlinie (Kalibrieren) wird den Vorgaben des Herstellers überlassen.

Neben den zahlreichen Herstellern sind es aber ebenso auch Betreiber, die z.T. auf langjährige Erfahrungen des Betriebs von Durchflussmesseinrichtungen zurückblicken können. Diese Erfahrungen aufzugreifen, zu erörtern und durch neue Anregungen zu ergänzen fällt unter den in den folgenden Kapiteln behandelten dritten Bearbeitungsschritt dieses Projektes. Insbesondere auf Grund der von den Ausrüster und Hersteller angegebenen Referenzen wurden ausgewählte Betreiber, d.h. Kommunen und Wasserverbände unterschiedlicher Größe in Nordrhein-Westfalen, kontaktiert, von denen Regentlastungsbauwerke mit entsprechender Messtechnik unterhalten werden. Zu den im Rahmen dieser Studie berücksichtigten Betreibern zählen die in der folgenden *Tabelle 9* genannten.

*Tabelle 9: Übersicht über die in dieser Studie berücksichtigten Regentlastungsbauwerke verschiedener Betreiber*

Betreiber	Verband/ Regie-/ Eigenbetrieb	In der Untersuchung be- rücksichtigte Regenbecken	davon mit einer Messeinrichtung aus- gestattet **
<b>LINEG *</b>	Verband	16	15
<b>Ruhrverband *</b>	Verband	13	7
<b>Gem. Hünxe</b>	Regiebetrieb	6	3
<b>Stadtentwässerung Mülheim</b>	Eigenbetrieb	4	2
<b>S</b>		39	27

\* Die Zahl der in dieser Untersuchung berücksichtigten Regenbecken entspricht nicht der Gesamtzahl aller vom Betreiber unterhaltenen Anlagen.

\*\* Die Angaben beruhen auf den eigenen Aussagen der Betreiber. Nur ein Teil der messtechnisch ausgerüsteten Becken wurde vor Ort besichtigt.

Die Anzahl der in *Tabelle 9* genannten Regenbecken beinhaltet alle Bauwerke mit planmäßiger Entlastungsschwelle. Regenrückhaltebecken sind demnach nicht berücksichtigt, da an diesen nur in sehr seltenen Ausnahmefällen die Entlastung aktiv wird. Die Angabe der mit einer Messeinrichtung ausgestatteten Regenbecken umfasst sowohl die einfache Füllstandsmessung im Becken als auch Messeinrichtungen mit denen die Entlastungsmenge erfasst wird.

Grundlage der Kontaktaufnahme mit den Betreibern bildete, vergleichbar der Herstellerbefragung, ein einheitlicher Fragenkatalog, dessen Inhalte nach den folgenden übergreifenden Gesichtspunkten erstellt wurden:

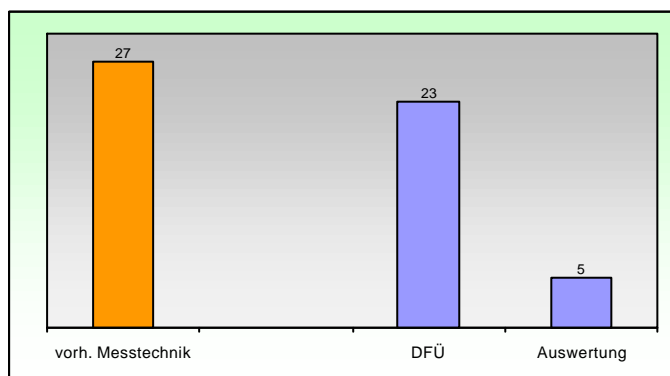
- Bestandsaufnahme
- Qualitätssicherung beim Einbau
- Betriebliche Maßnahmen (z.B. Wartung)
- Datenauswertung und –verwendung
- Kosten

Entsprechend dieser wesentlichen Aspekte sind die Ergebnisse der Recherche in den folgenden Kapitel zusammengestellt.

### 5.1 Bestandsaufnahme

Wie die folgende Darstellung zeigt (*Abbildung 15*) wurden im Rahmen dieser Studie die vier in *Tabelle 9* bereits genannten Betreiber nach ihren Erfahrungen aus dem Betrieb von Regenbecken befragt. Dabei stellte sich heraus, dass wenigstens 27 dieser Regenbecken mit einer selbstschreibenden Messeinrichtung zur Aufnahme des Wasserstandes im Becken ausgerüstet sind. Von diesen ist zudem ein verhältnismäßig hoher Anteil (23 Regenbecken) an eine Datenfernübertragung (DFÜ) zur Übermittlung von Messdaten und Störmeldungen angeschlossen.

Bemerkenswert ist zudem, dass nur für insgesamt fünf der mit Messtechnik ausgestatteten Becken eine Auswertung der Daten vorgenommen wird.



*Abbildung 15: Bestandsaufnahme für die im Rahmen dieser Studie berücksichtigten Regenbecken*

#### Motivation der Betreiber für den Einbau einer Messeinrichtung

Nach Angaben der Betreiber lassen sich drei wesentliche Beweggründe zusammenfassen, die in der Regel ausschlaggebend für eine Ausrüstung der Regenbecken mit selbstschreibenden Messeinrichtungen sind:

- Im Rahmen der wasserwirtschaftlichen Genehmigung einer Entlastungsanlage, die u.a. auch als Einleitungsstelle zu genehmigen ist, macht das zuständige Staatliche Umweltamt (StUA) die Auflage, eine Messung der Entlastungsmenge vorzusehen. Diese Auflage basiert meist auf §3 der SüwV Kan, und der Feststellung, dass es sich bei dem Regenbecken um ein wasserwirtschaftlich wichtiges Becken im Sinne dieser Verordnung handelt. Nach Ablauf der in der Regel befristeten wasserrechtlichen Erlaubnis kann diese Feststellung auch nachträglich getroffen werden, um damit die Nachrüstung eines Regenbeckens zu bewirken. Während eines Ortstermins im Rahmen dieser Studie wurde beispielsweise ein

Becken besichtigt, welches erst kürzlich mit einer umfangreichen Messtechnik ausgestattet wurde. Aufgrund einer baulichen Veränderung hatte man seitens des StUA große Bedenken, dass auch im Trockenwetterfall Mischwasser direkt in den Vorfluter entlastet werden könnte. Aus diesem Grund wurde als Auflage eine Entlastungs- und Wasserstandsmessung in die neue Genehmigung aufgenommen und der Betrieb des Beckens zunächst „zur Probe“ auf ein Jahr befristet. Die Verlängerung der Genehmigung wird nur unter der Bedingung ausgesprochen, dass sich die Beckengestaltung innerhalb dieses Jahres bewährt.

- Der Betreiber hat die Anforderung der StwV Kan „... bei den wichtigsten...“ Regenbecken „...eines Kanalisationsnetzes zur Überwachung kontinuierlich aufzeichnende Wasserstandsmessgeräte einzubauen“ so verstanden, dass grundsätzlich jedes Becken langfristig mit entsprechender Messtechnik auszurüsten ist. Eine Interpretation, deren einziger Nachteil die Erhöhung der Baukosten für den Betreiber ist. In der Regel werden die wichtigsten Regenbecken jedoch durch die wasserrechtliche Erlaubnis des StUA bestimmt (vgl. oben). Diesbezüglich gelten insbesondere Entlastungseinleitungen in ökologisch sensible Gewässerabschnitt als bedeutsam für das Einrichten eines Messsystems an der Entlastung.
- Aus eigenem Interesse werden vom Betreiber die Wasserstände und Entlastungsmengen aller bzw. der als bedeutsam eingestuften Regenbecken aufgezeichnet und ausgewertet. Die Auswertung der kontinuierlich aufgezeichneten Wasserstandsdaten ermöglicht dem Betreiber eine gute Einschätzung des Auslastungsgrades der Retentionsräume. Einige Betreiber streben zudem die langfristige Bewirtschaftung ihres Kanalnetzes durch eine mengenabhängige Steuerung der Abflüsse an. Das Ziel ist dabei die möglichst optimale Nutzung aller Rückhaltemöglichkeiten im Kanalisationsnetz. Durch die Regelung der Zu- und Abflüsse insbesondere an Regenüberläufen und -rückhaltebecken werden nennenswerte Auswirkungen auf die Kläranlage auch bei Starkregenereignissen vermieden; die Anzahl der Entlastungen von Abwasser ins Gewässer wird erheblich begrenzt.

## 5.2 Qualitätssicherung aus Sicht der Betreiber

### 5.2.1 Einbau

#### *Messtechnik und Überfallsschwellen*

Die Übersicht über die von den Ausrüstern für Regenbecken angebotenen Produkte hat bereits gezeigt, dass nicht alle der möglichen Messverfahren den gleichen Marktanteil belegen. Einige der Verfahren, insbesondere die Durchflussmessung im Entlastungskanal, bleiben wenigen spezialisierten Ausrüstern vorbehalten, während andere Messwertaufnehmer, z.B. das Ultraschall-Echolot von nahezu jedem Ausrüster in der eigenen Produktpalette geführt werden.

Ähnliches gilt für den Stellenwert der unterschiedlichen Messverfahren bei den in diesem Projekt berücksichtigten Betreiber. Analog zum Angebot der Hersteller ist festzustellen, dass die eindeutige Mehrzahl der betrachteten Regenbecken mit dem Ultraschall-Echolot als Messsystem ausgestattet sind. Überwiegend werden diese Messwertaufnehmer für die Messung der Überfallhöhe eingesetzt, während der Füllstand eines Beckens meist über zusätzliche Druckmessdosen an der Beckensohle separat erfasst wird.

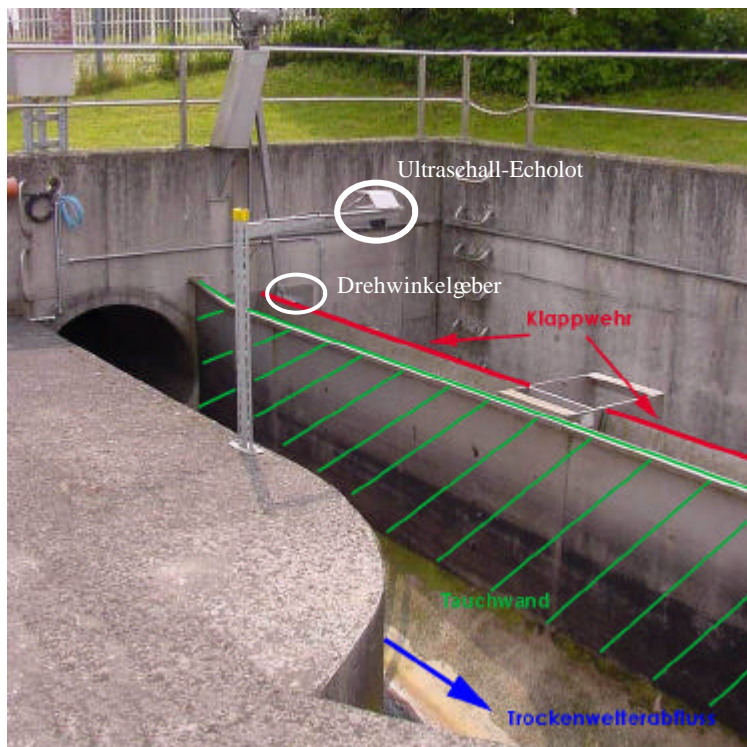
Als Entlastungsschwelle hat sich mittlerweile fast mehrheitlich das ebenfalls von den Ausrüstern favorisierte scharfkantige Edelstahlwehr durchgesetzt, für das gemäß ISO 1438-1 [10]



höhenabhängige Überfallbeiwerte  $\mu$  definiert sind. Nur noch selten wurden im Rahmen der zugrunde liegenden Recherche bei den Betreibern Überfallsschwellen mit undefinierten hydraulischen Beiwerten vorgefunden, die beispielsweise aus Beton und ohne eine normgerechte Formgebung erstellt wurden. Vereinzelt trifft man jedoch auch auf „wahre Raritäten“, wie z.B. eine Entlastungsschwelle älteren Baujahres, aus tropischem und sehr beständigem Bongossi-Holz.

Im Wesentlichen ist jedoch aufgrund der in dieser Studie durchgeführten Stichproben darauf zu schließen, dass die Hinweise der Ausrüster scharfkantige Wehre einzusetzen durch die Betreiber nach Möglichkeit zunehmend in die Praxis umgesetzt werden.

Neben den festen Wehrschwellen werden vereinzelt, sofern die örtlichen Randbedingungen dies erfordern auch **bewegliche Wehre** (z.B. Klappwehre) eingesetzt. Wie bereits in Kapitel 4.1.1.3 beschrieben wurde, müssen derartige Wehre zur Erfassung der Entlastungsmenge zusätzlich zur Wasserstandsmessung mit einem Drehwinkelgeber ausgestattet werden, der die



Neigung der Wehrklappe aufzeichnet, welche daraufhin in der Mengenermittlung berücksichtigt wird. Das im Rahmen dieser Studie begutachtete und in *Abbildung 16* dargestellte Regenbecken zeigt die Anordnung eines Drehwinkelgebers als Ergänzung zum Ultraschall-Echolot. Unmittelbar vor dem Klappwehr sieht man außerdem eine häufig zusätzlich angeordnete Tauchwand, die den Feststoffaustrag bei einem Entlastungsereignis reduzieren soll.

*Abbildung 16: bewegliche Entlastungsschwelle mit Echolot und Drehwinkelgeber*

In *Abbildung 16* sind weiterhin einige **Merkmale des fachgerechten Einbaus** einer Ultraschall-Messeinrichtung zu erkennen, die z.T. auch durch technische Normen vorgegeben werden, wie z.B.

- die Anordnung des Messwertaufnehmers in der Mitte der Überfallsschwelle [16],
- die solide und schwingungsgedämpfte Befestigung an einer stabilen Aufhängung,
- ein ausreichend großer Abstand zur Tauchwand [16] und
- die Überdachung des Messwertaufnehmers zum Schutz vor direkter Sonneneinstrahlung.

Die vermutlich einzigen offen erkennbaren Nachteile des in *Abbildung 16* gezeigten Überlaufs bestehen in

- dem seitlich angeströmten Messwehr mit hydrometrisch ungünstigeren Bedingungen als bei einem senkrecht angeströmten Bauwerk sowie
- der vor dem Wehr angeordneten Tauchwand [16].

Am Beispiel eines anderen Entlastungsbauwerks (vgl. *Abbildung 17*) ist zu erkennen, dass es sich besonders bei diesen baulichen Nachteilen um keine Einzelfälle handelt, sondern dass



diese auch bei anderen Betreibern zu beobachten sind. Auffallend positiv ist hingegen, die in *Abbildung 17* erkennbare Anordnung mehrerer Messwertnehmer entlang einer seitlich angeströmten Überfallkante, gemäß der Empfehlungen des ATV-DVWK M 176 [16]. Auf diese Weise wird an lange Entlastungsschwellen zunächst aus verschiedenen Messungen der mittlere Wasserstand ermittelt, welcher dann als Eingangswert in die Berechnung der Überfallmenge eingeht.

*Abbildung 17: Beckenüberlauf mit zwei Messwertnehmern entlang der Entlastungsschwelle*

### Fehlerquellen

Hinsichtlich der beim Einbau der Messtechnik auftretenden Fehler hat sich gezeigt, dass zwischen zwei wesentlichen Fehlerquellen beim Einbau zu unterscheiden ist:

- Die **ausführungstechnischen Fehler**, wie z.B. die Einbaubedingungen.
- Die **organisatorischen Fehler**, welche vorwiegend die Planung und Abstimmung der am Einbau Beteiligten betreffen.

Zu den AUSFÜHRUNGSTECHNISCHEN FEHLERN zählen neben den bereits anhand von *Abbildung 16* und *Abbildung 17* exemplarisch erläuterten

- seitlichen Anströmung eines Entlastungswehres und
- der davor angeordneten Tauchwand

noch weitere häufige anzutreffende Einbaufehler mit negativem Einfluss auf die Genauigkeit der Messergebnisse:

- Bei einigen der im Rahmen dieser Studie vor Ort begutachteten Regenbecken wurde eine erhebliche **Verschmutzung bzw. ein Bewuchs** der Entlastungsschwelle festgestellt (vgl. *Abbildung 18*). Ob aufgrund eines fehlenden hydrometrischen Verständnisses für die Bedeutung eines störungsfreien Überfallabflusses oder bedingt durch die schlechte Zugänglichkeit mancher Entlastungsschwellen verursachen, derartige Verschmutzungen unter Umständen erhebliche Differenzen zwischen der berechneten und der tatsächlich entlasteten Abwassermenge.



*Abbildung 18: Beispiele für Verschmutzungen im Bereich von Entlastungsschwellen (rot)*

- **Störechos**, d.h. Reflexionen des vom Echolot ausgesendeten Ultraschallsignals an Decke und Wänden stellen eine weitere Fehlerquelle dar, die es bereits bei der Wahl des richtigen Einbauortes zu berücksichtigen gilt. Problematisch wird der Einbau diesbezüglich insbesondere dann, wenn die vom Hersteller empfohlenen Einbaubedingungen aus baulichen Gründen nicht eingehalten werden können (vgl. auch im Anschluss beschriebene organisatorische Fehler). In einem solchen Fall bietet vielfach nur noch die Rücksprache mit dem Hersteller alternative Lösungswege. Beispielsweise lässt sich an den meisten Geräten der Abstrahlwinkel und die Intensität des Impulses soweit regulieren, dass keine bedeutenden Störechos mehr die Messung beeinflussen können.
- Der für einen Messwertaufnehmer vorgesehene **Einbauort** ist hinsichtlich der hydrometrischen Randbedingungen gewissenhaft auszuwählen. Werden die Messbedingungen vor Ort nicht berücksichtigt, so treten beispielsweise solche Messfehler auf, von denen einer der befragten Betreiber zu berichten wusste: *„Bei näherer Betrachtung eines bereits eingebauten aber fehlerhaft messenden Echolots zeigten sich gleich zwei Einbaufehler, die es zu beseitigen galt. Zum einen wurde der Messwertaufnehmer soweit im Randbereich des Beckens befestigt, dass sich dessen Nullpunkt nicht unmittelbar auf dem ebenen Boden sondern in unbestimmter Höhe auf der ausgerundete Ecke zwischen Wand und Boden befand. Zum anderen wurde der Messwertaufnehmer direkt unterhalb des Einstieggitters zu dem unterirdischen Regenbecken installiert, was eine vermehrte Tauwasserbildung zur Folge hatte. Nachdem beide Fehlerquellen identifiziert waren, ließ sich durch einige einfache bauliche Maßnahmen die Qualität der Messergebnisse erheblich verbessern. Die Entfernung des Messwertaufnehmers zum Rand wurde vergrößert und eine Schutzkappe über dem Echolot verhindert seitdem den Einfluss von Tauwasser auf die Messwertaufnahme.“*

- Häufig wird sowohl für die Messung des **Füllstandes** im Regenbecken als auch für die Messung der **Entlastungsmenge** derselbe Messwertaufnehmer eingesetzt. Beispielsweise misst ein Echolot den Wasserstand von der Beckensohle bis zu einem Maximalwert oberhalb der Entlastungsschwelle, wobei aus der Differenz zwischen der Schwellenhöhe und dem darüber hinaus gemessenen Wasserstand eine entsprechende Überfallmenge berechnet wird. Die Anordnung nur eines Messwertaufnehmers ist jedoch insofern ungünstig, da der zu berücksichtigende Messfehler meist eine erhebliche Abhängigkeit vom eingestellten Messbereich zeigt. Je größer demnach der vom Messwertaufnehmer abzudeckende Messbereich ist, desto größer wird auch der in Kauf zu nehmende Messfehler. Vermeiden lässt sich dieses Problem, indem man



grundsätzlich zwei unabhängige Messsysteme vorsieht, von denen eines den Füllstand misst, während das andere im Entlastungsfall ausschließlich den Wasserstand oberhalb der Entlastungsschwelle aufnimmt, um daraus die Entlastungsmenge zu berechnen.

Abbildung 19: Getrennte Messwertaufnehmer zur Aufzeichnung von Füllstand (Druckmessdose) und Überfallhöhe (Echolot)

Die wesentlichen ORGANISATORISCHEN FEHLER beginnen meist schon während der Planungsphase für ein Regenbecken. Im Vordergrund steht in diesem frühen Stadium vor allem die Bemessung und Dimensionierung sowie die bautechnische Gestaltung des Bauwerks, wodurch die Auswahl der Messtechnik weit in den Hintergrund gedrängt wird und vielfach sogar keine Beachtung findet. Begünstigt wird diese Nichtbeachtung außerdem durch die gegebenenfalls räumliche und zeitliche Trennung der betriebsinternen Zuständigkeiten. Für die konstruktive Gestaltung und Dimensionierung eines Regenbeckens ist meist ausschließlich die Planungs- und Bauabteilung bzw. ein extern beauftragtes Ingenieurbüro zuständig, von denen erst nach Abschluss aller Planungsarbeiten die Bearbeitung des Projektes einer anderen Abteilung oder einen anderen Projektpartner weitergegeben wird.

Beispielsweise befasst sich daraufhin die Abteilung für Maschinen- und Elektrotechnik mit der technischen Ausrüstung des nahezu fertiggestellten Bauwerks. Die fehlende Berücksichtigung der Messtechnik während der Planung kann jedoch zur Folge haben, dass die Randbedingungen für ein bestimmtes Messsystem nicht optimal sind. Beispielsweise wäre es denkbar, dass für die Messung der Entlastungsmenge mit einem Ultraschall-Echolot ein erheblicher Messfehler (> 50%) in Kauf zu nehmen ist, da die Überfallsschwelle zuvor bereits als ein einfaches Ortbetonbauwerk geplant und ausgeführt wurde, für das keine definierten Überfall-

beiwerte existieren. Als ein weiteres Beispiel lässt sich in diesem Kontext die Vermeidung von Störeffekten heranziehen, die im Fall der nachträglichen Anpassung einer Messtechnik auf ein bereits fertiggestelltes Becken um so schwieriger ist. Bei frühzeitiger Einflussnahme auf die bauliche Gestaltung lassen sich gegebenenfalls sowohl Materialien als auch die Platzverhältnisse im Bereich des Messwertempfängers so wählen, dass eine Beeinflussung des Messsignals durch Wand- und Deckenreflexion möglichst vermieden wird.

Als Fazit ist festzuhalten, dass es bereits während der Planungsphase die später einzubauende Messtechnik, wie z.B. ein Echolot vor der Entlastungsschwelle, zu berücksichtigen gilt. Nur bei frühzeitiger Abstimmung der Gestaltung des Regenbeckens sowohl aus bautechnischer als auch aus messtechnischer Sicht lassen sich optimale hydrometrische Randbedingungen schaffen.

### *Vergabe an Fremdfirmen*

Von der Planung bis zum Bau eines Regenbeckens werden in der Regel zahlreiche Fremdfirmen beschäftigt, welche unterschiedliche Aufgaben im Auftrag des Betreibers übernehmen. Im Rahmen dieser Studie ist insbesondere die Vergabe der messtechnischen Ausstattung von Bedeutung. Die Mehrzahl der Betreiber vergibt die Beckenausrüstung an lokale Baufirmen bzw. elektrotechnische Betriebe, die meist ein unterschiedliches Maß an Erfahrung in diesem Bereich vorzuweisen haben. Entsprechend unterschiedlich sind die Anforderungen an den Betreiber als Auftraggeber hinsichtlich der Bauüberwachung und qualitätssichernden Maßnahmen.

Einzelne Betreiber gehen soweit, dass der ausführenden Firma kaum Gestaltungsspielraum bei der Auswahl und dem Einbau der Messtechnik überlassen wird. Alle wesentlichen Details hinsichtlich des Einbauortes und des einzubauenden Messsystems werden bereits grundsätzlich vom Betreiber vorgegeben und während aller Bauphasen überwacht. Die eigenständige Planung der Messtechnik sowie die umfangreiche Kontrolle der Fremdfirma erfordert vom Auftraggeber jedoch ein gutes hydrometrisches Verständnis, das nicht bei jedem Betreiber in gleichem Maß vorausgesetzt werden kann.

Andere Betreiber sichern sich hingegen ab, indem der fachgerechte Einbau der Messtechnik als fester Bestandteil in den Vertrag mit einem Fremdunternehmen aufgenommen wird. Zudem werden allenfalls noch grobe Vorgaben zum Messsystem gemacht bzw. die Produkte bestimmter Hersteller werden aufgrund schlechter Erfahrungen bereits im Voraus ausgeschlossen oder andere z.B. aufgrund der einheitlichen Ausstattung aller Regenbecken vom Betreiber favorisiert. Die übrige Planung, d.h. Auswahl des richtigen Einbauortes und Sicherstellung des störungsfreien Betriebs wird dem Ermessen des Ausrüsters überlassen. Die vertragliche Festlegung des fachgerechten Einbaus zwingt den Ausrüster unter Umständen nicht nur diesbezügliche Herstellerangaben einzuhalten, sondern bedeutet gleichzeitig, dass sich dieser bei hydrometrisch unsicheren Randbedingungen beim Hersteller zu erkundigen hat.

Grundsätzlich werden jedoch nach Abschluss der Baumaßnahme entsprechende Abnahmeprotokolle für die Baumaßnahme gefordert, in denen u.a. die wichtigsten NN-Höhen z.B. die der Entlastungsschwelle dokumentiert sind. Außerdem wird im Rahmen der messtechnischen Abnahme in der Regel eine Funktionsprüfung des Gesamtsystems durchgeführt, während der u.a. ein Beckeneinstau simuliert und die gegebenenfalls vorhandene Datenfernübertragung überprüft wird.

## 5.2.2 Betrieb und Wartung

Durch die Befragung der an dieser Studie beteiligten vier Betreiber lässt sich die bereits unter Kapitel 4.1.3 dargestellte Aussage der Ausrüster bestätigen, dass nur wenige Wartungsverträge mit Herstellern abgeschlossen werden. Sämtliche der befragten Betreiber gaben die Auskunft, dass Hersteller und Ausrüster bezüglich der messtechnischen Instandhaltung nur selten hinzugezogen werden. Mit Ausnahme irreparabler Schäden bzw. Schäden innerhalb der Gewährleistungsfrist werden Wartung und Instandsetzung von den Betreibern meist in Eigenregie durchgeführt. Einige Betreiber greifen zudem hinsichtlich der Kalibrierung bestimmter Messwertaufnehmer auf die Dienstleitungen der Hersteller zurück. Insbesondere die messtechnisch sehr anspruchsvollen MIDs werden auf Anfrage des Betreibers in meist unregelmäßigen Abständen vom Hersteller wahlweise durch eine Vergleichsmessung vor Ort bzw. Kalibrierung unter Laborbedingungen überprüft.

### *Ultraschall-Echolot*

Die Mehrzahl der Betreiber tendiert eher zum Einsatz einfacher Messwertaufnehmer, wie z.B. dem Ultraschall-Echolot, welches insbesondere wartungsarm ist und außerdem vergleichsweise einfach durch das eigene Betriebspersonal kalibriert werden kann. Die Sichtkontrolle, Funktionsprüfung und Reinigung des Echolots erfolgt in der Regel in Verbindung mit der ohnehin erforderlichen Reinigung des Regenbeckens; gemäß SüwV Kan mindestens monatlich bzw. nach jedem größeren Regenereignis. Für besonders oft verschmutzte Echolote werden Wischer vorgesehen, die in regelmäßigen Abständen die Optik des Messwertaufnehmers reinigen.

Kalibriert werden die meisten Echolote jedoch höchstens jährlich, wobei sowohl der Nullpunkt als auch der Maximalwert des Messbereichs in der Regel mit einem Zollstock neu eingemessen und in die Messwerverfassung eingegeben werden. Nur wenige Betreiber folgen den Empfehlungen der Hersteller und berücksichtigen bei der Kalibrierung sowohl den Nullpunkt, das Maximum als auch unterschiedliche Höhen innerhalb des Messbereichs. Um die Kalibrierung einfacher und weniger fehleranfällig zu gestalten, haben einzelne Betreiber jedoch bis zu sechs feste Messmarken im Messbereich eines Echolots installiert, die als Kontrollpunkte zur Kalibrierung genutzt werden. Für die Kalibrierung eines Echolots kalkulieren die Betreiber in der Regel einen Arbeitsaufwand von ca. drei Stunden, einschließlich der Reinigung und kompletten Funktionsprüfung ein.

### *Druckmessdosen*

Die vielfache Abwendung der Betreiber vom Einsatz eines Druckaufnehmers im Regenbecken ist im wesentlichen mit dem allgemein hohen Wartungsaufwand zu erklären. Neben der häufig erforderlichen Reinigung dieses direkt mit dem Abwasser in Kontakt stehenden Messwertaufnehmers ist auch die Kalibrierung mit bedeutend größerem Aufwand verbunden als die eines Echolots. Während für die Kalibrierung eines Echolots nach Auskunft der Betreiber ca. drei Arbeitsstunden kalkuliert werden, erfordert die Kalibrierung eines Druckaufnehmers häufig bis zu einen Arbeitstag, da in der Regel zunächst aufwendige Ausbauarbeiten durchzuführen sind bevor mit dem eigentlichen Kalibriervorgang begonnen werden kann. Wegen der im Vergleich zum Echolot geringen Langzeitstabilität werden Druckaufnehmer nach Angaben der Betreiber in der Regel mindestens halbjährlich kalibriert. Die Kalibrierintervalle einzelner

Messwertaufnehmer werden aufgrund ihrer deutlicheren Nullpunktdrift sogar auf bis zu drei Monate verkürzt.

Um dem hohen Reinigungsaufwand der Druckmessdosen unter Aufwendung eines möglichst geringen Personaleinsatzes gerecht zu werden, hat sich einer der befragten Betreiber dazu entschlossen, parallel zum Messwertaufnehmer eine Spülleitung zu verlegen, die in regelmäßigen Zeitabständen den Drucksensor durch Spülstöße von Ablagerungen befreit. Nach eigenen Angaben des Betreibers bewährt sich diese Erfindung bereits seit einiger Zeit im täglichen Betrieb.

### *Ersatzteile*

Die Bereithaltung von Ersatzteilen, insbesondere Messwertaufnehmer ist bei den meisten Betreibern nicht vorgesehen. Nach Auskunft einiger Betreiber sprechen im wesentlichen finanzielle Gründe gegen eine Einlagerung verschiedener Messwertaufnehmer. Da nahezu für jedes messtechnisch ausgerüstete Regenbecken ein speziell auf die örtlichen Randbedingungen abgestimmter Messwertaufnehmer erforderlich ist, wäre die Menge der vorzuhaltenden Ersatzteile unverhältnismäßig groß. Die Mehrzahl der Betreiber nutzt deshalb den Lieferservice der Hersteller, deren Ersatzteile meist innerhalb einer Woche beim Besteller eintreffen. Das bedeutet jedoch auch, dass in der Regel für mehr als eine Woche keine Messwertaufzeichnung am Regenbecken möglich ist. In den wenigen Fällen, in denen ein Betreiber Messwertaufnehmer vorrätig hält, handelt es sich im wesentlichen um Druckmessdosen. Die Gründe dafür sind zum einen in der höheren Störanfälligkeit dieser Sonden zu suchen; zum anderen sind Druckmessdosen vergleichsweise preiswert, so dass eine Lagerhaltung in diesem Fall noch als wirtschaftlich vertretbar zu bezeichnen ist.

### **5.2.3 Datenauswertung und –verwendung**

Das Auslesen der aufgezeichneten Messdaten wird von den Betreibern unterschiedlich gehandhabt. Wie *Abbildung 15* bereits zeigt, sind nicht alle Regenbecken mit der Möglichkeit zur Datenfernübertragung (DFÜ) ausgestattet, so dass ein Teil der Daten noch vor Ort z.B. mit Hilfe eines Laptops ausgelesen werden muss. Zudem hat man zu berücksichtigen, dass nicht alle DFÜ-Einrichtungen auch zur Datenübertragung genutzt werden. Zum Teil werden nur Störmeldungen fernübertragen, so dass schätzungsweise

Bei Anschluss an eine **Datenfernübertragung** werden in der Regel einmal **täglich** alle Messdaten der vergangenen 24 Stunden von zentraler Stelle aus abgerufen und vom Prozessleit- bzw. Betriebsführungssystem gespeichert und verarbeitet. Die Datenfernübertragung hat den entscheidenden Vorteil, dass die aufgezeichneten Daten in kurzen Abständen auf Plausibilität geprüft werden können, so dass eine ständige Kontrolle der Messtechnik gewährleistet ist. Langfristig auftretende Messfehler, beispielsweise durch zunehmende Verschmutzung eines Messwertaufnehmers, lassen sich aufgrund der täglichen Messwertkontrolle gegebenenfalls rechtzeitig beseitigen, bevor es zu einem längeren Ausfall der Aufzeichnung kommt.

Die **vor Ort** gespeicherten Daten werden hingegen nur vergleichsweise selten ausgelesen. Etwa **monatlich** fährt ein Mitarbeiter diejenigen Regenbecken ab, an denen Messdaten aufgezeichnet werden und liest diese mit dem Laptop über eine standardisierte RS 232- Schnittstelle aus. Sofern anschließend eine Auswertung der Daten vorgenommen wird, können auch anhand der manuell ausgelesenen Messwerte etwaige Messfehler aufgedeckt werden.

Nachteilig ist dabei jedoch die Verzögerung der Plausibilitätsprüfung um bis zu vier Wochen, während der unter Umständen bereits eine lange Reihe fehlerbehafteter Daten aufgezeichnet wurde.

Zu den übertragenen bzw. ausgelesenen Daten zählen bei allen Betreibern insbesondere die gemessenen und zeitlich aufgeschlüsselten Beckenwasserstände bzw. Überfallhöhen. Durch eine anschließende **Auswertung** kommen weitere Daten hinzu, die insbesondere Aussagen zur Ereignisdauer und Entlastungsmenge treffen. Die Mehrzahl der Betreiber verzichtet auf eine darüber hinaus gehende statistische Auswertung, welche die Entlastungsereignisse mengenmäßig und nach Häufigkeit auswertet. Als Gründe dafür nannten die Betreiber u.a. zu geringe personelle Kapazitäten sowie ohnehin mangelndes Interesse an einer ausgiebigen statistischen Auswertung der Messergebnisse.

Nach der vorsichtigen Einschätzung einiger Betreiber ist davon auszugehen, dass mit den ausgewerteten Wasserstandsdaten nur eine vergleichsweise grobe Aussage zur Entlastungsmenge gemacht werden. Insbesondere bei kleinen Überfallhöhen beeinflussen zahlreiche Faktoren, wie z.B. Wellenschlag bzw. Form und Material der Überfallschwelle den Entlastungsabfluss. Deshalb ist nicht immer davon auszugehen, dass bei einem Wasserstand von beispielsweise wenigen Zentimetern oberhalb der Entlastungskante auch eine entsprechende Wassermenge abgeschlagen wurde. Denkbar ist, dass sich das Abwasser z.B. aufgrund der darin enthaltenen Grobstoffe zunächst einige Zentimeter hinter der Schwelle aufstaut, bevor das eigentliche Entlastungsereignis beginnt. Demzufolge muss gegebenenfalls hinsichtlich der zu Beginn bzw. Ende einer Entlastung aufgezeichneten Daten eine gewisse **Unschärfe der Auswertung** berücksichtigt werden.

Abbildung 20 zeigt beispielsweise die Aufnahme einer Entlastungsschwelle nach einem größeren Beckeneinstau. Aufgrund der deutlich erkennbaren Verschmutzung lässt sich nachträglich der maximale Wasserstand abschätzen (rote Linie), der offensichtlich leicht oberhalb der



Kante des Entlastungswehrs lag. Dennoch war bei der anschließenden Begehung des Beckens kein weiterer Hinweis für einen Entlastungsabfluss feststellbar.

Abbildung 20: Entlastungsschwelle nach einem Beckeneinstau (rote Linie = Einstauhöhe)

Unter anderem auch aufgrund dieser Unsicherheit bei der Auswertung sind einige Betreiber dazu übergegangen, nur noch Wasserstände ohne eine Berechnung zugehöriger Entlastungsmengen aufzuzeichnen.

Um dennoch eine Aussage darüber treffen zu können, ob bei einem bestimmten Füllstand tatsächlich Abwasser in den Vorfluter entlastet wurde, werden von einem der in dieser Re-



cherche befragten Betreiber zusätzliche Messelektroden verwendet, die auf die Benetzung mit Wasser reagieren. Mit Hilfe dieser auf bzw. hinter ausgewählten Entlastungsschwellen angebrachten Messelektroden lässt sich gegebenenfalls genauer festlegen, wann und ab welchem Wasserstand ein Entlastungsereignis zu verzeichnen ist.

Die weitere **Verwendung** der ausgewerteten bzw. aufgezeichneten Daten orientiert sich im wesentlichen an den, unter Kapitel 5.1 genannten Gründen für die Ausstattung von Regenbecken mit einer entsprechenden Messtechnik:

- Bei Bedarf bzw. auf Anfrage werden die Daten dem zuständigen StUA übergeben, um beispielsweise die Einhaltung der genehmigungsrechtlichen Auflagen nachzuweisen oder um im Schadensfall die Schuldfrage näher zu bewerten.
- Die interne Verwendung der Daten beschränkt sich hingegen meist auf die Durchsicht und Archivierung der gemessenen Daten. Vereinzelt orientiert richtet sich allenfalls der Kanalbetrieb an den gemessenen Wasserständen, um zu entscheiden, ob und bis zu welcher Höhe ein Regenbecken eingestaut war bzw. ob dieses gereinigt werden muss. Des Weiteren werden die Daten im Einzelfall an die Planungsabteilung übertragen, welche aufgrund der Einstauhäufigkeiten die Auslastung der bestehenden Regenbecken überprüft bzw. mit Hilfe des Auslastungsgrades neue Becken plant.
- Die Verwendung der Daten für eine Kanalnetzsteuerung wird derzeit nur im Rahmen von Pilotprojekten genutzt.

### 5.3 Betriebskosten

Eine dauerhaft gut und zuverlässig funktionierende Messeinrichtung bedarf neben der fachgerechten Planung und Montage auch einer kontinuierlichen Wartung und Funktionsprüfung. Beide Positionen verursachen jedoch auch Kosten, die vom Anlagenbetreiber zu tragen sind.

Die Investitionskosten für eine Messeinrichtung orientieren sich im wesentlichen an den bereits in Kapitel 4.1.2 aufgeführten Kosten zuzüglich der Kosten für den Einbau und die Einrichtung der Mess- und Auswertetechnik. Entsprechend der Qualifizierung der beauftragten Firma bzw. dem Einbau durch eigenes Personal variieren diese Kosten in einem für den Einzelfall stark unterschiedlichen Rahmen, so dass an dieser Stelle keine detaillierten Angaben zu den Einbaukosten möglich sind.

Andererseits richten sich die für den Betreiber entstehenden laufenden Kosten vorwiegend nach den erforderlichen betrieblichen Maßnahmen, die sich u.a. zusammensetzen aus

- Wartungs- und Instandsetzungsaufgaben sowie
- Auslesen und Auswerten.

Hinsichtlich des Wartungsaufwands ist außerdem zwischen der weniger zeitaufwendigen Reinigung und der aufwendigeren Kalibrierung der Messwertaufnehmer zu unterscheiden. Während die Reinigung der Messwertaufnehmer im Zuge der ohnehin etwa monatlich erforderlichen Beckenreinigung abgedeckt wird, entstehen nur vergleichsweise geringe zusätzliche Kosten gegenüber der bis zu einen Tag dauernden Kalibrierung eines einzelnen Messwertaufnehmers (vgl. Kapitel 5.2.2).

Hinzu kommen unter Umständen noch Lagerkosten für die Bereithaltung von Ersatzteilen bzw. zusätzliche Kosten für die Instandsetzung oder den Austausch defekter Messtechnik.

Sofern eine Auswertung des aufgezeichneten Datenmaterials vorgesehen ist, verursacht diese weitere Kosten in Form eines erhöhten Personalbedarfs, der sich überwiegend nach den Intervallen und dem Umfang der Auswertung richtet.

#### 5.4 Zusammenfassung und Bewertung der Betreiber-Übersicht

Die Befragung der im Rahmen dieses Projektes berücksichtigten Betreiber von Regenbecken hat gezeigt, dass bereits ein erheblicher Anteil der in die Untersuchung einbezogenen Entlastungsbauwerke mit Messtechnik ausgestattet ist. Der eindeutige Favorit unter den zu diesem Zweck eingesetzten Messsysteme ist offensichtlich das Ultraschall-Echolot, mit dessen Hilfe vorwiegend Überfallhöhen an der Entlastungsschwelle gemessen werden. Als Entlastungsschwelle sind dabei schwerpunktmäßig scharfkantige Wehre aufgefallen, denen gemäß der Herstellerangaben durchaus gute Überfall- und Messeigenschaften zuzuschreiben sind. Der alternativ zur Echolotmessung mögliche hydrostatische Messwertaufnehmer wird hingegen überwiegend eingesetzt, um die Füllstände von Regenbecken aufzuzeichnen.

Gewartet werden die Messeinrichtungen von den Betreibern in weitestgehend regelmäßigen Abständen, so dass meist ein störungsfreier Messbetrieb gewährleistet ist. Zusätzlich zur Reinigung der Messwertaufnehmer in Verbindung mit der Beckenreinigung wird von der Mehrzahl der Betreiber auch die regelmäßige Kalibrierung übernommen. Insbesondere der Einsatz von Druckmessdosen erfordert aus Sicht der Betreiber eine bis zu viermal jährliche Überprüfung der Kalibrierung.

In vielen Bereichen trägt die kontinuierliche Überwachung der Regenbecken mit Hilfe einer Datenfernübertragung dazu bei, plötzlich auftretende Messfehler umgehend festzustellen.

Als ein entscheidendes Manko hat sich im Verlauf der Umfrage bei den Betreibern jedoch die Auswertung des gesammelten Datenmaterials herausgestellt. Nur für fünf der insgesamt 39 untersuchten Regenbecken werden die gemessenen Wasserstände näher ausgewertet, d.h. es werden Entlastungsmengen berechnet. Für die verbliebenen 22 mit einer Messeinrichtung ausgestatteten Regenbecken werden ausschließlich die Wasserstandsdaten **aufgezeichnet** und **archiviert**. Bei den wenigsten Betreibern werden die Messdaten außerdem nach dem Auslesen ausgewertet und auf Plausibilität geprüft.

Kaum einer der Betreiber konnte einen Verwendungszweck für das Datenmaterial angeben, der über die Pflicht gegenüber dem StUA hinausgeht. Nur vereinzelt werden die Messwerte außerdem für die eigenen betrieblichen Aufgaben genutzt, wie z.B. als Entscheidungshilfe dafür, welche Regenbecken aufgrund eines Starkregenereignisses zu reinigen sind.

## **6 Zusammenfassung und Ausblick**

Auf dem Hintergrund der zunehmend an Bedeutung gewinnenden Durchflussmessung im Bereich von Kanalisationsnetzen, wurden in dieser Studie insbesondere die hydrometrisch anspruchsvollen Entlastungsmengenmessungen an Regenbecken ausführlich untersucht.

Im Rahmen einer Literaturrecherche wurden im ersten Teil dieser Ausarbeitung zunächst wesentliche

### **RECHTLICHE UND TECHNISCHE ANFORDERUNGEN**

an Regentlastungsbauwerke sowie deren messtechnische Ausrüstung zusammengestellt.

Im Vordergrund der rechtlichen Betrachtung standen dabei die für das Land NRW gültigen Anforderungen der *Selbstüberwachungsverordnung Kanal (SüwV Kan)* [1] und des *Ministeriellen Runderlasses vom 03.01.1995* [9], welcher als die Bekanntmachung der a.a.R.d.T. hinsichtlich des Betriebs und der Unterhaltung von Bauwerken der Kanalisation gilt. Die Darstellung der Anforderungen hat insbesondere gezeigt, dass dem Betreiber aus rechtlicher Sicht sowohl umfangreiche organisatorische als auch operative Vorgaben zum Betrieb von Abwasseranlagen gemacht werden, die sich u.a. auch unmittelbar auf die Messeinrichtungen an Regenbecken beziehen. Besonders hervorzuheben sind die Anforderungen an die Inhalte des vom Betreiber zu führenden Anweisungs- und Berichtswesens.

Hinsichtlich der konstruktiven Gestaltung und messtechnischen Ausrüstung stehen dem Betreiber außerdem zahlreiche technische Regelwerke zur Verfügung, von denen die wesentlichen im Verlauf dieser Untersuchung dargestellt und beurteilt wurden. Insbesondere war dabei zu unterscheiden zwischen den Anforderungen an das Entlastungsbauwerk einerseits und den Anforderungen an die Messeinrichtung andererseits. Insbesondere die Beurteilung der hydraulisch wirksamen Anforderungen an das Entlastungsbauwerk macht deutlich, dass durch die Umsetzung dieser Vorgaben hinsichtlich der Gestaltung einer Regentlastung, nicht ausschließlich eine Verbesserung der Messbedingungen erreicht wird. Als ein Beispiel sei an dieser Stelle eine Forderung des ATV-DVWK Arbeitsblatts A 128 [5], welche besagt, dass nach Möglichkeit lange Entlastungsschwellen mit zugleich geringen Überfallhöhen vorzusehen sind, welche sich jedoch in erster Linie ungünstig auf die Messbedingungen am Entlastungsbauwerk auswirken.

Um die praktische Umsetzung dieser Anforderungen festzustellen, die von entscheidender Bedeutung für zuverlässige und zudem aussagekräftige Messergebnisse ist, wurden im Rahmen einer

### **MARKTÜBERSICHT**

mehrere zuvor bestimmte Ausrüster von Regenbecken ausführlicher untersucht. Schwerpunkt der Katalogrecherche und individuellen Befragung von Firmenvertretern war zum einen die Erstellung einer Übersicht über die angebotenen Messsysteme und zum anderen die Erörterung der von den Herstellern vorgesehenen qualitätssichernden Maßnahmen. Einer umfangreichen Aufstellung der angebotenen Messsysteme stehen dabei nur wenige Hinweise der Hersteller gegenüber, die auf eine hydrometrisch günstige Gestaltung der Entlastungsbauwerke gemäß der im ersten Teil dieser Untersuchung dargestellten Normen hindeuten. Positiv hervorzuheben ist diesbezüglich nur die eindeutige Tendenz zum Bau scharfkantiger Über-

fallwehre, welche die Genauigkeit der aufgrund hydraulischer Messverfahren ermittelten Entlastungsmengen erheblich verbessern.

Hinsichtlich der in den Firmenprospekten angegebenen Messfehler ist zu bemängeln, dass seitens der Hersteller nur selten die der Fehlerermittlung zu Grunde liegenden Randbedingungen genannt werden, anhand der erst eine Unterscheidung zwischen Verkehrsfehler, Nennfehler, etc. gemäß DIN 1319 [18] möglich ist. Aus Sicht des Betreibers, der sich im Rahmen der Ausrüstung eines Regenbeckens für ein bestimmtes Messsystem entscheiden muss, entsteht dadurch unter Umständen der Eindruck eines vermeintlich geringen Messfehlers, der jedoch tatsächlich nur unter Laborbedingungen erreichbar ist. Unüberschaubar ist zudem das „Zusammenspiel“ mehrerer Messfehler, die sich aus der Kombination verschiedener Messwertaufnehmer ergeben. Vom Hersteller werden die Einzelfehler der Geräte vorgegeben während die Bestimmung des Gesamtfehlers in der Regel dem Anwender überlassen wird.

Einen Eindruck davon, wie seitens der Betreiber die Zuverlässigkeit der Messergebnisse sichergestellt wird, d.h. welche qualitätssichernden Maßnahmen diesbezüglich vor, während und nach dem Einbau der Messtechnik vorgesehen werden, wurde im dritten Teil dieser Studie dargestellt. Die Ergebnisse der Recherche bei vier Betreibern (Kommunen und Wasserverbände) unterschiedlicher Größe und Organisationsform wurden in einer

#### **BETREIBER-ÜBERSICHT**

zusammengestellt und bewertet. Aufgrund einer zunächst durchgeführten Bestandsaufnahme der von diesen Betreibern unterhaltenen Regenbecken, konnte belegt werden, dass bereits ein erheblicher Anteil der untersuchten Regenbecken mit Messeinrichtungen ausgestattet ist, von denen zudem einige an das Netz einer Datenfernübertragung angeschlossen sind. Als das für die Messwerterfassung am häufigsten eingesetzte Verfahren erwies sich die Wasserstandsmessung vor der Entlastungsschwelle unter Verwendung eines Ultraschall-Echolots. Der überwiegende Einsatz dieses Messwertaufnehmers ist neben der geringen Störanfälligkeit nicht zuletzt auch auf ökonomische Überlegungen zurückzuführen. Die Betriebserfahrungen verschiedener Anwender sprechen dafür, dass sowohl die Investitionskosten als auch der Wartungsaufwand eines Echolots bedeutend geringer ausfallen als für eines der alternativ angebotenen Messsysteme.

Darüber hinaus konnte im Rahmen dieser Studie gezeigt werden, dass sowohl die Anforderungen der SüwV Kan [1] als auch des ministerielle Runderlass zum Betrieb von Kanalisationen [9] grundlegend dazu beigetragen haben, dass sich das Bewusstsein der Betreiber u.a. hinsichtlich der Eigenüberwachung von Regentlastungsanlagen merklich verbessert hat. In Ergänzung zu den Bedienungsanleitungen und Empfehlungen der Hersteller und unter Berücksichtigung der in den einschlägigen Normen wiedergegebenen a.a.R.d.T wird den Betreibern eine gute Anleitung zum Betrieb von Abwasseranlagen gegeben. Aufgrund der rechtlichen Verpflichtung zur Eigenüberwachung sind die Betreiber ferner gezwungen sich mit der Wartung und Kalibrierung ihrer Messwertaufnehmer eingehend zu befassen.

Demgegenüber hat sich die Qualitätssicherung der Betreiber beim Einbau der Messtechnik im Verlauf dieser Untersuchung als ein weiterhin bedeutsames Problem herausgestellt. Im wesentlichen tragen organisatorische Fehler, wie beispielsweise die fehlende frühzeitige Berücksichtigung der Messtechnik bei der Planung und Bauausführung für ein Regenbecken, dazu bei, dass vor Ort vielfach nicht von den optimalen Messbedingungen auszugehen ist.

Auf diesem Hintergrund besteht insbesondere Handlungsbedarf, um das grundsätzliche Interesse der Betreiber für die Aufzeichnung der Entlastungsmengen an Regenbecken zu fördern, da ein Großteil der Regenbecken bisher nicht auf Eigeninitiative der Betreiber mit Messtechnik ausgestattet wurde. Die Gründe liegen viel eher in den rechtlichen Forderungen nach einer messtechnischen Überwachung wichtiger Regenbecken.

Einen Lichtblick verspricht in dieser in Hinsicht vielleicht die zunehmende Verbreitung der Kanalnetzsteuerung, deren Ziel die optimale Nutzung des Retentionsraumes innerhalb der Kanalisation ist. Für die ganzheitliche Kontrolle und Steuerung der Abflüsse ist eine gut funktionierende Messtechnik von entscheidender Bedeutung, so dass einige Betreiber aus eigenem Interesse bereits jetzt bestrebt sind, möglichst alle ihre Becken mit entsprechender Messtechnik auszustatten. Da in Zukunft mit einer zunehmenden Bedeutung dieser Technik zu rechnen ist, sind bereits zu diesem Zeitpunkt auch andere Betreiber gefragt frühzeitig, ihr Interesse auf die Durchflussmessung im Bereich des Kanalnetzes einschließlich der dazu gehörenden Sonderbauwerke zu richten.

**7 Verzeichnis der Abbildungen**

ABBILDUNG 1: SCHEMATISCHE DARSTELLUNG EINER REGENENTLASTUNG.....2

ABBILDUNG 2: ANFORDERUNGEN (A.A.R.D.T.) AN DIE MESSUNG VON ABSCHLÄGEN IM ENT-  
LASTUNGSBAUWERK.....4

ABBILDUNG 3: ENTSCHEIDUNGSGRUNDLAGE FÜR DIE WAHL EINES ENTLASTUNGSMENGEN-  
MESSVERFAHRENS NACH AUSWAHL VON MESSSTELLE, MESSVERFAHREN UND MESSWERT-  
AUFNEHMER.....40

ABBILDUNG 4: ULTRASCHALL-ECHOLOT VOR DER ENTLASTUNGSSCHWELLE.....41

ABBILDUNG 5: WASSERSTANDSMESSUNG VOR DER ENTLASTUNGSSCHWELLE – LINKS:  
DRUCKMESSDOSE – RECHTS: LUFTEINPERLVERFAHREN.....44

ABBILDUNG 6: KRONENFORM UND ÜBERFALLBEIWERTE [29].....45

ABBILDUNG 7: DURCHFLUSSMESSUNG IM ENTLASTUNGSKANAL MIT ULTRASCHALL-ECHO-  
LOT, ULTRASCHALL-DOPPLER UND DRUCKMESSDOSE (MESSWERTAUFNEHMER V.L.N.R.).....46

ABBILDUNG 8: DURCHFLUSSMESSUNG IM ENTLASTUNGSKANAL – LINKS: GEDÜKERTER  
DRUCKROHR-MID, RECHTS: UNGEDÜKERTER TEILFÜLLUNGS-MID.....48

ABBILDUNG 9: ANSTEIGEN DES MID-MESSFEHLERS (VERKEHRSFEHLER) BEI ABNEHMENDEM  
VOLUMENSTROM (QUALITATIV) [30].....48

ABBILDUNG 10: LÄNGSSCHNITT DURCH EINEN RÜCKSTAU-VENTURI-KANAL [31].....49

ABBILDUNG 11: KONSTRUKTION EINES RSVK IM ENTLASTUNGSKANAL BOCHUM-  
MARKSTRASSE.....49

ABBILDUNG 12: KOSTEN FÜR EINE MID-MESSSTELLE IM ENTLASTUNGSKANAL (NACH HER-  
STELLERANGABEN [28]).....50

ABBILDUNG 13: KOSTENVERGLEICH FÜR GÄNGIGE MESSVERFAHREN BEI EINEM ENTLAS-  
TUNGSKANAL DN 1000 (BESTIMMUNG NACH HERSTELLERANGABEN [35], [30], [32], [33], [34])....51

ABBILDUNG 14: BEISPIEL FÜR DIE DARSTELLUNG EINER WASSERSTANDS-GANGLINIE MIT  
ABSCHLAGSEREIGNIS [35].....54

ABBILDUNG 15: BESTANDSAUFNAHME FÜR DIE IM RAHMEN DIESER STUDIE BERÜCKSICH-  
TIGTEN REGENBECKEN.....58

ABBILDUNG 16: BEWEGLICHE ENTLASTUNGSSCHWELLE MIT ECHOLOT UND DREHWINKEL-  
GEBER.....60

ABBILDUNG 17: BECKENÜBERLAUF MIT ZWEI MESSWERTAUFNEHMERN ENTLANG DER ENT-  
LASTUNGSSCHWELLE.....61

ABBILDUNG 18: BEISPIELE FÜR VERSCHMUTZUNGEN IM BEREICH VON ENTLASTUNGS-  
SCHWELLEN (ROT).....62

ABBILDUNG 19: GETRENNTE MESSWERTAUFNEHMER ZUR AUFZEICHNUNG VON FÜLLSTAND  
(DRUCKMESSDOSE) UND ÜBERFALLHÖHE (ECHOLOT).....63

ABBILDUNG 20: ENTLASTUNGSSCHWELLE NACH EINEM BECKENEINSTAU (ROTE LINIE = EIN-  
STAUHÖHE) .....67

## 8 Verzeichnis der Tabellen

TABELLE 1: TECHNISCHE ANFORDERUNGEN (A.A.R.D.T.) AN DIE MESSEINRICHTUNG UND DAS ENTLASTUNGSBAUWERK.....	5
TABELLE 2: ANFORDERUNGEN AN ENTLASTUNGSBAUWERKE.....	34
TABELLE 3: HYDRAULISCHE MESSVERFAHREN .....	35
TABELLE 4: MESSWEHR.....	35
TABELLE 5: MESSWERTAUFNEHMER FÜR DIE FLIEßTIEFE.....	37
TABELLE 6: MESSUMFORMER.....	37
TABELLE 7: MESSWERTAUFNEHMER FÜR DIE FLIEßGESCHWINDIGKEIT.....	38
TABELLE 8: ÜBERSICHT GÄNGIGER MESSSYSTEME FÜR REGENENTLASTUNGSBAUWERKE.....	41
TABELLE 9: ÜBERSICHT ÜBER DIE IN DIESER STUDIE BERÜCKSICHTIGTEN REGENENTLASTUNGSBAUWERKE VERSCHIEDENER BETREIBER.....	57

## 9 Literatur

- [1] Verordnung zur Selbstüberwachung von Kanalisationen und Einleitung von Abwasser aus Kanalisationen im Mischsystem und im Trennsystem (Selbstüberwachungsverordnung Kanal - SüwV Kan). - Gesetz- und Verordnungsblatt für das Land Nordrhein-Westfalen, **49** (Nr. 10): S. 64- 67; Düsseldorf 1995
- [2] Programm LWA-Flut: Prüfprogramm zur Berechnung von Jahresabschlagmengen aus Kanalnetzen. - LWA-Materialien Nr. 2/87: 200 S.; Düsseldorf 1987
- [3] Seybold, W. & H. Fahrner: Wege zur unmittelbaren Verbesserung der Regenwasserbehandlung; Teil 1: Planerische Grundlagen für den Entwurf. - Korrespondenz Abwasser, **35** (1988)
- [4] Verordnung über Art und Häufigkeit der Selbstüberwachung von Abwasserbehandlungsanlagen und Abwassereinleitungen (Selbstüberwachungs-Verordnung SüwV) – Gesetz- und Verordnungsblatt für das Land Nordrhein-Westfalen, Nr. 44: S. 494- 505; Düsseldorf 1989
- [5] ATV-DVWK Arbeitsblatt A 128: Richtlinien für die Bemessung und Gestaltung von Regenentlastungsanlagen in Mischwasserkanälen. – Regelwerk Abwasser – Abfall; GFA, Hennef 1994
- [6] ATV-DVWK Arbeitsblatt A 111: Richtlinien für die hydraulische Dimensionierung und den Leistungsnachweis von Regenwasser-Entlastungsanlagen. - Regelwerk Abwasser – Abfall; GFA, Hennef 1994
- [7] Hassinger, R.: Durchflußmessung an Regenentlastungsbauwerken. - In: Abwassertechnische Vereinigung e. V. (ATV) [Hrsg.]: Durchflußmessungen in Abwasseranlagen. - Tagungsband zum ATV-Seminar für die Abwasserpraxis am 12. Und 13. Oktober 1994; GFA, Hennef 1994
- [8] Hassinger, R.: Induktive Durchflußmessung in Abwasseranlagen - Messprinzip und Schlußfolgerungen für den Einbau. - In: Fachgebiet für Siedlungswasserwirtschaft der Universität-GH Kassel [Hrsg.]: Magnetisch-induktive Durchflußmessung auf Kläranlagen - Grundlagen und Anwendungen; Hirthammer Verlag, München 1993
- [9] Anforderungen an den Betrieb und die Unterhaltung von Kanalisationsnetzen - RdErl. d. Ministeriums für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft v. 03.01.1995 - Bekanntmachung im Ministerialblatt für das Land NRW – Nr. 14 vom 10. Februar 1995
- [10] ISO 1438, Part 1: Water flow measurements in open channels using weirs and venturiflumes - Part 1: Thin-plate weirs. - 1980
- [11] Peter, G., H. Barleben & H. Fahrner: Optimierung von Entlastungsbauwerken und Entlastungsschwellen in der Mischwasserkanalisation. - Korrespondenz Abwasser, **43** (1996): S. 730-750



- [12] Fahrner, H., G. Peter & W. Seybold: Problematik der Entlastungsmessung an Überlaufbauwerken der Mischwasserkanalisation. - Korrespondenz Abwasser, **37** (1990): S. 1175-1188
- [13] ATV-DVWK Arbeitsblatt A 156: Regeln für den Kanalbetrieb – Regenbecken und –entlastungen. – Regelwerk Abwasser – Abfall; GFA, Hennef November 200
- [14] ATV-DVWK Arbeitsblatt A 166: Bauwerke der zentralen Regenwasserbehandlung und –rückhaltung. – Regelwerk Abwasser – Abfall; GFA, Hennef November 1999
- [15] ATV-DVWK Arbeitsblatt 241: Bauwerke in Entwässerungsanlagen (Entwurf). – Regelwerk Abwasser – Abfall; GFA, Hennef Mai 1998
- [16] ATV-DVWK Merkblatt M 176: Hinweise und Beispiel zur konstruktiven Gestaltung und Ausrüstung von Bauwerken der zentralen Regenwasserbehandlung und –rückhaltung. – Regelwerk Abwasser – Abfall; GFA, Hennef Februar 2001
- [17] DIN EN 752: Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden, Teil 4: Hydraulische Berechnung und Umweltschutzaspekte; Deutsche Fassung EN 752-4: November 1997
- [18] DIN 1319: Grundlagen der Messtechnik  
 Teil 1: Grundlagen. – Januar 1995  
 Teil 2: Begriffe für die Anwendung von Messgeräten. – Februar 1996  
 Teil 3: Auswertung von Messungen einer einzelnen Messgröße; Messunsicherheit. – Februar 1995  
 Teil 4: Auswertung von Messungen. – Oktober 1997
- [19] ATV-Arbeitsgruppe 1.2.5 *Quantitative und qualitative Abflußmessung*: ATV-Arbeitsbericht: Quantitative Durchflußmessung. - Korrespondenz Abwasser, **34** (1987): S. 1205-1214
- [20] Pegelvorschrift, Anlage D: Richtlinie für das Messen und Ermitteln von Abflüssen und Durchflüssen. – Hrsgg. von der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser und dem Bundesminister für Verkehr; Hamburg und Bonn 1991
- [21] ATV-DVWK Merkblatt M 256: Anforderungen an Betriebsmesseinrichtungen auf Kläranlagen, Teil 1: Allgemeine Anforderungen. –Regelwerk Abwasser – Abfall; GFA, Hennef Februar 2001
- [22] ATV-DVWK Merkblatt M 256: Anforderungen an Betriebsmesseinrichtungen auf Kläranlagen, Teil 6: Anforderungen an Messeinrichtungen zum Messen und Überwachen von Füllständen. –Regelwerk Abwasser – Abfall; GFA, Hennef Februar 2001
- [23] DIN 19 559: Durchflussmessung von Abwasser in offenen Gerinnen und Freispiegelleitungen, Teil 1: Allgemeine Angaben. – Juli 1983
- [24] DIN 19 559: Durchflussmessung von Abwasser in offenen Gerinnen und Freispiegelleitungen, Teil 2: Venturi-Kanäle. – Juli 1983

- [25] ISO 1438: Water flow measurement in open channels using weirs and Venturi flumes, Part 1: Thin-plate weirs. – April 1980, ergänzt durch: Amendment 1, April 1998
- [26] DIN EN 29104: Durchflußmessung von Fluiden in geschlossenen Leitungen; Verfahren zur Beurteilung des Betriebsverhaltens von magnetisch-induktiven Durchflußmeßgeräten für Flüssigkeiten. – August 1993
- [27] VDI/ VDE 2641: Magnetisch-induktive Durchflussmessung. – VDI/ VDE-Richtlinie – VDI-Verlag GmbH, Juli 1985
- [28] DVGW-Arbeitsblatt W 420: Magnetisch-Induktive Durchflußmessung – MID-Geräte – Regelwerk Wasserverteilung, Wassermessung; Eschborn 1990
- [29] Wendehorst: Bautechnische Zahlentafeln, 26. Auflage, B.G. Teubner Stuttgart – Beuth Berlin und Köln, 1994
- [30] Produktinformation Vollmar GMBH: Handbuch – Regenbecken-Abfluss-Steuerungen, Abwasser-Mess-Stationen und Entlastungs-Mess-Stellen, Eigenverlag der Vollmar GmbH, Stuttgart, 1993
- [31] Hassinger, R.: Meßsystem für Regenentlastungskanäle - der Rückstau-Venturi-Kanal – Korrespondenz Abwasser 09/1999
- [32] Produktinformation der Firma NIVUS GmbH, Eppingen
- [33] Produktinformation der Firma Umwelt- und Fluidtechnik UFT GmbH, Bad Mergentheim
- [34] Produktinformation der Firma Hydro-Systemtechnik HST GmbH, Meschede
- [35] Produktinformation W.A.S. GmbH; Braunschweig