



Forschungsinstitut für
Wasser- und Abfallwirtschaft
an der RWTH Aachen

FiW e.V.
Mies-van-der-Rohe-Str. 17
52056 Aachen
Fon 0241 80 2 68 25
Fax 0241 87 09 24
fiw@fiw.rwth-aachen.de www.fiw.rwth-
aachen.de

ABSCHLUSSBERICHT

Machbarkeitsuntersuchung zur mobilen Durchflussmessung in Kanalisationen integriert in eine Schachtabdeckung

IV-9-042 3D6

Aachen, im September 2007
FiW an der RWTH Aachen

Dr.-Ing. F.-W. Bolle

/gefördert durch



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



Forschungsinstitut für
Wasser- und Abfallwirtschaft
an der RWTH Aachen

Abschlussbericht zum Projekt

**Machbarkeitsuntersuchung zur mobilen Durchflussmessung in
Kanalisationen integriert in eine Schachtabdeckung**

IV-9-042 3D6

im Auftrag des



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

Aachen, im September 2007
FiW an der RWTH Aachen

Dr.-Ing. F.-W. Bolle

Projektbearbeitung

Institution

Bearbeiter

Forschungsinstitut für Wasser- und Abfallwirtschaft
an der RWTH Aachen (FiW) e.V.

Dr.-Ing. K. Müller

Mies-van-der-Rohe-Str. 17
52056 Aachen

IKT
Institut für unterirdische Infrastruktur

Dipl.-Ing. Christoph Bennerscheidt

Exterbruch 1
45809 Gelsenkirchen

IBR
Ingenieurbüro Redlich und Partner GmbH

Dipl.-Ing. Dirk Schrader

Rheingauer Str. 9
65388 Schlangenbad

Dipl.-Ing. (FH) Armin Breitstadt

PROJEKTKURZBESCHREIBUNG

Durchflussmessungen in der Abwasserkanalisation müssen vorgenommen werden, um deren hydraulische Belastung festzustellen sowie die Ursachen dieser Belastungen zu identifizieren.

Ein mobiles Messgerät, welches an verschiedenen Stellen leicht, ohne hohen personellen Aufwand und gefahrlos einsetzbar ist, wäre für Einzelmessungen sinnvoll. Dabei sollte das Auslesen von Messwerten am Messgerät einfach und ohne hohen Aufwand möglich sein. Eine ausreichende und dauerhafte Energieversorgung des Gerätes muss zusätzlich sichergestellt werden.

In dieser Studie wird untersucht, inwieweit es möglich ist, ein mobiles Durchflussmessgerät zu gestalten, welches o.g. Kriterien erfüllt. Dabei wird sich auf die Integration eines Durchflussmessgerätes in eine Schachtabdeckung konzentriert, da Schächte den größten Anteil an Bauwerken der Ortsentwässerung bilden und somit über die Schachtabdeckungen ein guter Zugang zum Kanalnetz gegeben ist bzw. die Messvorrichtungen an vielen Stellen einsetzbar sind. Die Integration in eine Schachtabdeckung hat weiterhin den Vorteil, dass diese mit Schachtabdeckungen vor Ort kurzzeitig ausgetauscht werden kann und universal einsetzbar ist, da viele Kanaldeckel einer Normgröße entsprechen.

INHALTSVERZEICHNIS

1	Zusammenfassung	1
2	Einleitung.....	3
3	Durchflussmessung an Abwasseranlagen.....	5
3.1	Allgemeines	5
3.2	Mobile Durchflussmeseinrichtungen	6
3.2.1	Magnetisch-Induktive-Messwertaufnehmer (MID).....	6
3.2.2	Ultraschall-Laufzeitdifferenzenverfahren	9
3.2.3	Ultraschall-Doppler-Verfahren	13
3.2.4	Tracer-Verdünnungsmessung	14
3.2.5	Messschacht-Steckrinne	17
3.2.6	Radar	18
3.3	Mobile Durchflussmessgeräte für den Einsatz in Schachtbauwerken	19
3.4	Zusammenfassung	24
4	Die Schachtabdeckung als Einbauort für eine Durchflussmessung	26
4.1	Allgemeines	26
4.2	Regelwerke zur Gestaltung von Schachtbauwerken	28
4.2.1	Baumaterial	28
4.2.2	Schachtabdeckungen	30
4.2.3	Steigeisen	34
4.3	Schachtbauwerke im Bestand	35
4.4	Hydrometrische Randbedingungen	38
4.5	Konsequenzen für den Einsatz von Durchflussmeseinrichtungen integriert in eine Schachtabdeckung	43
5	Energieversorgung der Durchflussmessung integriert in die Schachtabdeckung	45
5.1	Zielsetzung zur Energieversorgung der Durchflussmessung	45
5.2	Ermittlung des benötigten Energiebedarfs der Durchflussmessung	45
5.2.1	Batterieversorgung der Durchflussmessung	46
5.2.2	Nachladung der Batterie zur Energieversorgung der Durchflussmessung mittels einer Photovoltaikanlage	48

6	Integration einer Datenschnittstelle in die Schachtabdeckung	54
6.1	Kabelgebundene Datenübertragungsschnittstelle	54
6.2	Drahtlose Datenübertragungsschnittstelle	55
6.3	Fazit	56
7	Einsatzempfehlungen	57
8	Literatur	60

VERZEICHNIS DER BILDER

Bild 3.1:	MID-Messstelle gedükert durch einen Auslaufbogen im Ablauf der Messrohrleitung	7
Bild 3.2:	Vor-Ort-Montage eines tragbaren MID (DN 125) zur mobilen Vergleichsmessung	8
Bild 3.3:	Messung mittels eines tragbaren MID mit Auslaufbogen (hier: Einleitungsstelle einer Kläranlage)	9
Bild 3.4:	Durchflussmessung nach dem Ultraschall-Laufzeitdifferenzenverfahren nach GE-Panametrics [2002]	10
Bild 3.5:	Beispiele für die Ultraschall-Laufzeitdifferenzen-Messung im Kläranlagenablauf (DN 1600 und DN 2400)	10
Bild 3.6:	USD-Messung (Aufbau als V-Durchschallung)	12
Bild 3.7:	Aufstaeueinrichtung zur Durchflussmessung mittels des Ultraschall-Laufzeit-differenzenverfahrens in der Freispiegelkanalisation	13
Bild 3.8:	Ultraschall-Doppler-Messung / Korrelationsverfahren am Beispiel des PCM Pro der Fa. Nivus AG	14
Bild 3.9:	Entnahme und Analyse der Proben zur Bestimmung der Abflussmenge mittels Fluoreszenzspektrometrie im Ablauf einer Kläranlage	16
Bild 3.10:	Links: Messschacht-Steckrinne als Bauteil. Rechts: Darstellung der eingebauten Messschacht-Steckrinne mit Höhenstandssensor [Systech 2007]	18
Bild 3.11:	Flo-Dar Sensor mit zusätzlichem magn. induktivem Sensor [GWU 2007]	19
Bild 4.1:	Prinzipskizze eines Schachtes nach DIN 19 549 [Stein 1999]	27
Bild 4.2:	DIN 4034-1: links Schachthals mit Muffe (SH-M); rechts: Auflageringe (AR-V)	28


Bild 4.3:	Einstieg- oder Sichtschacht aus Mauerwerk nach (König, 1902) (links) und Blick in einen rechteckigen gemauerten Schacht (rechts)	29
Bild 4.4:	Kunststoffschacht mit Lastausgleichsplatte (nach ALPHACAN)	30
Bild 4.5:	Beispiele für Schachtabdeckungen im Straßenraum	30
Bild 4.6:	Darstellung der äußeren Kraffteinwirkung und resultierenden Reaktionskräfte	32
Bild 4.7:	Steigeisen Form A (links) und Form B (rechts) nach Weischer [2007]	34
Bild 4.8:	Steigeisen Form C (links) und Form D mit Aufkantung (rechts) nach Weischer [2007]	35
Bild 4.9:	Verteilung der Schachttiefen im Bestand	36
Bild 4.10:	Verteilung der Gerinnebreiten [DN] im Bestand	36
Bild 4.11:	maximale Messkegelwinkel (α) in Abhängigkeit von Gerinnebreite und Abstand der Messeinrichtung von der Wasseroberfläche (~ Schachttiefe)	37
Bild 4.12:	Verteilung der Messkegelwinkel im Bestand	38
Bild 4.13:	Vor- und Nachlaufstrecken für vollgefüllte MIDs nach (Hassinger, 1993)	38
Bild 4.14:	links: Regelschacht (RSch) mit hochgezogener Berme; rechts: Sonderschacht (SSch) mit tiefliegender Berme [vgl. DWA 2006]	40
Bild 4.15:	Beispiele für Schachtgerinne im bestehenden Kanalnetz [Puhl 2007]	41
Bild 4.16:	Der Schacht als Vereinigungsbauwerk und Richtungswechsel im Schachtbauwerk	42
Bild 5.1	Schachtabdeckung und verfügbare Fläche	48
Bild 5.2	Durchschnittliche Sonnenscheindauer in Deutschland [DWD; http://imkhp8.physik.uni-karlsruhe.de/~lacunosa/Artikel/sonne.html]	52
Bild 5.3	Gegenüberstellung von Energiebedarf und Energiedargebot in Abhängigkeit vom Messintervall und Sonnenscheindauer	53
Bild 6.1	MDA (Mobil Digital Assistant) zum Auslesen der Messwerte	54
Bild 6.2	Darstellung der Messwerte Durchfluss, Fließgeschwindigkeit und Füllstand	55
Bild 7.1	Montage Messwertaufnehmer mittels des mobilen Montagegestells	58
Bild 7.2	Modifizierter Schmutzfang zur Aufnahme des Messwertumformers mit Datenlogger und GPRS-Datenübertragungseinrichtung	

einschließlich des exgeschützten Gehäuses zur Aufnahme des Ladereglers	58
--	----

VERZEICHNIS DER TABELLEN

Tabelle 3.1	Ergebnis der Marktrecherche zur Versorgung der mobilen Durchflussmessung mittels Solarmodul	21
Tabelle 4-1:	Ausführungsbeispiele für Schachtabdeckungen	33
Tabelle 4-2:	Normen Steigeisen und Steigkästen	35
Tabelle 4.3	Verlustbeiwerte ζ_{RSch} für Regelschächte (RSch) nach DWA A 110 [DWA 2006] mit hochgezogener Berme	40
Tabelle 4.4	Verlustbeiwerte ζ_{SSch} für Sonderschächte (SSch) nach DWA A 110 [DWA 2006] mit tiefliegender Berme	41
Tabelle 5.1	Leistungsbedarf in Abhängigkeit des Messintervalls.....	46
Tabelle 5.2	Ermittlung der Betriebszeit einer Batterie mit 48 Ah in Abhängigkeit der Messintervalle	47
Tabelle 5.3	Ergebnis der Marktanalyse zur Versorgung der Durchflussmessung mittels einzelnen Solarzellen	49
Tabelle 5.4	Ergebnis der Marktrecherche zur Versorgung der mobilen Durchflussmessung mittels Solarmodul	50
Tabelle 5.5	Geeignete Photovoltaikmodule zum Einbau in den Kanaldeckel	51

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

Kürzel	Erläuterung	Einheit
∅	Durchmesser	m
A	Fläche	m ²
A	Ampere	
ATEX	Atmosphère explosible Synonym für ATEX Produktrichtlinie 94/9/EG und ATEX Betriebsrichtlinie 1999/92/EG	
ATV		
DIN	Deutsches Institut für Normung	
DN	Nennweite	
DVGW	Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfa- ches e. V.	
DWA	Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Ab- wasser und Abfall	
DWD	Deutscher Wetterdienst	
EN	Europäische Norm	
GGG	duktiler Grauguß	
GPRS	General Packet Radio Service	
h	Höhe	m
h	Stunde	
H _E	horizontale Last	kN
H _R	Reaktionskraft horizontal	kN
Imp _{pp}	Strom im Maximum-Power-Point	A
MDA	Mobil Digital Assistant	
MID	magnetisch-induktive Durchflussmessung	
NRW	Nordrhein Westfalen	
PC	Personal Computer	
P _{mpp}	Leistung im Maximum-Power-Point	VA
ppb	parts per billion	
Q	Volumenstrom	m ³ /s
R _R	Reaktionskraft Rotation	kN
SBR	Styrene Butadiene Rubber	
SüwV	Selbstüberwachungsverordnung	
Um _{pp}	Spannung im Maximum-Power-Point	V
USB	Universal Serial Bus	

Kürzel	Erläuterung	Einheit
USD	Ultraschall-Laufzeitdifferenz	
v	Geschwindigkeit	m/s
V	Volt	
VDE	Verband der Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik e.V.	
VDI	Verein Deutscher Ingenieure	
V _E	vertikale Last	kN
V _R	Reaktionskraft Vertikal	kN
W	Watt	VA

1 Zusammenfassung

Aufgabenstellung dieser Studie ist die Prüfung der Möglichkeit, eine Durchflussmesseinrichtung in eine Schachtabdeckung zu integrieren. Dadurch könnte eine Messeinrichtung z.B. im Rahmen eines Fremdwassersanierungskonzeptes schnell und ohne hohen personellen Aufwand (z. B. Personensicherung bei Einstieg in den Kanal) installiert und deinstalliert werden.

Mobile Durchflussmesseinrichtungen bestehen dabei grundsätzlich aus folgenden Komponenten:

- Messwertaufnehmer bzw. Sensor,
- Messwertumformer (Auswertegerät),
- Akku,
- Datenlogger (Datenspeicher) und
- Datenschnittstelle bzw. -übertragungseinrichtung.

Aufgrund der vielfältigen geometrischen und hydrometrischen Randbedingungen, die die Schachtbauwerke und dort insbesondere die Gerinnelängs- und Querschnitte sowie die zu- bzw. abgehenden Kanäle aufweisen, kann festgehalten werden, dass eine Integration des Messwertaufnehmers in die Schachtabdeckung nur in Ausnahmefällen eine Messung des Abflusses im Kanal erlaubt. Vor diesem Hintergrund wäre der Einsatzbereich einer derartigen Messeinrichtung stark eingeschränkt. Vielmehr wurde festgestellt, dass der berührungslos arbeitende Sensor nahe der Wasseroberfläche installiert werden sollte. Möglichkeiten der Sensormontage werden in Abschnitt 7 diskutiert.

Als Messsensoren kommen dabei derzeit folgende Systeme in Betracht:

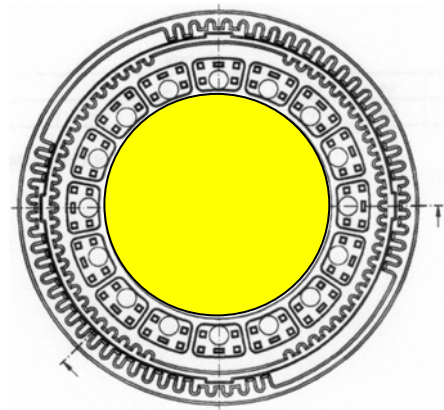
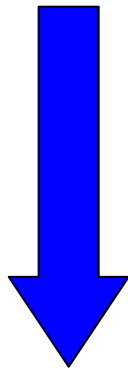
- Flo-Dar Sensor [GWU 2007] oder
- Ultraschall-Wasserstandsmessung, sofern im Vorfeld die Q-h-Beziehung z.B. im Rahmen einer Messkampagne ermittelt wurde.

Unabhängig von der Messsensorik besteht die Möglichkeit, Messwertumformer, Akku, Datenlogger und Datenschnittstelle in einen Schmutzfänger zu integrieren und den so ausgestatteten Schmutzfänger als kompakte Einheit in den entsprechenden Schacht einzuhängen. Hierdurch werden wesentliche Wartungsarbeiten (z. B. Akkuwechsel oder Datenauslese) ermöglicht, ohne dass in den Schacht eingestiegen werden muss. Ergänzend sollte diese Einheit mit einem GPRS ausgestattet werden. Dies erlaubt eine regelmäßige Datenübertragung über das Mobiltelefonnetz; ein Anfahren der Messstelle zur Datenauslese ist dann im Regelfall nicht mehr erforderlich. Werden zusätzlich noch Warn- oder Fehlermeldungen übertragen, kann der Wartungsaufwand der Messstelle bei gleichzeitig hoher Datensicherheit minimiert werden.

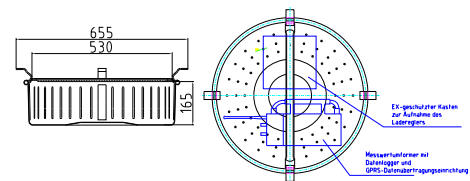
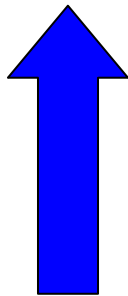
Eine weitere Option besteht in der Entwicklung eines Schachtdeckels, dessen Betonkern durch Solarzellen ersetzt wird, die in transparentes Kunstharz eingegossen oder mit entsprechend tragfähigen Glas gesichert werden. Hierdurch kann unter günstigen Randbedingungen ein autarkes Messsystem gestaltet werden. Auch wenn Beleuchtung der Solarzellen z. B. aufgrund ruhenden oder fließenden Verkehrs oder geringer Sonneneinstrahlung im Winter nicht optimal sind, kann eine erhebliche Standzeitverlängerung der Akkueinheit erreicht werden.

Damit ergibt sich zusammenfassend eine Empfehlung für die Entwicklung eines aus drei unabhängigen und frei kombinierbaren Komponenten bestehenden Messsystems wie folgt:

- Schachtdeckel mit Photovoltaik



- Schmutzfangkorb mit Messwertumformer, Datenlogger, Akku, USB



- Messsensor
Radar oder
Ultraschall-Höhenmessung bei bekannter Q-h-
Beziehung



2 Einleitung

Durchflussmessungen in der Abwasserkanalisation müssen vorgenommen werden, um deren hydraulische Belastung bzw. Auslastung festzustellen sowie die Ursachen zu identifizieren. Im Detail können beispielsweise folgende Gründe für eine Durchflussmessung vorliegen:

- Prüfung der tatsächlichen hydraulischen Belastung einer Abwasserleitung
- Identifizierung von Fremdwasserquellen im Kanalnetz
- Datengewinnung für eine Kanalnetzsteuerung bzw. zur Prüfung, ob eine Kanalnetzsteuerung für ein Kanalnetz geeignet ist
- Quantitative Erfassung von Kläranlagenzuläufen

Nach DIN 19 559, Teil 1 (DIN 1983) werden zwei Arten von Durchflussmessungen unterschieden, Dauermessungen und Einzelmessungen. Die Dauermessung registriert ständig einen Durchfluss, die Einzelmessung dient hauptsächlich zu Kontroll- und Kalibriermessungen.

Genauso wie für Langzeitmessungen, müssen für Einzelmessungen und kurzzeitige Messungen Messgeräte im Kanal installiert werden. Je nach Messgerät bzw. Messverfahren kann die Installation des Gerätes aufwändig und personalintensiv sein.

Häufig müssen einmalige Durchflussmessungen im Kanal gerade bei Regenwetter vorgenommen werden. Teilweise werden zur Durchflussmessung nur einfache Messlatten eingesetzt, so dass das Betriebspersonal im Regen die Messungen vornehmen muss und lediglich Stichproben erfassen kann.

Ein mobiles Messgerät (Gerät, welches für einen kurzen Zeitraum installiert wird, eine unabhängige Energieversorgung besitzt und an beliebigen Stellen eingesetzt werden kann), welches an verschiedenen Stellen leicht, ohne hohen personellen Aufwand und gefahrlos einsetzbar ist, wäre für Einzelmessungen sinnvoll. So könnten Einzelmessungen schnell und ohne hohen Aufwand vorgenommen werden. Ein solches mobiles Messgerät muss so gestaltet sein, dass es zu einem beliebigen Zeitpunkt an einer beliebigen Stelle einsetzbar ist.

Zudem sollte das Auslesen von Messwerten am Messgerät einfach und ohne hohen Aufwand möglich sein. Eine ausreichende und dauerhafte Energieversorgung des Gerätes muss zusätzlich sichergestellt werden.

In dieser Studie wird daher untersucht, inwieweit es möglich ist, ein mobiles Durchflussmessgerät zu gestalten, welches ohne personellen Aufwand und gefahrlos einsetzbar ist. Die Integration eines Durchflussmessgerätes in eine Schachtabdeckung scheint dabei eine sinnvolle Möglichkeit zu sein, da Schächte den größten Anteil an Bauwerken der Ortsentwässerung bilden und somit über die Schachtabdeckungen ein guter Zugang zum Kanalnetz gegeben ist bzw. die Messvorrichtungen an vielen Stellen einsetzbar sind. Die Integration in eine Schachtabdeckung hat weiterhin den Vorteil, dass diese mit Schachtabdeckungen vor Ort kurzzeitig ausgetauscht werden kann und universal einsetzbar ist, da viele Kanaldeckel einer Normgröße entsprechen.

Im Rahmen dieser Studie wird untersucht,

- inwieweit die Integration eines Messgerätes direkt in die Abdeckung möglich ist oder ob eine Integration oder Anbringung an den Schmutzfang eine bessere Lösung darstellt,
- welche Messgeräte und Schachtabdeckungen oder Schmutzfänge für eine mobile Durchflussmessung in Frage kommen,
- ob ein praktischer Einsatz einer solchen Kombination möglich ist und welche Randbedingungen dazu erforderlich sind,
- in welchem Umfang die Energieversorgung solcher Systeme durch den Einsatz von Solarzellen gesichert werden kann und
- welche Möglichkeiten des Datentransfers gegeben sind.

3 Durchflussmessung an Abwasseranlagen

3.1 Allgemeines

Der Volumenstrom (Q) ist physikalisch definiert als das Integral aus der mittleren örtlichen Geschwindigkeit (v) des fließenden Mediums über den Durchflussquerschnitt (A):

$$Q = \int_A v \, dA .$$

In der Praxis wird der Volumenstrom üblicherweise aus dem Produkt der mittleren Geschwindigkeit (v_m) und dem Durchflussquerschnitt berechnet. Folglich kann der Volumenstrom auch aus der gemessenen mittleren Geschwindigkeit und dem bekannten Durchflussquerschnitt eindeutig bestimmt werden. Man spricht dabei von einer indirekten Messung des Volumenstroms. Eine Ausnahme bilden die hydraulischen Messverfahren, bei denen allein anhand der gemessenen Wasserstände eine Ermittlung der Durchflussmenge möglich ist. Voraussetzung dieses zuletzt genannten Messprinzips ist jedoch ein Fließwechsel vom strömenden zum schießenden Abfluss, der rückstaufrei zu erfolgen hat und durch eine Einengung des Abflussquerschnitts erzeugt wird.

Von der Vielzahl verfügbarer Durchflussmesseinrichtungen sind an Abwasseranlagen vornehmlich Messeinrichtungen vorzufinden, die auf einem der folgenden Messverfahren beruhen:

- Hydraulische Messverfahren, z.B. mittels Venturi-Kanälen oder Messwehren.
- Messung der mittleren Fließgeschwindigkeit in einem bekannten Querschnitt, z.B. mit magnetisch-induktiven Messwertaufnehmern (MID) oder nach dem Verfahren der Ultraschall-Laufzeitdifferenzen-Messung.
- Messung von Fließgeschwindigkeit und Wasserstand.

Im Folgenden sind zunächst Messverfahren und Messwertaufnehmer dargestellt, die im Rahmen des Projektes „Durchflussmessung auf Kläranlagen – auf Grundlage der zu novelierenden SüwV NRW“ [Bosseler, Birkner 2003] stationär (z. B. auf Kläranlagen oder an Sonderbauwerken) eingesetzt werden. Ergänzt werden diese Ausführungen durch Messverfahren, die mobil in Kanalnetzen eingesetzt werden. Abschließend wird dargestellt, in wie weit sich die genannten Messeinrichtungen für den Einsatz in einer Schachtabdeckung eignen.

3.2 Mobile Durchflussmesseinrichtungen

3.2.1 Magnetisch-Induktive-Messwertaufnehmer (MID)

Magnetisch-induktive Durchflussmesseinrichtungen (MID) arbeiten nach dem Prinzip der Geschwindigkeitsmessung in einem definierten Querschnitt. Dabei wird im Regelfall ein Magnetfeld in ein vollständig mit fließendem Medium (z.B. Abwasser) gefüllten Kreisprofil induziert und die dabei entstehende Spannung gemessen. Diese Spannung ist eine eindeutige Funktion der mittleren Fließgeschwindigkeit.

Angaben zu den grundsätzlichen Anforderungen an eine MID-Messeinrichtung werden u.a. in VDI/VDE 2641 [VDI/VDE 1985] und im Arbeitsblatt W 420 des DVGW [DVGW 1990] beschrieben. Demnach sind für eine MID-Messung grundsätzlich zwei entscheidende Voraussetzungen einzuhalten:

- Die Messeinrichtung erfordert eine ungestörte Vorlaufstrecke, die mindestens dem 5-fachen Durchmesser ($5 \times DN_{MID}$) der Messrohrleitung entspricht. Darüber hinaus sollte die Messrohrleitung auch hinter dem MID auf einer Länge entsprechend der 2-fachen Nennweite der Leitung als ungestörte Nachlaufstrecke weitergeführt werden. Strömungstechnisch gravierende Störungen vor dem MID, z.B. durch Krümmer verursachte Drallströmungen, erfordern gegebenenfalls eine Verlängerung der Vorlaufstrecke auf bis zu $10 \cdot DN_{MID}$, um damit eine Vergleichmäßigung des Strömungsprofils bis zum Messquerschnitt sicherzustellen. Empirische Erfahrungen sprechen dafür, dass die erforderliche ungestörte Vorlaufstrecke auch im Falle einer plötzlichen Querschnittsänderung vor dem MID auf bis zu $4 \cdot DN_{MID}$ verkürzt werden darf ohne die Messgenauigkeit zu beeinträchtigen [Hassinger 1993].
- Die Messrohrleitung sollte darüber hinaus, sofern es sich nicht um eine für Teilfüllungszustände ausgelegte Messeinrichtung handelt, über den gesamten Messbereich vollständig gedükkert sein. Entsprechend ist durch bauliche Vorkehrungen sicherzustellen, dass von keiner Seite Luft in den Messquerschnitt gelangt. Die auf Kläranlagen in der Regel vorgesehenen MID-Messbauwerke werden überwiegend mit Schächten am Ober- und Unterhaupt der gedükkerten Messrohrleitung ausgeführt. Vereinzelt wird die Vollfüllung für stationäre Messeinrichtungen durch einen Auslaufbogen am Ende der MID-Messrohrleitung sichergestellt (vgl. Bild 3.1).



Bild 3.1: MID-Messstelle gedükert durch einen Auslaufbogen im Ablauf der Messrohrleitung

Die entscheidenden Vorteile von MID-Messeinrichtungen liegen insbesondere in der mit diesem Verfahren möglichen hohen Messgenauigkeit. Unter Beachtung aller erforderlichen Randbedingungen kann der Durchfluss nach Herstellerangaben auf bis zu $\pm 0,5\%$ genau bestimmt werden. Darüber hinaus kann unter Berücksichtigung der erforderlichen Mindestfließgeschwindigkeiten im Messquerschnitt diese Messgenauigkeit über vergleichsweise große Messbereiche realisiert werden. Bedingt durch das berührungslose Funktionsprinzip eignen sich MID auch zur Mengenmessung von stark verschmutzten Abwässern z.B. im Kanalnetz bzw. im Kläranlagenzulauf.

Der Aufbau einer mobilen Variante besteht im Wesentlichen aus einer durchgängigen Absperrblase, einem Messrohr, einem MID sowie einem Auslaufbogen. Diese Elemente werden miteinander, z.B. über Flansche, verbunden und montiert:

Zunächst wird die durchgängige Absperrblase in die einmündende Rohröffnung eingefädelt und anschließend soweit mit Druckluft gefüllt bis ein dichter Verbund mit der Leitung hergestellt ist. Die Absperrblase dient somit einerseits zur Stabilisierung der Messeinrichtung und andererseits als Dichtkissen, welches den Kanalquerschnitt bis auf den Durchmesser des Messrohres reduziert.

Die Dichtblase des in Bild 3.2 dargestellten Messgerätes ist z.B. für den Einsatz in Leitungen der Durchmesser DN 200 bis DN 500 geeignet. Der Leitungsquerschnitt wird dabei auf die Nennweite des MID-Messwertaufnehmers reduziert (hier DN 125), so dass die gesamte Wassermenge das Magnetfeld des MID passiert. Gleichzeitig bildet ein Rohr im Inneren der Absperrblase die hydraulisch erforderliche Beruhigungsstrecke vor dem Messquerschnitt.



Bild 3.2: Vor-Ort-Montage eines tragbaren MID (DN 125) zur mobilen Vergleichsmessung

Durch einen Auslaufbogen (Bild 3.3) wird die Vollfüllung des Messquerschnitts sichergestellt. Für die hier dargestellte Messeinrichtung wurde zudem ein biegsamer Auslaufbogen eingesetzt, der abhängig von den örtlichen Randbedingungen, z.B. Neigungswinkel des eingebauten MID, in unterschiedlicher Höhe fixiert werden kann. Somit ist es möglich, auch bei starkem Gefälle der vorhandenen Rohrleitung die notwendige Vollfüllung des Messquerschnitts sicher zu stellen.



Bild 3.3: Messung mittels eines tragbaren MID mit Auslaufbogen (hier: Einleitungsstelle einer Kläranlage)

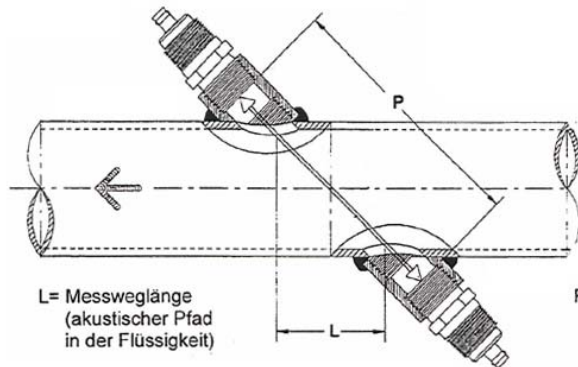
Die durch die Absperrblase herbeigeführte Querschnittsreduzierung bringt es mit sich, dass sich das zufließende Abwasser oberhalb des Vergleichsgerätes anstaut. Erst wenn das eingestaute Wasser eine hydraulische Druckhöhe erreicht hat, die ausreicht, um den Abfluss durch den reduzierten Rohrquerschnitt abzuleiten, ist die maximale Rückstauhöhe erreicht. Außer vom Durchfluss, hängt diese im Wesentlichen von der Nennweite des Messquerschnitts des MID ab. Für ein MID mit einer Nennweite von 150 mm bedeutet dies beispielsweise, dass sich z.B. bei einem Volumenstrom von ca. 120 l/s eine rechnerische Rückstauhöhe von rund 4 m einstellt. Bei Verwendung eines MID mit einer Nennweite von 200 mm reduziert sich diese Rückstauhöhe auf ca. 1,3 m. Dies bedeutet für den Einsatz in Kanalisationen, dass je nach Kanalgefälle ein Bereich von bis zu mehreren hundert Metern und damit ein entsprechendes Volumen eingestaут wird. Darüber hinaus wird die hydraulische Leistungsfähigkeit des Kanals deutlich reduziert, sodass der Einsatz dieser Geräte in der Kanalisation nicht empfohlen werden kann.

3.2.2 Ultraschall-Laufzeitdifferenzenverfahren

Das Ultraschall-Laufzeitdifferenzen-Verfahren beruht ähnlich der MID-Messung auf einer messtechnischen Erfassung der Fließgeschwindigkeit in einem definierten Abflussquerschnitt. Hierzu werden Ultraschallmessköpfe als Sender und Empfänger entweder von Außen auf der Rohrleitung befestigt oder direkt in die Rohrleitung eingebaut. Zur Bestimmung der Fließgeschwindigkeit im Messquerschnitt werden von den diagonal zur Strömungsrichtung einander gegenüber liegenden Sensoren jeweils Ultraschallsignale ausgesendet bzw. empfangen (vgl. Bild 3.4 und Bild 3.5). Auf Grund des Mitführeffektes unterscheiden sich dabei die Laufzeiten der Signale mit bzw. entgegen der Fließrichtung. Entsprechend lässt

sich die mittlere Fließgeschwindigkeit aus dieser Laufzeitdifferenz und weiteren messtechnisch bestimmbar Parametern ermitteln.

Einfache (z-)Durchschallung:



Zweifache (v-)Durchschallung:

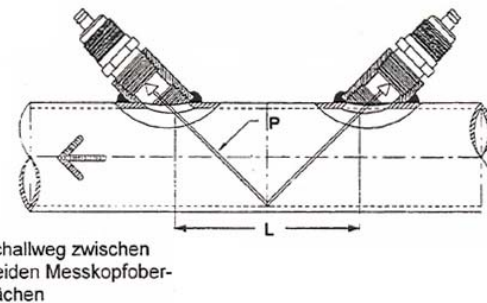


Bild 3.4: Durchflussmessung nach dem Ultraschall-Laufzeitdifferenzenverfahren nach GE-Panametrics [2002]

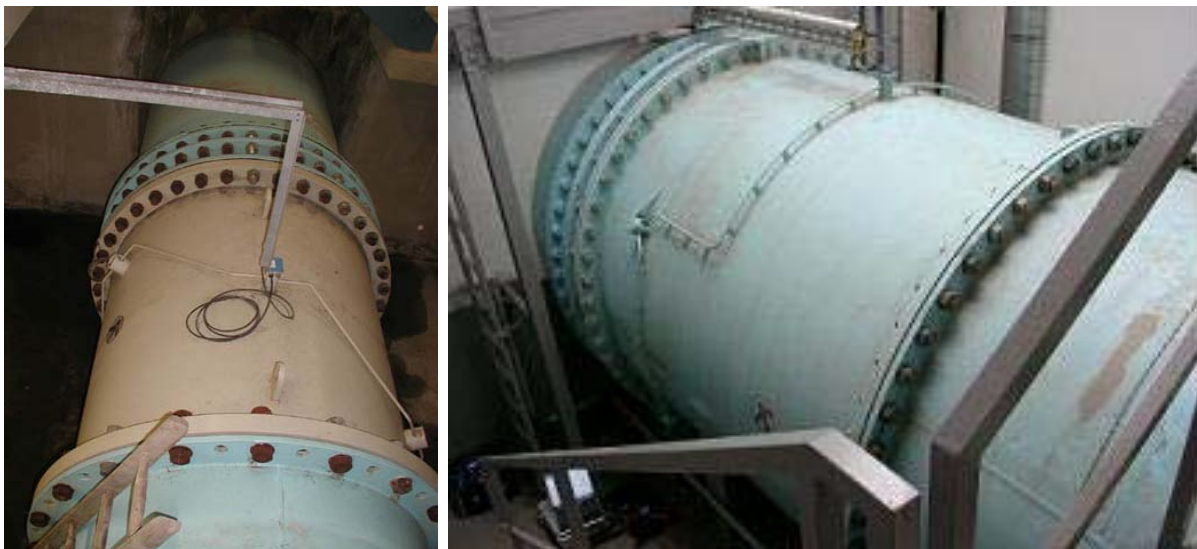


Bild 3.5: Beispiele für die Ultraschall-Laufzeitdifferenzen-Messung im Kläranlagenablauf (DN 1600 und DN 2400)

Zur Bestimmung der Fließgeschwindigkeit ist es dabei zunächst bedeutungslos, ob in einem geschlossenen oder einem offenen Querschnitt gemessen wird. Dies ist erst dann entscheidend, wenn aus dem Produkt von Fließgeschwindigkeit und der durchflossenen Querschnittsfläche der Durchfluss ermittelt werden soll. So wird z.B. die USD-Messung in offenen Gerinnen normalerweise in Kombination mit einer Wasserstandsmessung eingesetzt.

In VDI/VDE 2642 [VDI/VDE 1996] werden zusammenfassend die wesentlichen Anforderungen an die „Ultraschall-Durchflussmessung von Fluiden in voll durchströmten Rohrleitungen“ genannt.

Demnach sind für diese Messeinrichtungen ungestörte Vor- bzw. Nachlaufstrecken einzuhalten, für die im Wesentlichen die gleichen Anforderungen gelten, wie für MID-Messeinrichtungen. Das Strömungsprofil sollte im Messquerschnitt, d.h. im Anschluss an die Vorlaufstrecke, rotationssymmetrisch und drallfrei sein. Um dies sicherzustellen, sollte im Bereich der Vorlaufstrecke u.a. ein gleichbleibender Leitungsdurchmesser beibehalten werden. Hinsichtlich der erforderlichen Beruhigungsstrecken vor und hinter der Messeinrichtung ist davon auszugehen, dass mindestens die für MID-Messstellen erforderlichen Längen einzuhalten sind. Entsprechend sollte vor der Messeinrichtung eine Beruhigungsstrecke von mindestens dem fünffachen Leitungsdurchmesser ($5 \times DN_{USD}$) nicht unterschritten werden.

Bei Verwendung gängiger USD-Geräte ist außerdem sicherzustellen, dass das Messrohr vollständig gefüllt ist. Im Vergleich zum MID ist das Verfahren deutlich empfindlicher gegenüber einem Lufteintrag sowie den gegebenenfalls im Rohabwasser mitgeführten Feststoffen, an denen das Schallsignal zusätzlich reflektiert und damit gegebenenfalls deutlich abgeschwächt wird. Darüber hinaus wird durch diese ungewollten Reflexionen auch die Auswertung der ungestörten Signale erheblich erschwert. Insbesondere aus diesen Gründen sollten Ultraschallmessgeräte vorzugsweise in gereinigtem Abwasser eingesetzt werden [vgl. ATV 1987].

Bei der mobilen Durchflussmessung nach dem Prinzip des USD-Verfahrens kommen im Druckbereich insbesondere Geräte zum Einsatz, deren Messsensoren von Außen auf eine vorhandene Rohrleitung (z. B. in Pumpwerken) aufgespannt werden. Mittels dieser mobilen Geräte ist es z. B. möglich, eine Vergleichsmessung vor bzw. hinter der vorhandenen Messeinrichtung einzurichten, um diese anhand der aufgezeichneten Abflussganglinie zu überprüfen. Durch die erforderlichen Beruhigungsstrecken vor diesen meist in geschlossenen Messrohrleitungen eingebauten Messeinrichtungen, bieten sich in der Regel Möglichkeiten zum Aufbau eines solchen mobilen Vergleichsgerätes.

Bild 3.6 zeigt ein Beispiel für die typische Anwendung dieses Messverfahrens zur Überprüfung einer MID-Messeinrichtung. Dargestellt ist dabei der Aufbau als zweifache Durchschallung des Messquerschnitts, die sogenannte V-Durchschallung. Dabei werden die Sensoren parallel zueinander in einem zuvor berechneten Abstand auf die Rohrleitung aufgespannt. Das von jedem dieser Sensoren ausgesendete Ultraschallsignal trifft auf die gegenüberliegende Rohrwand und wird von dort in die Richtung des anderen Sensors reflektiert. Der Ab-

stand der beiden Messköpfe richtet sich insbesondere nach den Eigenschaften des durchschallten Mediums.



Bild 3.6: USD-Messung (Aufbau als V-Durchschallung)

Eine Alternative dazu ist die einfache Durchschallung, auch Z-Durchschallung genannt, bei welcher die Sensoren des Messgerätes an der jeweils gegenüberliegenden Seite des Rohres angebracht werden (vgl. Bild 3.4, S. 10). Das ausgesendete Ultraschallsignal wird somit bereits nach der einmaligen Durchquerung des Rohrquerschnitts vom jeweils gegenüberliegenden Sensor empfangen. Auf Grund des einfachen Weges halbiert sich der Abstand der Messsensoren zueinander, so dass für den Aufbau der Messung eine deutlich kürzere Rohrleitung ausreicht.

Um das USD-Messgerät auch in der Freispiegelkanalisation einzusetzen, ist, ähnlich wie beim Einsatz von MID, ein künstlicher Einstau erforderlich (vgl. Bild 3.6). Diese besteht aus einer durchgängigen Absperrblase, die von innen gegen die vorhandene Rohrwandung gepresst wird und damit den gesamten Abfluss in die eingesetzte PE-Rohrleitung führt. Am Ende dieser Rohrleitung befindet sich ein Auslaufbogen, durch den die Vollfüllung der insgesamt rund 3,0 m langen Messrohrleitung sicher gestellt wird. Die eigentliche Mengenmessung erfolgt mittels eines am Ende dieser Rohrleitung, also unmittelbar vor dem Auslaufbogen, aufgespannten USD-Messgerätes.



Bild 3.7: Aufstauereinrichtung zur Durchflussmessung mittels des Ultraschall-Laufzeitdifferenzenverfahrens in der Freispiegelkanalisation

Vergleichbar den Anforderungen für stationäre Messeinrichtungen nach dem Prinzip der USD-Messung, eignet sich auch die mobile Geräteausführung vornehmlich für die Messung in geraden Leitungsabschnitten. Eine Messung in der Freispiegelkanalisation ist nur möglich, wenn eine Einstauereinrichtung eingebaut wird.

3.2.3 Ultraschall-Doppler-Verfahren

Bei der Anwendung von Durchflussmessgeräten unter Ausnutzung des Doppler-Effektes wird die Fließgeschwindigkeit des Wassers indirekt durch Reflexionen an schwimmenden Feststoffteilchen erfasst. Dabei wird von einem z.B. an der Rohrsohle befestigten Messensor ein gebündelter Ultraschallstrahl mit konstanter Frequenz in die Flüssigkeit gesendet. Aus der Frequenzänderung, die aus der Fließbewegung resultiert und ebenfalls vom Messwertaufnehmer an der Sohle registriert wird, lässt sich die Fließgeschwindigkeit berechnen.

Das Ergebnis einer Messung besteht aus einer Vielzahl von Dopplerfrequenzen und somit Geschwindigkeiten, die von Partikeln an unterschiedlichen Orten der Strömung stammen. Mittels frequenzanalytischer Verfahren wird aus diesen Messwerten die mittlere Fließgeschwindigkeit im Querschnitt errechnet. Zur Ermittlung des Durchflusses enthalten die eingesetzten Messwertaufnehmer außerdem eine Drucksonde, welche den Wasserstand registriert, sodass aus dem Produkt von Fließgeschwindigkeit und der Querschnittsfläche der Volumenstrom bestimmbar ist.



Bild 3.8: Ultraschall-Doppler-Messung / Korrelationsverfahren am Beispiel des PCM Pro der Fa. Nivus AG

Die Fließgeschwindigkeiten, Wasserstände sowie die Volumenströme werden in einem Messumformer ermittelt und einem Datenlogger gespeichert. Darüber hinaus erfolgt auch die Spannungsversorgung des Messensors und über einen im Messumformer eingebauten Akkumulator. Messsensor und Messumformer sind ex-geschützt und wasserdicht ausgeführt.

Beim Einsatz dieser Messtechnik muss darauf geachtet werden, dass sich an dem in die Rohrsohle eingebauten Sensor keine Feststoffe (z. B. Sand, verzopfendes Material oder Geschiebe) anlagert. Insbesondere im Rahmen von Langzeitmessungen ist deshalb die Kontrolle des Sensors durch Inaugenscheinnahme erforderlich.

3.2.4 Tracer-Verdünnungsmessung

Eine weitere grundsätzliche Möglichkeit zur Erfassung von Durchflüssen basiert auf der sogenannten Verdünnungsmessung. Dabei wird dem Abwasserstrom eine definierte Menge eines Tracerstoffs zugegeben. Gleichzeitig werden unterhalb der Einleitstelle Konzentrationsmessungen durchgeführt, um den Verdünnungsgrad des Tracerstoffs zu ermitteln. Der gemessene Verdünnungsgrad steht in einem festen Verhältnis zum Volumenstrom. Unter Berücksichtigung der Zugabemenge und -konzentration sowie der im Abwasser vorhandenen Basiskonzentration des Tracers kann somit anhand des gemessenen Verdünnungsgrades die Abflussmenge bestimmt werden.

Grundsätzlich können nach Art der Tracerzugabe zwei Methoden der Verdünnungsmessung unterschieden werden:

- die **Schockinjektion**, d.h. die vollständige Zugabe des Tracerstoffs erfolgt zu einem einzelnen Zeitpunkt oder
- die **kontinuierliche Injektion**, d.h. über einen längeren Zeitraum wird ein konstanter Mengenfluss des Tracerstoffs mit gleichbleibender Konzentration zudosiert.

Fluoreszenztracer bieten dabei den Vorteil, dass sie selbst in geringen Konzentrationen auch im Abwasser noch gut nachweisbar sind. Des Weiteren kommen fluoreszierende Stoffe im kommunalen Abwasser nur in sehr geringen Konzentrationen vor. Die auf Kläranlagen durchgeführten Referenzmessungen ergaben Ausgangskonzentrationen (Basiswert) von ca. 10 bis 15 parts per billion (ppb) bei einem Messbereich des verwendeten Fluormeters von bis zu 999 ppb. Weniger für den Einsatz im kommunalen Abwasser geeignet sind die ebenfalls für Verdünnungsmessungen verwendeten Salzlösungen (z.B. Kochsalzverdünnung), deren Inhaltsstoffe bereits in einer hohen und stark veränderlichen Grundkonzentration im Abwasser vorhanden sind. Ebenfalls für die Verdünnungsmessung eingesetzt werden vereinzelt auch radioaktive Stoffe, von denen jedoch im Vergleich zu den fluoreszierenden Tracern, wie z.B. Rhodamin, eine deutlich erhöhte Umweltgefährdung ausgeht und die deshalb nur mit äußerster Vorsicht eingesetzt werden dürfen.

Die Konzentration eines zugegebenen Fluoreszenztracers kann unter Verwendung eines entsprechenden Fluoreszenzspektrometers sehr genau nachgewiesen werden. Gemessen wird dabei die Intensität des emittierenden Fluoreszenzlichtes als Maß für die Konzentration des Tracerstoffs. Bild 3.9 zeigt exemplarisch den Einsatz des Fluoreszenzspektrometers zur Erfassung der Konzentration des zugegebenen Tracerstoffs Rhodamin WT im Ablauf einer Kläranlage.



Bild 3.9: Entnahme und Analyse der Proben zur Bestimmung der Abflussmenge mittels Fluoreszenzspektrometrie im Ablauf einer Kläranlage

Das Spektrometer wurde über eine Schlauchpumpe (Bild 3.9, links) gespeist, mit der kontinuierlich Abwasser aus dem Ablauf der Kläranlage entnommen wurde. Die Analyse des entnommenen Abwassers erfolgte fortlaufend im Spektrometer. Die Ergebnisse der Analyse (Konzentration in ppb und Wassertemperatur) wurden in regelmäßigen Intervallen an ein angeschlossenes Laptop übertragen und zeitgenau registriert.

Auch wenn die Methode der Verdünnungsmessung im Abwasser mit einem vergleichsweise hohen technischen und organisatorischen Aufwand verbunden ist, stellt diese eine sinnvolle Alternative bei der Durchflussmessung dar. Im Vergleich zu anderen beschriebenen Verfahren liegen die Vorteile in folgenden Punkten:

- Das Messverfahren ist vergleichsweise **unabhängig von geometrischen Randbedingungen**. So ist die Messung z.B. an kein gleichmäßiges Strömungsprofil und damit an keine Beruhigungsstrecken gebunden. Außerdem kann der Einsatz weitgehend unabhängig von der Messstelle und den dort vorhandenen Rohrnennweiten geplant werden.
- Hinzu kommt, dass dieses Verfahren **keinen** nennenswerten **Eingriff in das Abflussgeschehen** darstellt. Damit bietet sich die Möglichkeit, mit diesem Verfahren

auch große Volumenströme zu messen, ohne dabei einen unerwünschten Rückstau zu erzeugen.

Die Durchführung von Tracer-Verdünnungsmessungen setzt jedoch eine vergleichsweise aufwendige und teure gerätetechnische Ausrüstung (Spektrometer, Dosier- und Entnahmepumpen sowie weiterer Laborbedarf) voraus. Deshalb bleibt diese Prüfmethode eine spezielle Anwendung, die zudem erhöhte Anforderungen an das durchführende Personal stellt.

Weitergehende Untersuchungen [vgl. Benesch 1999; Haider 1991] haben gezeigt, dass insbesondere die Verdünnungsmessung mittels Fluoreszenztracern sehr sensibel gegenüber einer Änderung der Temperatur bzw. des pH-Wertes ist. Der Einfluss dieser Schwankungen kann sich insbesondere bei längeren Messphasen bemerkbar machen.

Insgesamt erscheint das Verfahren in Bezug auf die in hier diskutierte Fragestellung daher wenig geeignet.

3.2.5 Messschacht-Steckrinne

Die patentierte Messschacht-Steckrinne [Systech 2007] ist eine selbstreinigende Messrinne mit niedrigem Druckverlust, die speziell für leichten Einbau in Einheitseinstiegschächte entwickelt wurde (vgl. Bild 3.10). Weder am Schacht selbst noch an der Abdeckung sind größere Bauerweiterungen erforderlich. Die Messrinne passt sich an alle einheitlichen Abwasserrohre an. Durch die Fließgeschwindigkeit im Zulauf und an der Einschnürung wird die Ablagerung von festen Stoffen weitgehend vermieden. Wegen der proportionalen Beziehung zwischen Niveau und Durchfluss aller Messschachtrinnen können die Messrinnen in Verbindung mit einer Höhenstandserfassung (z. B. Ultraschall) als Durchflussmessgerät eingesetzt werden.

Die Messschachtrinne ist eine Abwandlung der Venturi-Messrinne und für einfachen Einbau in Einheitsschächte bestimmt. Die glasfaserverstärkte Polyesterharzkonstruktion gewährleistet Korrosionsbeständigkeit und lange Lebensdauer; sie verbindet ein trapezförmiges Rinnenteil mit einem haubenförmigen Auslass und endet in einem Rohranschlussstück. Das Rohranschlussstück wird in das Auslaufrohr des Schachtes eingesteckt. Das Abwasser im Schacht wird gesammelt und durch die Messrinne in den Rinnenhals geführt; der Austritt erfolgt durch den Haubensammler und das Rohranschlussstück. Das auf den Rinnenhals folgende Haubenteil verhindert unter normalen Strömungsbedingungen einen Bypassverlust, lässt jedoch unter Überlastung einen nahezu ungehinderten Durchfluss zu. Dadurch werden die bei anderen Arten von Messwehren oder Messrinnen auftretenden Probleme bei starker Belastung auf ein Minimum reduziert.

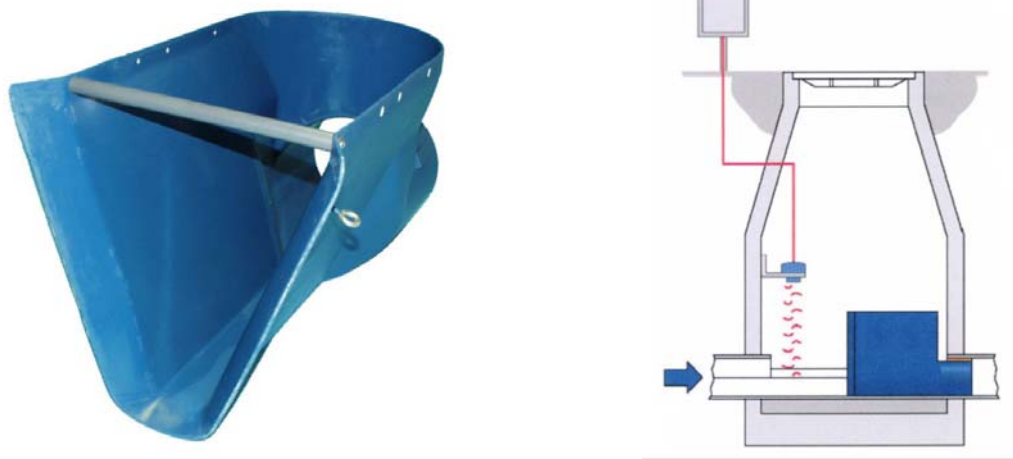


Bild 3.10: Links: Messschacht-Steckrinne als Bauteil. Rechts: Darstellung der eingebauten Messschacht-Steckrinne mit Höhenstandssensor [Systech 2007]

Lieferbar sind Messrinnen für Rohrgrößen von 100, 150, 200, 250 and 300 mm.

Erfahrungen mit der Messschacht-Steckrinne der Fa. Systech GmbH liegen zur Zeit noch nicht vor.

3.2.6 Radar

Eine weitere Möglichkeit, Durchflüsse in offenen Gerinnen zu messen besteht im Einsatz von sogenannten Radar-Durchflussmessgeräten. Die Geschwindigkeits- sowie die Höhenstandsmessung erfolgt bei diesem System jeweils berührungslos. Die Geschwindigkeitsmessung erfolgt mittels Radar und die Höhenstandsmessung mit Ultraschall. Das in Bild 3.11 dargestellte Radar-Durchflussmessgerät kann darüber hinaus durch einen magnetisch-induktiven Geschwindigkeits-Sensor, der im Falle eines Überstaus die Geschwindigkeitsmessung durchführt. Die jeweiligen Höhenstände werden im Überstaufall mit einem integrierten Drucksensor ermittelt



Bild 3.11: Flo-Dar Sensor mit zusätzlichem magn. induktivem Sensor [GWU 2007]

Hydrometrisch kennzeichnend für die Radarmessung ist, dass lediglich die Oberflächengeschwindigkeit gemessen wird und ein Eindringen in den Wasserkörper bisher nicht möglich ist. Allerdings liegt die Oberflächengeschwindigkeit im Allgemeinen recht nah am Querschnittsmittelwert, so dass bei der Abschätzung dieser Differenz keine sehr großen Fehler auftreten können. Dabei wird die Genauigkeit noch durch die Tatsache gesteigert, dass durch den Radarstrahl meist ein größerer Ausschnitt der Oberfläche erfasst wird.

Beim Einsatz dieses Geräts ist neben den anderen spezifischen Eigenschaften zu beachten, dass die Geschwindigkeit und die Wassertiefe nicht exakt im gleichen Querschnitt gemessen werden, so dass ein ebener Wasserspiegel und ein gerades, prismatisches Gerinne unbedingt zu gewährleisten sind. Oft werden diese Geräte am Auslauf eines Rohres in einen Schacht oder ins Freie angeordnet. Hier ist diese Bedingung jedoch meist nicht so leicht einzuhalten.

3.3 Mobile Durchflussmessgeräte für den Einsatz in Schachtbauwerken

Die in Abschnitt 3.2 beschriebenen mobilen Durchflussmeseinrichtungen werden insbesondere im Rahmen der Überprüfung von Durchflussmeseinrichtungen auf Kläranlagen sowie bei der Überprüfung von Drosseleinrichtungen in Kanalnetzen eingesetzt. Die Messgeräte werden in der Regel tage- bis maximal wochenweise eingesetzt. Langzeitmessungen über einen Zeitraum von mehreren Wochen sind dabei mit erhöhtem Aufwand verbunden. Hierfür können folgende Gründe genannt werden:

- In Abhängigkeit vom eingesetzten Durchflussmessgerät müssen die eingesetzten Akkus bereits nach Einsatzzeiten von 1 bis 4 Tagen ausgewechselt werden. Die

maximale Standzeit des mobilen MIDs, Typ Mobi-DiR der Fa. Axel Zangenberg GmbH & Co. KG beträgt unter Akkubetrieb beispielsweise 4 Tage.

- In regelmäßigen Abständen müssen die erfassten und im Datenlogger gespeicherten Messdaten ausgelesen und kontrolliert werden. Auf diese Weise können Fehlmessungen während einer Messkampagne identifiziert und die Ursachen untersucht werden.
- Insbesondere bei sohlgebundenen Durchflussmessgeräten, wie beispielsweise dem PCM Pro der Fa. Nivus GmbH müssen die sich im Wasser befindlichen Sensoren regelmäßig kontrolliert werden, da Ablagerungen oder Verzapfung zu Fehlmessungen führen können. Dies gilt insbesondere beim Einsatz in Misch- bzw. Schmutzwasserkanälen.
- Beim Einsatz von Durchflussmessgeräten, die auf Basis eines definierten vollgefüllten Querschnitts die Durchflussmengen bestimmen, ist vor dem Einsatz die maximal abgeleitete Abflussmengen zu berücksichtigen. Diese Geräte verringern den Kanalquerschnitt und reduzieren damit die hydraulische Leistungsfähigkeit der Kanalstrecke. Darüber hinaus entsteht vor dem Messgerät in Abhängigkeit von der Wassermenge ein Rückstau im oberhalb gelegenen Kanalnetz, so dass z.B. bei einem Einsatz bei zu hohen Durchflüssen Schäden an den oberhalb gelegenen Bauwerken auftreten können. (vgl. Kapitel 3.2.1).

Eine Übersicht der auf dem Markt erhältlichen Durchflussmessgeräte ist in Anlage 1 dargestellt.

Tabelle 3.1 Ergebnis der Marktrecherche zur Versorgung der mobilen Durchflussmessung mittels Solarmodul

Hersteller	Typ	Messprinzip	Einstieg in den Schacht erforderlich?	Messgenauigkeit	Einbaumöglichkeit	Stromaufnahme	Bemerkungen
GWU-Umwelttechnik GmbH	Flow-DAR	Kombi. Ultraschall / Radarmessung	Nein	v: $\pm 0,5\%$ v. Messw. h: ± 1 v. Messw.	Montage Rahmen	$I_{N,Messung}=100\text{mA}$	Modellgenauigkeit $\pm 5\%$ v. Flusswert für 10 bis 90% Füllgrad des Rohres und Füllstände $>50\text{mm}$
System GmbH	MFx	Magnetisch Induktive Durchflussmessung	Ja	$\pm 2\%$ v. Messbereichsendwert	Messung wird mittels einer Prozessanschlussarmatur in die Rohrleitung eingebaut	9-28V DC 3VA max.	Vollgefüllte Rohrleitung erforderlich
Kobold Messring GmbH	PMG	Magnetisch Induktive Durchflussmessung	Ja	$\pm 0,5\%$ v. Messw. $\pm 1\text{mm/s}$ beim Impulsausgang $\pm 5\mu\text{A}$ bei Stromausgang	Einbau der Messung in vorhandene Rohrleitung	16..62V DC, $<15\text{W}$ Einschaltstrom max. 13,5 A bei 24V DC	
ABB Automation Products GmbH	FXE4000	Magnetisch Induktive Durchflussmessung	Ja	0,5% v. Messw. 0,25%v. Messw. (Option)	Einbau der Messung in vorhandene Rohrleitung		Vollgefüllte Rohrleitung erforderlich
Endress + Hauser	MID	Magnetisch Induktive Durchflussmessung	Ja	$\pm 0,5\%$ v. Messw. $\pm 1\text{mm/s}$ beim Impulsausgang $\pm 5\mu\text{A}$ bei Stromausgang	Einbau der Messung in vorhandene Rohrleitung	24V, $>15\text{W}$ Einschaltstrom max. 13,5 A bei 24V DC	vollgefüllte Rohrleitung erforderlich
Profimess	SI-01	Magnetisch Induktive Durchflussmessung	Ja	$\pm 0,5\%$ v. Messbereichsendwert	Einbau der Messung in vorhandene Rohrleitung	11W bei 12V DC	

Hersteller	Typ	Messprinzip	Einstieg in den Schacht erforderlich?	Messgenauigkeit	Einbaumöglichkeit	Stromaufnahme	Bemerkungen
Krohne Messtechnik	Tidalflux	Magnetisch Induktive Durchflussmessung	Ja	Teilgefülltes Rohr: $v \geq 1 \text{ m/s}$: $\leq 1\%$ vom Messbereichsendwert Vollgefülltes Rohr: $v \geq 1 \text{ m/s}$: $\leq 1\%$ vom akt. Messwert $v < 1 \text{ m/s}$: $\leq 0,5\%$ vom Messw. +5 mm/s	Einbau der Messung in vorhandene Rohrleitung	24V DC $I \leq 100 \text{ mA}$	Messung in teilgefüllter Rohrleitung möglich.
Meister Strömungstechnik	DMI-V1E	Magnetisch Induktive Durchflussmessung	Ja	$v: \pm 0,3\%$ v. Messw. $\pm 2 \text{ mm/s}$	Einbau der Messung in vorhandene Rohrleitung	24V DC 4,5W	MID bis Nennweite DN 150 erhältlich
Meister Strömungstechnik	DMI-V2E	Magnetisch Induktive Durchflussmessung	Ja	$v: \pm 0,3\%$ v. Messw. $\pm 2 \text{ mm/s}$	Einbau der Messung in vorhandene Rohrleitung	24V DC 4,5W	MID bis Nennweite DN 400 erhältlich
GMR Gross-Mess-Regelungstechnik	FIS-50-400VK	Magnetisch Induktive Durchflussmessung	Ja	$\pm 5\%$ v. Messw.	Einbau der Messung in vorhandene Rohrleitung	24V DC 3W	
GMR Gross-Mess-Regelungstechnik	Smart - FIS	Magnetisch Induktive Durchflussmessung	Ja	$\pm 5\%$ v. Messw.	Einbau der Messung in vorhandene Rohrleitung	24V DC 3W	
Görlich Meß- und Regeltechnik GmbH	UFM 535-F-MAG	Magnetisch Induktive Durchflussmessung (Kanalmaus) mit Ultraschall-Füllstandsmessung	Ja	$20\% < Q < 80\%$ des Messbereichsendwertes $\pm 5\%$ v. Messw. $6\% < Q < 20\%$ des Messbereichsendwertes $\pm 7\%$ v. Messw. $Q < 6\%$ des Messbereichsendwertes $\pm 0,5\%$ v. Endwert	Einbau in Gerinne mittels geeigneter Halterung	24V DC230VA	Es ist eine Fließgeschwindigkeit von max. 6m/s zulässig.

Hersteller	Typ	Messprinzip	Einstieg in den Schacht erforderlich?	Messgenauigkeit	Einbaumöglichkeit	Stromaufnahme	Bemerkungen
System GmbH	Messschacht-Steckrinne	Messschacht-Steckrinne mit Ultraschall-Füllstandsmessung	Ja	keine Angaben erhalten	Messschacht-Steckrinne wird in Gerinne des Einstiegsschachtes eingebracht.	keine Angaben erhalten	Die Messschacht-Steckrinne ist bis zu einer Rohrgröße DN 300 lieferbar.
Nivus AG	PCM-PRO Ex	OCM Messung (Kanalmaus)	Ja	v: $\leq 1\%$ v. Messw. bei $v > 1\text{m/s}$ h: $\pm 2\text{mm}$ bei $h = 2\text{m}$ v: $\leq 0,5\%$ v. Messw. $+5\text{mm/s}$ bei $v < 1\text{m/s}$	Klemmbleche oder mit Haltekonstruktion in der Rohrleitung	Batterie/Akku: 25Ah oder höher	Standzeit: ca. 40.000 Messzyklen/Akkuladung
GWU-Umwelttechnik GmbH	Flow-Tote 3	OCM Messung (Kanalmaus)	Ja	v: $\pm 2\%$ v. Messw. h: ± 1 v. Messw.	Montage Profile	Batterie/Akku: 2x 5Ah	Modellgenauigkeit $\pm 5\%$ v. Flusswert für 10 bis 90% Füllgrad des Rohres und Füllstände $> 50\text{mm}$
Badger Meter	Kanalmaus	OCM Messung (Kanalmaus)	Ja	v: $\pm 2\%$ v. Messb. h: $\geq \pm 0,25$ v. Messb.	Klemmbleche	Batterie/Akku: 24Ah, 12V	Batteriestandzeit ca. 6d bei 1h Speicherintervall
W.A.S	UFO-Ex	OCM Messung (Kanalmaus)	Ja	v: $\pm 2\%$ v. Messw. h: $\geq \pm 0,1$ v. Endwert	Klemmbleche oder mit Haltekonstruktion in der Rohrleitung	Batterie/Akku: 24Ah, 6V	$> 30\text{d}$ bei 120s Messintervall
Flexim Industriemess-technik GmbH	ADM 5X07	Ultraschall-Rohrauf-schnallmessung	Ja	V: $\pm 2...3$ v. Messw. $\pm 0,02\text{m/s}$ v: $0,5\%$ v. Messw. $\pm 0,01\text{m/s}$	Messung wird auf eine Rohrleitung aufgeschallt	$< 15\text{W}$	Vollgefüllte Rohrleitung erforderlich Explosionsschutz: Zone 2
Endress + Hauser	Prosonic Flow	Ultraschall-Rohrauf-schnallmessung	Ja	$\pm 2\%$ v. Messw. $\pm 0,1\%$ v. Endwert	Messung wird auf eine Rohrleitung aufgeschallt	16...62V, $< 10\text{W}$ inkl. Messsensor	Maximaler Endwert: 10m/s Ultraschall-Rohrauf-schnallmessung bis DN200 erhältlich Bei größeren Rohrdurchmessern wird die Ultraschallmessung ins Rohr eingebaut
Emerson Process Management	AC 600	Ultraschall-Rohrauf-schnallmessung	Ja	± 1 bis 3% v. Messw.	Messung wird auf eine Rohrleitung aufgeschallt	18 - 36V DC $< 10\text{W}$	

Hersteller	Typ	Messprinzip	Einstieg in den Schacht erforderlich?	Messgenauigkeit	Einbaumöglichkeit	Stromaufnahme	Bemerkungen
Krohne Messtechnik	Optisonic 6300	Ultraschall-Rohrauf-schnallmes-sung	Ja	<±1% v. Messw.Für DN≥50mm, v>0,5m/s	Messung wird auf eine Rohrleitung aufgeschallt	24V DC22VA	
Züllig Deutschland GmbH	HT68Ex	Venturi-Durchflussmessung mit Ultraschall-Füllstandsmessung	Ja	keine Angaben erhalten	Einbau in Schacht nicht möglich.	11...27V 150mA	
Züllig Deutschland GmbH	Venturidüse ZVD	Venturi-Durchflussmessung mit Ultraschall-Füllstandsmessung	Ja		Venturidüse ist in Rohrleitung einzubauen	11...27V 150mA	Die Venturidüse kann nur auf der Abflussseite des Schachtes installiert werden, da der Füllstand vor der Venturidüse gemessen werden muss. Die Venturidüsen sind bis zu einem Durchmesser DN800 erhältlich.
Axel Zangenberg GmbH & Co. KG	Mobi-DiR	Magnetisch Induktive Durchflussmessung MID der Fa. Endress+Hauser	Ja	0,5 % v-Messung	Einbau in den Schacht. Rückstau in der/den oberhalb liegenden Haltungen. Reduzierung des Abflussquerschnitts	24V 15 VA (inklusive Meßaufnehmer	Die Fa. Axel Zangenberg setzt insbesondere MIDs für Durchflussmessungen ein.

3.4 Zusammenfassung

Von der Vielzahl verfügbarer Durchflussmesseinrichtungen sind an Abwasseranlagen vornehmlich Messeinrichtungen vorzufinden, die auf einem der folgenden Messverfahren beruhen:

- Hydraulische Messverfahren, z.B. mittels Venturi-Kanälen oder Messwehren.
- Messung der mittleren Fließgeschwindigkeit in einem bekannten Querschnitt, z.B. mit magnetisch-induktiven Messwertaufnehmern (MID) oder nach dem Verfahren der Ultraschall-Laufzeitdifferenzen-Messung.
- Messung von Fließgeschwindigkeit und Wasserstand, z.B. Ultraschall-Doppler-Verfahren oder Radar.

Die in Abschnitt 3.2 beschriebenen mobilen Durchflussmesseinrichtungen werden insbesondere im Rahmen der Überprüfung von Durchflussmesseinrichtungen auf Kläranlagen sowie bei der Überprüfung von Drosseleinrichtungen in Kanalnetzen eingesetzt. Die Geräte werden in der Regel tage- bis maximal wochenweise eingesetzt. Langzeitmessungen über einen Zeitraum von mehreren Wochen sind dabei in der Regel mit erhöhtem Aufwand verbunden. So ist z. B. darauf zu achten, dass die Messung nicht durch Ablagerungen verfälscht wird oder die hydraulische Leistungsfähigkeit des Kanalabschnittes nicht unzulässig reduziert wird.

Zusammenfassend ergibt sich für einen langfristigen Einsatz die Notwendigkeit, auf berührungslos arbeitende Systeme zurückzugreifen. Dies sind derzeit ausschließlich Radar-Durchflussmessgeräte. Als Alternative kann, sofern die Q-h-Beziehung bekannt ist, auch eine berührungslos arbeitende Höhenstandsmessung (z.B. Ultraschall) installiert werden.

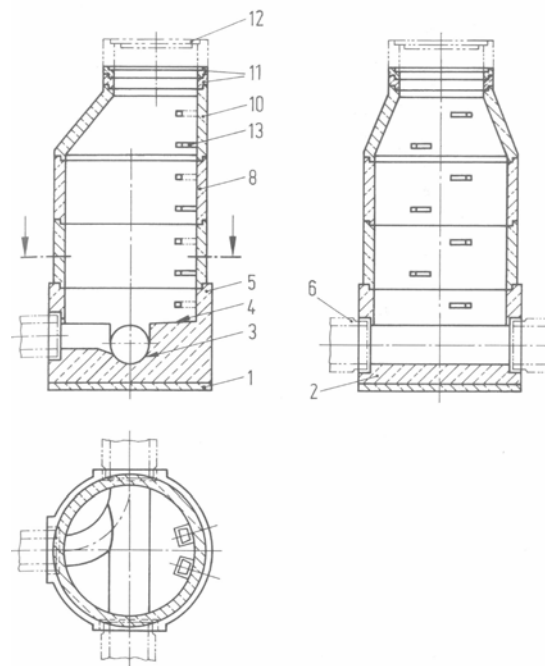
4 Die Schachtabdeckung als Einbauort für eine Durchflussmessung

4.1 Allgemeines

Wesentlich für das Design einer in die Schachtabdeckung integrierte Durchflussmeseinrichtung ist, dass die Messeinrichtung unter den gegebenen geometrischen und hydrometrischen Randbedingungen eingesetzt werden kann. Neben Schachtdurchmesser und -tiefe sind daher insbesondere die Lage der Schachtabdeckung zum Gerinne sowie die Gerinneausführung zu betrachten.

Die Schachtabmessungen (vgl. Bild 4.1) sind in der DIN 19 549 wie folgt geregelt [Stein 1999]: „Besteigbare Schächte müssen bei kreisförmigen Querschnitten eine Mindestnennweite von DN 1000 haben. Die Verwendung von Schachtringen mit DN 800 ist zulässig, wenn darunter ein Arbeitsraum von mindestens 1200 mm Durchmesser und 2000 mm Höhe vorhanden ist. Bei rechteckigen Querschnitten müssen die Mindestmaße 800 mm x 1000 mm, bei quadratischen Querschnitten 900 mm x 900 mm betragen.“ Nach ATV-A 241 beträgt die Mindestbreite bei viereckigen Schächten 1,0 m. Bei runden Schächten darf der lichte Durchmesser nicht kleiner als 1,0 m sein. Aus betrieblichen Gründen ist ein Durchmesser von 1,2 m anzustreben.

Den oberen Abschluss eines Schachtes bildet die aus Rahmen, Schmutzfänger und Deckel bestehende Schachtabdeckung. Auch, wenn die lichte Weite für kreisförmige Schachtabdeckungen in der Vergangenheit unterschiedlich geregelt wurde [Stein 1998], ist zu erwarten, dass im Bestand Schachtabdeckungen verbaut wurden, die dem in der DIN EN 124 festgelegten Mindestdurchmesser von 600 mm aufweisen.



- | | |
|-------------------------|---------------------|
| 1 Sauberkeitsschicht | 8 Schachtring |
| 2 Sohlenplatte | 9 Übergangsplatte |
| 3 Gerinne | 10 Schachthals |
| 4 Auftritt | 11 Auflagering |
| 5 Schachtunterteil | 12 Schachtabdeckung |
| 6 Muffe für Gelenkstück | 13 Steighilfe |
| 7 Fußauflagerung | |

Bild 4.1: Prinzipskizze eines Schachtes nach DIN 19 549 [Stein 1999]

Die unterschiedlichen Nennweiten von Einstieg und Schacht werden über einen Konus (Schachthals) überbrückt, der im Regelfall asymmetrisch ausgeführt ist. Ebenfalls liegt das Gerinne nicht notwendigerweise mittig im Schachtunterteil. Die sich damit für den Regelfall einstellende Ausmitte des Schachtdeckel gegenüber dem Fließgerinne wird verstärkt durch die Tatsache, dass der Schachtdeckel so installiert sein muss, dass er dem topografisch bedingten Längs- und dem zur Entwässerung vorzusehendem Quergefälle von mindestens 2,5 % der Straßenoberfläche [Schneider 1990] folgt.

Um die Einbausituation für Messgeräte beschreiben zu können, werden nachfolgend zunächst die für die Gestaltung von Schachtbauwerken gültigen Regelwerke vorgestellt. Anschließend erfolgt eine Analyse von Bestandsdaten, sodass zusammen mit den Ergebnissen aus Abschnitt 3 Aussagen über grundsätzliche Möglichkeiten und Grenzen des Einbaus von Durchflussmesseinrichtungen in eine Schachtabdeckung getroffen werden können.

4.2 Regelwerke zur Gestaltung von Schachtbauwerken

4.2.1 Baumaterial

Beton

Zum Bau von Schächten für erdverlegte Abwasserkanäle und –leitungen werden Betonschächte aus Fertigteilen nach DIN 4034-1 [DIN 1993] angeboten. Die Höhenanpassung der Schachtabdeckung ist mit Auflageringen AR-V nach DIN 4034-1 auszuführen. Diese zeichnen sich durch eine Falz zur Verschiebesicherung aus (s. Bild 4.2) und werden in den Höhen 60, 80 und 100 mm hergestellt.

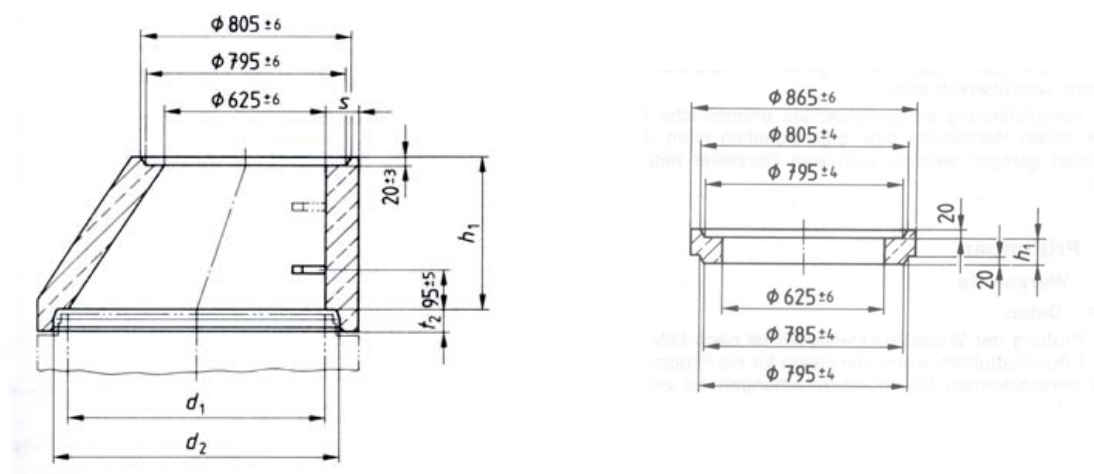


Bild 4.2: DIN 4034-1: links Schachthals mit Muffe (SH-M); rechts: Auflageringe (AR-V)

Mauerwerk

Zum Altbestand der Leitungsnetze in der Bundesrepublik Deutschland gehören auch Schächte aus Mauerwerk. Zum Zeitpunkt ihrer Errichtung existierten noch keine einheitlichen Vorgaben hinsichtlich Ausführungsform, Wanddicken und Werkstoffqualität, so dass diesbezüglich große Unterschiede in den verschiedenen Kanalnetzen bestehen können.

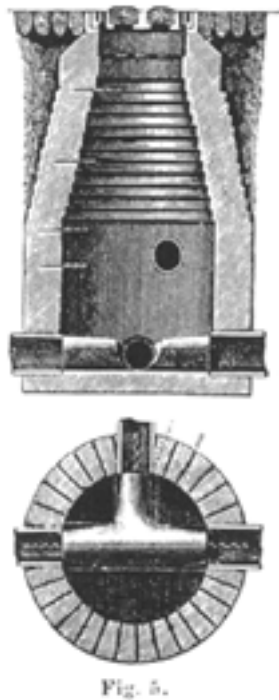


Bild 4.3: Einstieg- oder Sichtschacht aus Mauerwerk nach (König, 1902) (links) und Blick in einen rechteckigen gemauerten Schacht (rechts)

In Abhängigkeit der ausgewählten Schachtabdeckung wird der Mauerwerkskonus so ausgebildet, dass beide Bauteile in ihrer Geometrie aufeinander abgestimmt sind. In der Vergangenheit wurden sowohl die heute üblichen Schachtabdeckungen eingebaut als auch Sondermaße und -formen sowie quadratische Schachtabdeckungen. So zeigt Bild 4.3 (links) einen Einstieg- oder Sichtschacht, wie er beispielsweise Anfang des 20. Jahrhunderts ausgeführt wurde. In der rechten Bildhälfte ist ein Mauerwerkschacht dargestellt, bei dem das Schachtunterteil und der Schachtkonus rechteckig ausgeführt sind. Um eine runde Schachtabdeckung auflegen zu können, wurde der Bereich des Schachtkopfes rund aufgemauert.

Schachtunterteile aus Mauerwerk werden heutzutage nach DIN 4034 Teil 10 [DIN 1995] ausgeführt.

Kunststoff

Kunststoffschächte, z.B. nach DIN 19537-3 [DIN 1990], weisen häufig eine geringe eigene Tragfähigkeit in vertikaler Richtung auf. Sie besitzen daher meist eine vom Schachtkörper entkoppelte sogenannte Lastausgleichsplatte, welche die Auflasten direkt in den umgebenden Baugrund ableitet.

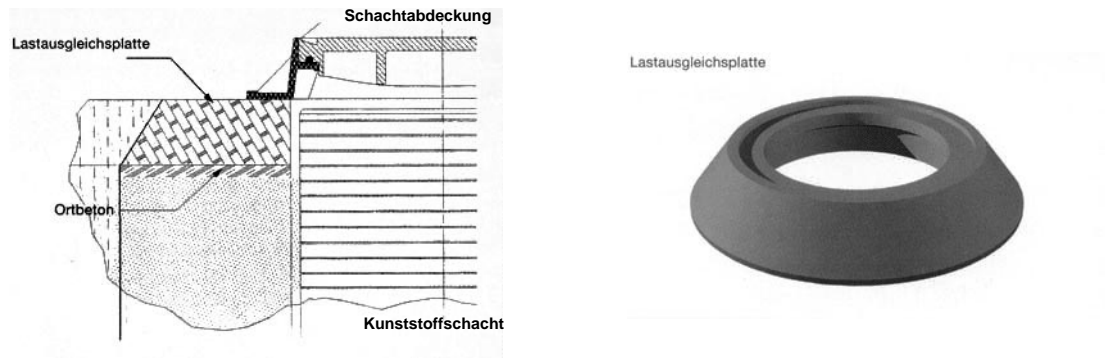


Bild 4.4: Kunststoffschacht mit Lastausgleichsplatte (nach ALPHACAN)

4.2.2 Schachtabdeckungen

Schachtabdeckungen bilden das Bindeglied zwischen Schachtbauwerk und Fahrbahnoberfläche und müssen daher Verkehrslasten aufnehmen, die entweder über den Schachtkonus und/oder den Straßenoberbau abgeleitet werden [vgl. Bosseler et al. 2002]. Die Höhe dieser Lasten hängt vom Einsatzort ab. So werden Schachtabdeckungen grundsätzlich auf Autobahnen durch höhere Geschwindigkeiten und eine größere Zahl von Überfahrten stärker belastet als Schachtabdeckungen in verkehrsberuhigten Bereichen (Bild 4.5).



a) Autobahn

b) Tempo 30 – Zone

Bild 4.5: Beispiele für Schachtabdeckungen im Straßenraum

Auf den Schachtdeckel wirken zwei Lastarten ein, die sich in Größe und Richtung unterscheiden. Das sind zum einen vertikale Lasten (V_E), z.B. aus dem Eigengewicht der Fahrzeuge, und zum anderen horizontale Lasten (H_E) aus Brems- oder Beschleunigungsvorgängen. Diese Lasten müssen sicher und klapperfrei in den Rahmen abgeleitet werden. So dürfen auch dynamische Beanspruchungen aus Straßenverkehr nicht zu einem „Herauspringen“ des Deckels aus dem Rahmen führen. Darüber hinaus müssen bei exzentrisch einwir-

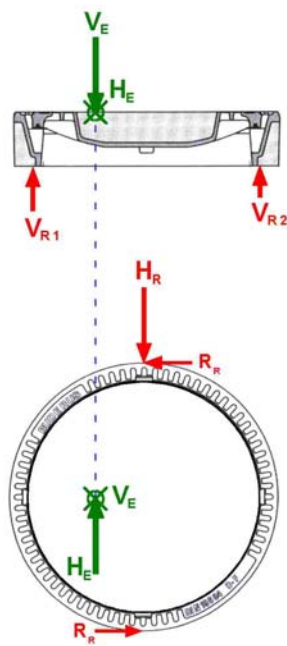
kenden Horizontallasten eine Drehbewegung des Deckels verhindert und die entstehenden Momente über den Rahmen abgeleitet werden. Bei den heutzutage verwendeten Deckeln wird deshalb i.d.R. eine Nut-Feder-Konstruktion, d.h. eine Nut im Rahmen und eine Feder im Deckel, eingesetzt.

Der Abtrag der Verkehrslasten von der Schachtabdeckung über den Schachtkonus kann als Standardfall bezeichnet werden. So ist auch nur diese Ausführung in den bestehenden Normen berücksichtigt z. B. DIN 4034 Teil 1 [DIN 1993]. Schachtabdeckungen, die die Last in dieser Form abtragen, werden von allen Herstellern angeboten. Sie unterscheiden sich in

- der Bauhöhe,
- der Verwendung und Anordnung von dämpfenden Einlagen und
- den Deckel- bzw. Rahmenwerkstoffen.

Die vertikal einwirkenden Lasten werden in den Schachtkonus eingeleitet, während die horizontalen Lasten im Wesentlichen durch die Einbindung in den Straßenkörper aufgenommen werden. Diese Einbindung wird z.B. mit Asphaltbeton, Gussasphalt oder Formsteinen mit bituminösem Verguss ausgeführt.

Bild 4.6 zeigt eine schematische Darstellung der eingeleiteten Verkehrslasten und resultierenden Reaktionskräfte.



**Einwirkende äußere Kräfte
(Kraftresultierende aus Lastspannungen):**

H_E : Horizontal

V_E : Vertikal

**Reaktionskräfte
(Kraftresultierende aus Reaktionsspannungen):**

R_R : Rotation

H_R : Horizontal

V_{R1}, V_{R2} : Vertikal


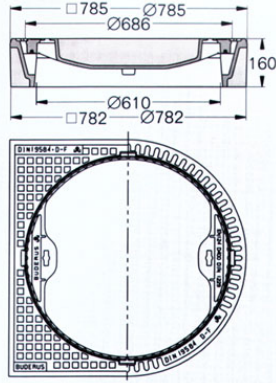

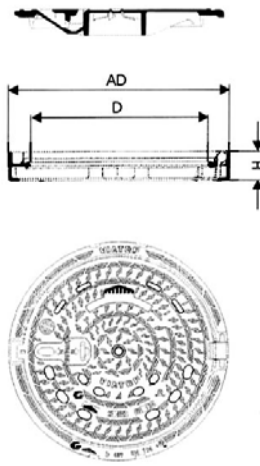

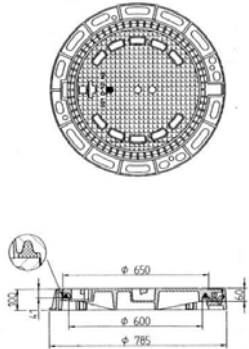

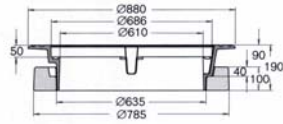
Bild 4.6: Darstellung der äußeren Kräfteeinwirkung und resultierenden Reaktionskräfte

Die Bauhöhen der Schachtabdeckungsrahmen sind nicht normativ geregelt. Die üblicherweise in Deutschland verwendeten BEGU-Schachtabdeckungsrahmen der Klasse D 400 haben eine Bauhöhe von 16 cm. Darüber hinaus werden für diese Lastklasse auch Schachtrahmen mit kleineren Bauhöhen, z.B. 10 cm angeboten.

Auch die Durchmesser der Einstiegöffnung schwanken abhängig vom Hersteller in einem Bereich von 600 und 610 mm.

In der nachfolgenden Tabelle (Tabelle 4-1) sind verschiedene Ausführungsbeispiele zur Gestaltung von Schachtabdeckungen zusammengestellt.

Tabelle 4-1: Ausführungsbeispiele für Schachtabdeckungen

Beschreibung	Bild	Maße
<p>Schachtabdeckung rund oder quadratisch, Klasse D 400 entsprechend DIN EN 124, lichter Ø 610 mm, Beton/Guss-Rahmen, Beton/Guss-Deckel, mit und ohne Budapren® - Einlage im Deckel oder im Deckel u. Rahmen zur Geräuschdämpfung, Deckel ohne Lüftungsöffnungen, Rahmenhöhe 160 mm</p>		
<p>Schachtabdeckung rund, Klasse D 400 entsprechend DIN EN 124, mit Gütezeichen „Güteschutz Kanal-guss“, lichter Ø 610 mm, Rahmen und Deckel aus Kugelgraphitguss, Deckel mit Schanier, mit frei lagerndem Gelenk, austauschbare dämpfende Spezialeinlage aus SBR im Rahmen, Deckel mit oder ohne Lüftung</p>		
<p>Schachtabdeckung rund, Klasse D 400 entsprechend DIN EN 124, lichter Ø 600 mm Rahmen und Deckel aus Kugelgraphitguss (GGG) Deckel mit Scharnier und dämpfender Neopren-Einlage Deckel mit oder ohne Lüftung</p>		
<p>Guss-Schachtabdeckungsrahmen, rund, Klasse D 400 entsprechend DIN EN 124/DIN1229, lichter Ø 600 mm, Führungsring aus Beton, Beton/Guss-Kleeblattdeckel mit oder ohne Lüftung, Budapren® - Einlage, Rahmenhöhe 190 mm</p>		

4.2.3 Steigeisen

Zum Einstieg in Schachtbauwerke werden in der Regel sogenannten Steigeisen verwendet, die fest mit dem Schachtbauwerk verbunden werden. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit statt Steigeisen auch Schachtleitern zu verwenden, die in der Praxis jedoch nur selten anzutreffen sind.

Bei den Steigeisen wird grundsätzlich zwischen einläufigen und zweiläufigen unterschieden. **Einläufige Steigeisen**, auch Steigbügel genannt (vgl. Bild 4.7) sind so konstruiert, dass sie zwei Füße oder zwei Hände nebeneinander aufnehmen können und senkrecht übereinander angeordnet werden. Die allgemeinen Anforderungen werden in DIN 13101 [DIN 2002], exakte Maßangaben in DIN 19555 [DIN 2003c] beschrieben. Unterschieden wird zwischen Form A und Form B. Beide Formen sind mit Polyethylen ummantelt mit Aufkantung. Ein seitliches Abrutschen des Fußes wird durch entsprechende Aufkantungen verhindert.



Bild 4.7: Steigeisen Form A (links) und Form B (rechts) nach Weischer [2007]

Zweiläufige Steigeisen sind versetzt angeordnete Steigeisen gleichen Typs, die so konstruiert sind, dass sie jeweils einen Fuß oder eine Hand aufnehmen können. Die allgemeinen Anforderungen werden in DIN 13101 [DIN 2002], exakte Maßangaben in DIN 1211-1 [DIN, 2003a] und DIN 1212-1 [DIN 2003b] beschrieben. Unterschieden wird jeweils zwischen den Varianten zum Einmauern oder Einbetonieren, zum Einbau in Fertigteile und zum An- und Durchschrauben (Teil 3). Beispielhaft sind in zwei Steigeisen der Formen C und D in Bild 4.8 dargestellt.



Bild 4.8: Steigeisen Form C (links) und Form D mit Aufkantung (rechts) nach Weischer [2007]

In Tabelle 4-2 sind die aktuell geltenden Normen für Steigeisen zusammengestellt.

Tabelle 4-2: Normen Steigeisen und Steigkästen

Norm	Titel	Teil
DIN EN 13101	Anforderungen, Kennzeichnungen, Prüfung und Beurteilung der Konformität	
DIN 19555	Steigeisen für einläufige Steigeisengänge - Steigeisen zum Einbau in Beton.	
DIN 1211-1	Steigeisen für zweiläufige Steigeisengänge.	Teil 1: Steigeisen zum Einmauern oder Einbetonieren
DIN 1211-2	Steigeisen für zweiläufige Steigeisengänge.	Teil 2: Steigeisen zum Einbau in Betonfertigteile
DIN 1211-3	Steigeisen für zweiläufige Steigeisengänge.	Teil 3: Steigeisen zum An- und Durchschrauben
DIN 1212-1	Steigeisen mit Aufkantung für zweiläufige Steigeisengänge.	Teil 1: Steigeisen zum Einmauern oder Einbetonieren
DIN 1212-2	Steigeisen mit Aufkantung für zweiläufige Steigeisengänge.	Teil 2: Steigeisen zum Einbau in Betonfertigteile
DIN 1212-3	Steigeisen mit Aufkantung für zweiläufige Steigeisengänge.	Teil 3: Steigeisen zum An- und Durchschrauben

4.3 Schachtbauwerke im Bestand

Neben der bereits in Abschnitt 4.1 diskutierten Problematik der Ausmitte des Schachtdeckels in Bezug auf die Gerinneachse aufgrund des Schachtkonusses oder tangentialer Bauweise sowie der nicht parallel zur Wasseroberfläche liegenden Schachtabdeckung, ist es für die Diskussion einer Integration einer Durchflussmeseinrichtung in die Schachtabdeckung wesentlich, wie sich der Abstand zwischen Wasseroberfläche und Schachtabdeckung (also in etwa Schachttiefe) im Bestand verteilt. Dies konnte anhand repräsentativer Daten [Müller et al. 2005] ausgewertet werden (vgl. Bild 4.9). Die mittlere Schachttiefe (= Abstand des Schachtdeckels zur Gerinnesohle) beträgt demnach etwa 2,9 m, 90 % der Schächte sind weniger als 4,6 m tief.

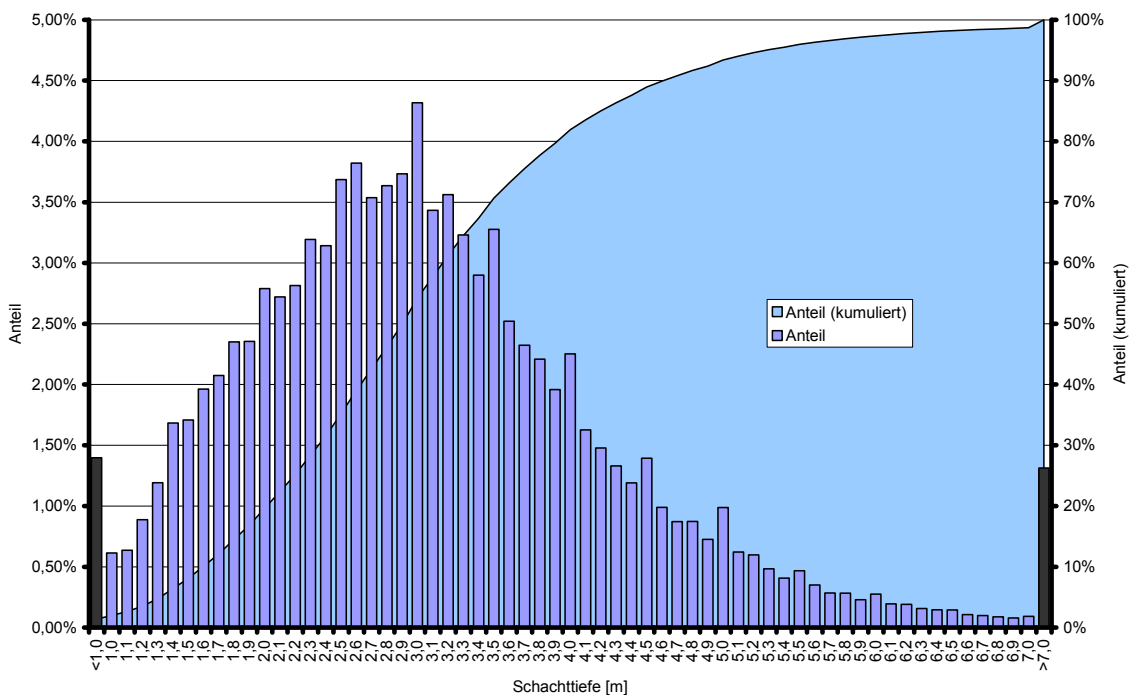


Bild 4.9: Verteilung der Schachttiefen im Bestand

Die Gerinnedurchmesser verteilen sich gem. Bild 4.10. Etwa 56 % der Gerinne haben damit einen Durchmesser von DN 200 - DN 300. Gerinne mit kleineren Nennweiten sind hinsichtlich ihrer Anzahl vernachlässigbar.

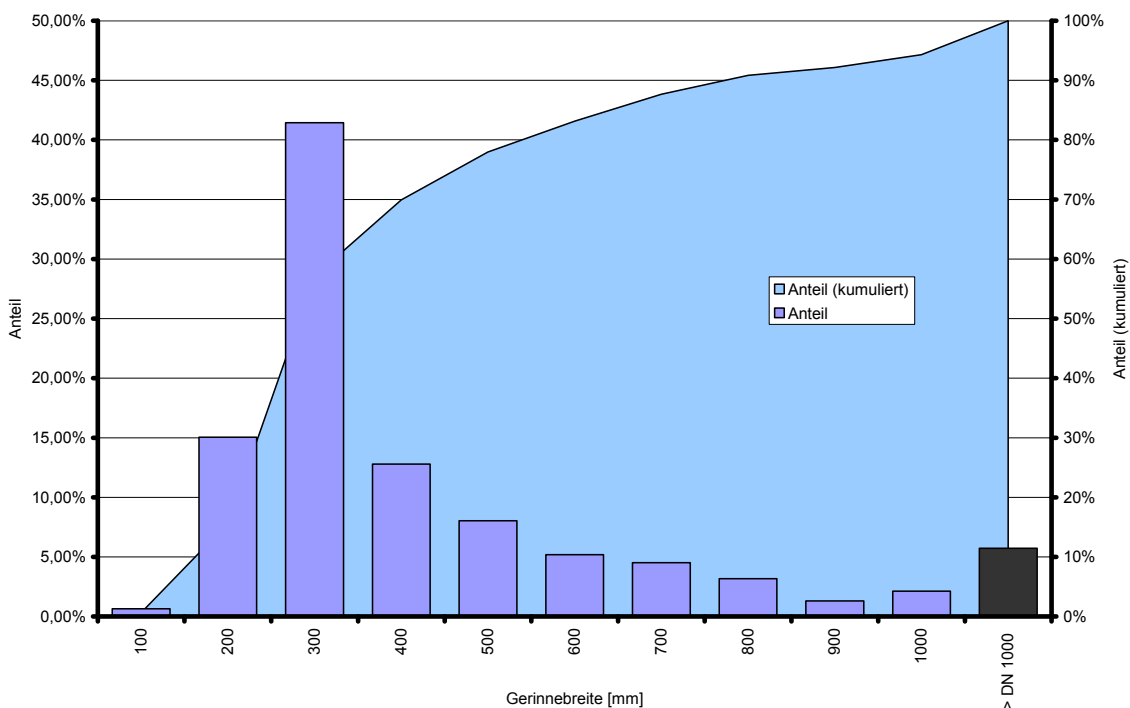


Bild 4.10: Verteilung der Gerinnebreiten [DN] im Bestand

Gerinnebreite und Schachttiefe sind für die Integration von Durchflussmessenrichtungen in eine Schachtabdeckung in so fern relevant, als der Messkegel eines berührungslos arbeitenden in die Schachtabdeckung integrierten Systems in der Lage sein muss, den Abwasserstrom aus entsprechender Höhe zu erfassen.

Unterstellt man, dass der erfassbare Mindestabfluss zu einer Wassertiefe von 5 cm im Gerinne führt¹, kann der verfügbare Messkegelwinkel gem. Bild 4.11 abgeschätzt werden. So entspricht der verfügbare Messkegel bei einer Schachttiefe von 3,00 m und einer Nennweite von DN 300 etwa 4,2°, bei einer Nennweite von DN 200 reduziert sich der verfügbare Messkegelwinkel auf etwa 3,3°.

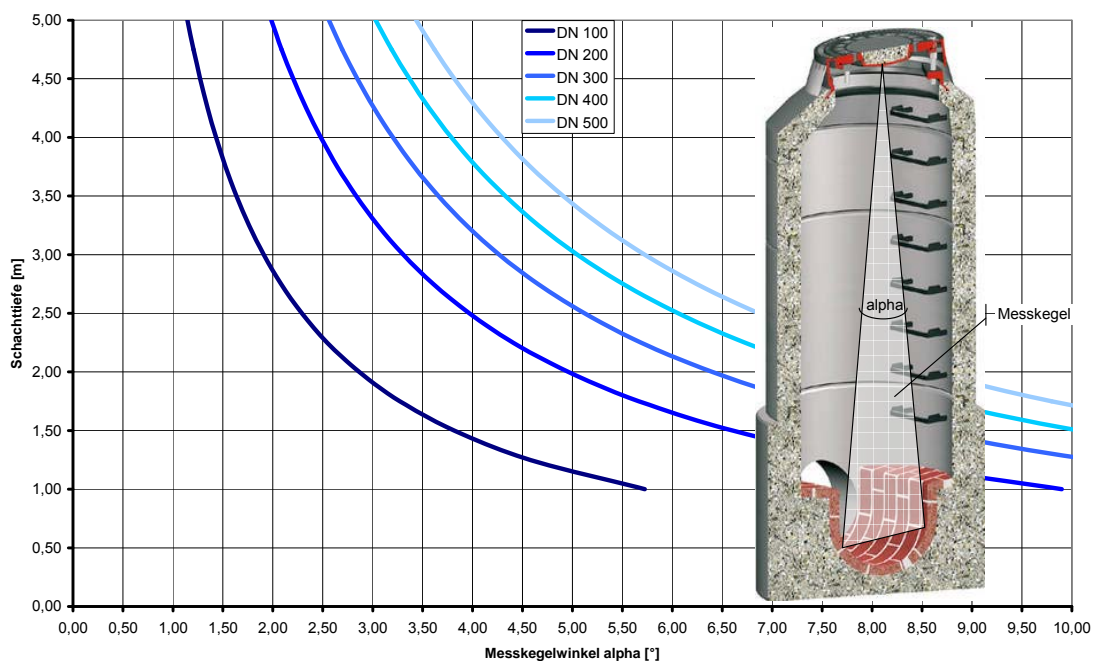


Bild 4.11: maximale Messkegelwinkel (α) in Abhängigkeit von Gerinnebreite und Abstand der Messeinrichtung von der Wasseroberfläche (~ Schachttiefe)

Für den Bestand der Abwasserschächte bedeutet dies, dass sich die verfügbaren Messkegelwinkel gem. Bild 4.12 verteilen. Um das Messgerät in mehr als 90 % der Schachtbauwerke einsetzen zu können, ist es demnach erforderlich, dass der Messkegel kleiner als 10° ist.

¹ Dies entspricht der für den Einsatz von OCM-Messsystemen erforderlichen Mindestwassertiefe

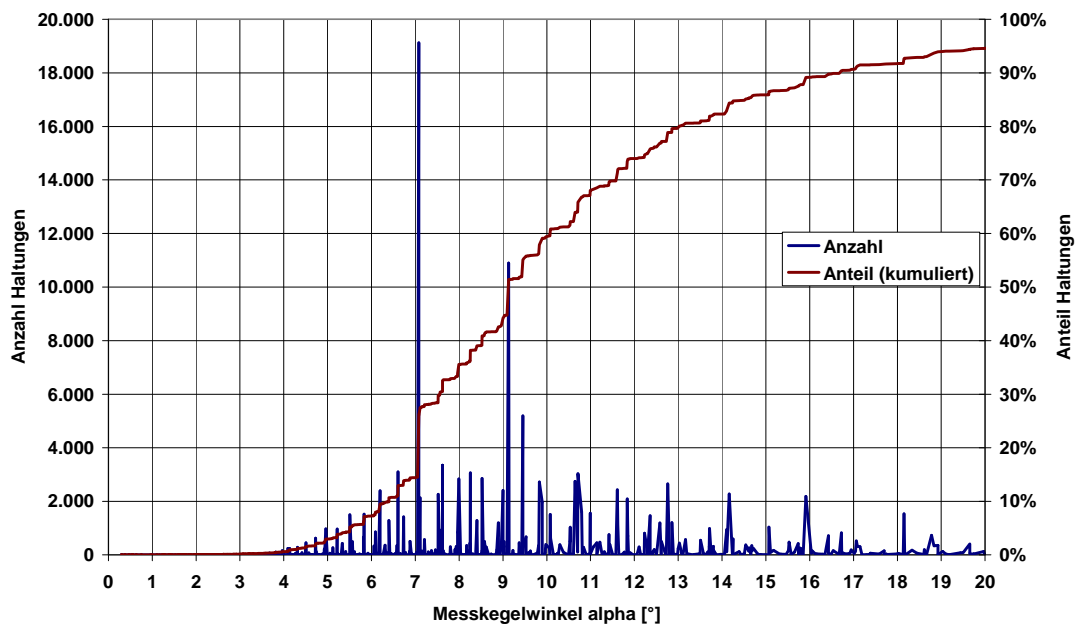


Bild 4.12: Verteilung der Messkegelwinkel im Bestand

4.4 Hydrometrische Randbedingungen

Voraussetzung für die Einhaltung der Messgenauigkeit ist bei allen vorgenannten Verfahren, dass die jeweiligen hydrometrischen Randbedingungen berücksichtigt werden. Empfehlungen hierzu können z. B. HASSINGER [1993] und NIVUS [2004] entnommen werden (siehe auch Bild 4.13).

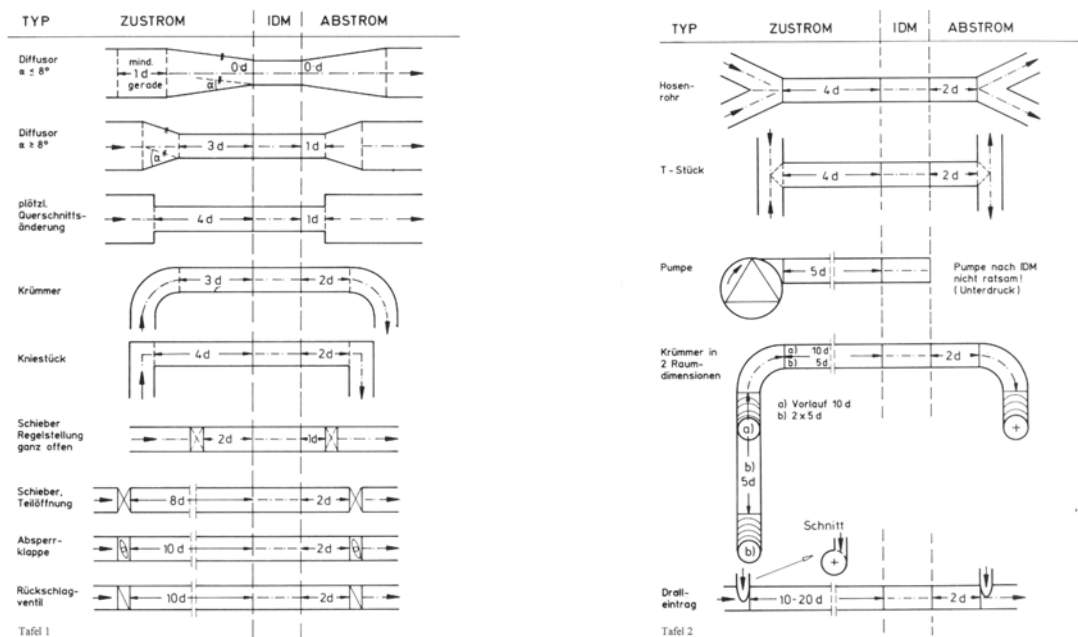


Bild 4.13: Vor- und Nachlaufstrecken für vollgefüllte MIDs nach (Hassinger, 1993)

Die hydrometrischen Bedingungen in Schachtbauwerken werden insbesondere durch die Ausbildung des Schachtgerinnes beeinflusst. Hinweise zu den Einflussfaktoren können MERLEIN [2002] entnommen werden. So hat beispielsweise die Ausbildung der Berme in Schächten einen maßgeblichen Einfluss auf das Fließverhalten bei unterschiedlichen Wasserständen.

Während die hydraulischen Eigenschaften der Messstellen auf Kläranlagen, z.B. durch die Gestaltung der Messgerinnen, auf das jeweilige Messverfahren angepasst werden, sind Schachtbauwerke in Entwässerungsnetzen auf ihre Eignung als Standort für Durchflussmessenrichtungen zu bewerten. Die hydraulischen Eigenschaften werden durch die Zulaufstrecke, die Ausbildung des Schachtgerinnes und die Nachlaufstrecke beeinflusst. Bei ausreichenden Vor- und Nachlaufstrecken beeinflusst insbesondere die Ausbildung des Schachtgerinnes zum einen die hydraulische Leistungsfähigkeit eines Schachtes und zum anderen auch die hydrometrischen Eigenschaften. Untersuchungen über den Einfluss der Strömungen in Schächten auf die Leistungsfähigkeit von eingestauten Abwasserkanälen [vgl. Merlein 2002] haben gezeigt, dass bereits Schachtgerinne mit hochgezogener Berme (vgl. Bild 4.14 links) und Teilfüllungsgraden $< 1,0$ eine höhere Leistungsfähigkeit aufweisen als Schachtgerinne mit tiefliegender Berme (vgl. Bild 4.14 rechts). Die nach DWA A 110 [DWA 2006] anzusetzenden Verlustbeiwerte bei unterschiedlichen Teilfüllungsgraden sind in Bei der Auswahl geeigneter Schächte zur Durchflussmessung hat darüber hinaus der bauliche Zustand des Schachtgerinnes einen Einfluss auf die hydraulischen bzw. die hydrometrischen Randbedingungen. Schächte mit defekten oder fehlenden Schachtgerinnen (vgl. Bild 4.15) schränken die Auswahl der einsetzbaren Durchflussmessgeräte ein. Möglicherweise ist vor dem Einbau eines Durchflussmessgerätes die Sanierung des Gerinnes unter hydrometrischen Gesichtspunkten notwendig.

Tabelle 4.3 für Schachtgerinne mit hochgezogener Berme und in

Tabelle 4.4 für Schachtgerinne mit tiefliegender Berme dargestellt. Die höheren Verlustbeiwerte bei steigenden Teilfüllungsgraden können als Hinweis für sich ändernde Strömungsverhältnisse angesehen werden.

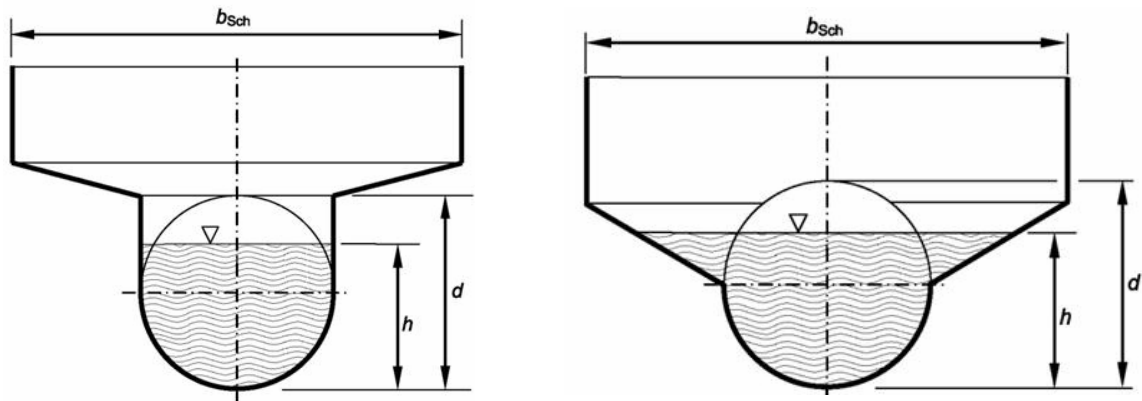


Bild 4.14: links: Regelschacht (RSch) mit hochgezogener Berme; rechts: Sonderschacht (SSch) mit tiefliedender Berme [vgl. DWA 2006]

Bei der Auswahl geeigneter Schächte zur Durchflussmessung hat darüber hinaus der bauliche Zustand des Schachtgerinnes einen Einfluss auf die hydraulischen bzw. die hydrometrischen Randbedingungen. Schächte mit defekten oder fehlenden Schachtgerinnen (vgl. Bild 4.15) schränken die Auswahl der einsetzbaren Durchflussmessgeräte ein. Möglicherweise ist vor dem Einbau eines Durchflussmessgerätes die Sanierung des Gerinnes unter hydrometrischen Gesichtspunkten notwendig.

Tabelle 4.3 Verlustbeiwerte ζ_{RSch} für Regelschächte (RSch) nach DWA A 110 [DWA 2006] mit hochgezogener Berme

Abflusssituation	h/d	ζ_{RSch} für Umlenkungen von		
		0-10°	>10° - 45°	>45°
Teilfüllung	< 1,0	0,05	0,1	0,15
Scheitelfüllung	1,0	0,1	0,2	0,5
Einstau, Vollfüllung unter Überdruck	>1,0	0,25	0,7	1,0
Gerinne mit Abdeckplatte	für alle h/d	0,05	0,1	0,2

Tabelle 4.4 Verlustbeiwerte ζ_{SSch} für Sonderschächte (SSch) nach DWA A 110 [DWA 2006] mit tiefliegender Berme

Abflusssituation	h/d	ζ_{RSch} für Umlenkungen von		
		0-10°	>10° - 45°	>45°
Teilfüllung	< 1,0	0,15	0,3	0,5
Scheitelfüllung	1,0	0,3	0,4	1,0
Einstau, Vollfüllung unter Überdruck	>1,0	0,85	1,3	2,5
Gerinne mit Abdeckplatte	für alle h/d	0,05	0,1	0,2



Bild 4.15: Beispiele für Schachtgerinne im bestehenden Kanalnetz [Puhl 2007]

Ein weiteres Hemmnis für die Messung des Durchflusses im Schacht stellen seitliche Zuflüsse und Richtungswechsel im Schacht dar (vgl. Bild 4.16). Es ist dann davon auszugehen, dass die Messung erstens nur schwer einem Gerinneabschnitt (Zulauf 1, Zulauf 2 oder Ablauf) zuordenbar ist und zweitens die hydrometrischen Randbedingungen eine Messung nicht zulassen (vgl. Abschnitt 4.4). Zusammenfassend sind auch diese Schächte nicht oder nur bedingt für den Einsatz einer Durchflussmeseinrichtung integriert in eine Schachtabdeckung geeignet.

Auswertungen der Bestandsdaten (vgl. Abschnitt 4.3) ergaben, dass etwa 14 % der Schächte als Vereinigungsbauwerk ausgebildet sind; der Anteil von Schächten, in denen ein Richtungswechsel stattfindet, konnte aus diesen Daten nicht ermittelt werden, dürfte aber ebenfalls wesentlich sein.

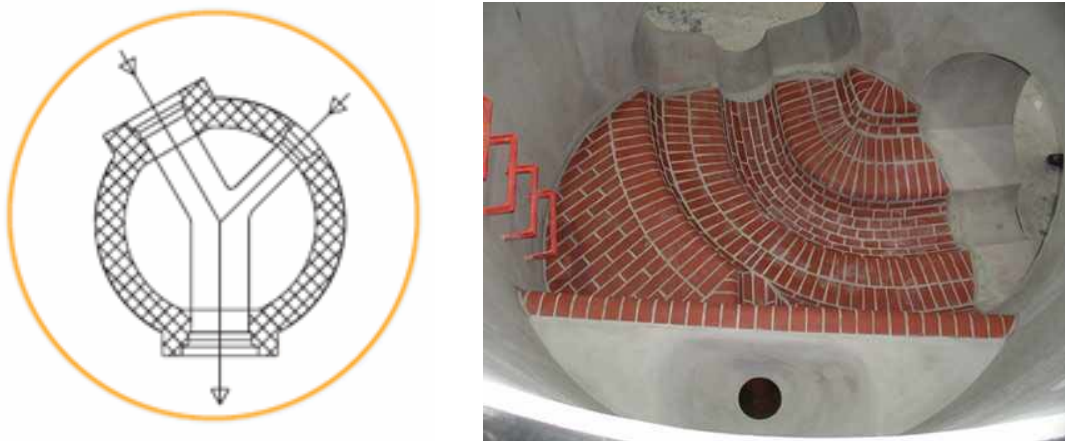


Bild 4.16: Der Schacht als Vereinigungsbauwerk und Richtungswechsel im Schachtbauwerk

Zusammenfassend können die oben beschriebenen baulichen Details der Schachtgerinne die hydrometrischen Eigenschaften einer auszuwählenden Messstelle maßgeblich beeinflussen. Grundsätzlich sind eindeutige, definierte hydraulische Bedingungen an der ausgewählten Messstelle unabdingbare Voraussetzungen für eine exakt funktionierende Messung sowie für korrekt erfasste Daten. Deshalb muss den erforderlichen hydraulischen Beruhigungsstrecken die nötige Beachtung geschenkt werden [Nivus 2004]:

- Abstürze, Sohlspünge, Einbauten, Gerinneprofiländerungen oder seitliche Zuleitungen direkt vor oder hinter der Messung sind zu vermeiden.
- Die Messstrecke ist so auszuwählen, dass sich unter den üblichen Betriebsbedingungen möglichst keine Ablagerungen (Sand (vgl. Bild 4.15 rechts unten), Geröll,

Schlamm) in ihr befinden. Ablagerungen werden durch zu geringe Schleppspannungen innerhalb des Fließprofils verursacht und deuten auf zu geringes Gefälle oder bauliche Mängel innerhalb der Messstrecke hin.

- Innerhalb der Messstrecke sind Gefälleänderungen zu vermeiden.
- Die einzusetzenden Durchflussmessgeräte müssen auf Grundlage der auftretenden Fließgeschwindigkeiten ausgewählt werden. So können beispielsweise sehr hohe Fließgeschwindigkeiten bei einer nur geringen Fließhöhe starke Wellenbildung und eine unruhige Wasseroberfläche verursachen, die darüber hinaus auch noch durch Lufteintrag verfälscht werden kann.
- Die Ein- und Auslaufstrecke ist vom eingesetzten Messverfahren abhängig. Hinweise finden sich in Bild 4.13 [Hassing 1993] und können darüber hinaus den Bedienungsanleitungen der Hersteller entnommen werden.

4.5 Konsequenzen für den Einsatz von Durchflussmeseinrichtungen integriert in eine Schachtabdeckung

Aufgrund der im Bestand vorhandenen Schacht- bzw. Gerinnegeometrien z.B. in Form von

- Richtungswechsel und seitlichen Zuflüssen,
- Bermengestaltung bzw. Schäden an der Berme,
- Schachttiefe sowie
- Ausmitte des Schachtdeckels (z. B. aufgrund des Konusses oder bei Tangentialschächten oder aufgrund der Straßenneigung)

ergeben sich für eine Durchflussmessung integriert in eine Schachtabdeckungen folgende Konsequenzen:

- Vor dem Einsatz ist unbedingt zu Prüfen, ob die für die Messeinrichtung notwendigen hydrometrischen Randbedingungen eingehalten werden.
- Eine Integration des Sensors in die Schachtabdeckung erscheint aus o.g. Gründen nicht sinnvoll. Vielmehr ist eine Konstruktion zu wählen, die eine wasseroberflächen-nahe Montage des Sensors erlaubt (z.B. durch Einhängen in die Steigeisen oder in die Einstigshilfenhalterung).

- Aus diesen beiden Punkten ergibt sich die Notwendigkeit, den Schacht bei Installation bzw. Deinstallation des Sensors zu besteigen.
- Um den Betrieb der Messeinrichtung wartungsarm zu gestalten, sollte auf Berührungslos arbeitende Systeme (also Radar oder Ultraschallhöhenmessung) zurückgegriffen werden.
- Eine ergänzende Reduzierung des Wartungsaufwandes ergibt sich bei Integration des Datenloggers, Schnittstelle und Energieversorgungseinrichtung in die Schachtabdeckung oder dem Schmutzfangkorb.

5 Energieversorgung der Durchflussmessung integriert in die Schachtabdeckung

5.1 Zielsetzung zur Energieversorgung der Durchflussmessung

Ungeachtet der Frage, wo die der Messsensor positioniert ist, scheint es sinnvoll, den Schachtdeckel für die Energieversorgung des Messgerätes zu nutzen. Hierdurch kann im Idealfall eine Autarkie des Messgerätes gesichert werden, mindestens jedoch die Standzeit des Gerätes verlängert werden.

In den folgenden Abschnitten ist daher zunächst der Energiebedarf für die Durchflussmeseinrichtung sowie für die zur Datenspeicherung und Datenfernübertragung erforderlichen Geräte zu ermitteln. Anschließend ist zu prüfen, in wie weit dieser Energiebedarf über Photovoltaik gedeckt werden kann.

5.2 Ermittlung des benötigten Energiebedarfs der Durchflussmessung

Der Gesamtenergiebedarf der Durchflussmessung ermittelt sich aus dem Energieverbrauch der nachfolgend aufgeführten elektrischen Verbraucher:

- Messwertaufnehmer (z. B. Ultraschall-Radar-Sensor),
- Messwertumformer (Auswertegerät),
- Datenlogger (Datenspeicher),
- GPRS-Datenübertragungseinrichtung (vgl. Abschnitt 6)

sowie in Abhängigkeit des gewählten Messintervalls, in dem eine Messung der Durchflussmenge durchgeführt wird.

Gemäß den Angaben des Herstellers der Durchflussmeseinrichtung ist der Stromverbrauch für den Messwertaufnehmer, den Messwertumformer und den Datenlogger im Wesentlichen von folgenden Randbedingungen abhängig:

- Während eines aktiven Messzyklus wird für den Messwertaufnehmer, den Messwertumformer und den Datenlogger ein Nennstrom von 120 mA bei einer Spannung von 4,1 V benötigt. Ein Messzyklus einschließlich der erforderlichen Auswertung dauert 35 Sekunden.

- Um den Energieverbrauch für den Messwertaufnehmer, den Messwertumformer und den Datenlogger zu reduzieren, wird die Messeinrichtung nach Abschluss des Messzyklus in den Sleepmodus geschaltet. Im Sleepmodus wird ein Nennstrom von 0,65 mA bei einer Spannung von 4,1 V benötigt.

Der Stromverbrauch ist somit wesentlich von den gewählten Messintervallen abhängig. In der Tabelle 5.1 ist die benötigte elektrische Leistung für den Messwertaufnehmer, den Messwertumformer und den Datenlogger in Abhängigkeit der einstellbaren Messintervalle dargestellt.

Tabelle 5.1 Leistungsbedarf in Abhängigkeit des Messintervalls

Messintervall	Messdauer	Sleepdauer	Energiebedarf
1 Min	35 s	25 s	0,29 W
2 Min	35 s	85 s	0,15 W
3 Min	35 s	145 s	0,10 W
4 Min	35 s	205 s	0,07 W
5 Min	35 s	265 s	0,06 W
6 Min	35 s	325 s	0,05 W
7 Min	35 s	385 s	0,04 W
8 Min	35 s	445 s	0,04 W
9 Min	35 s	505 s	0,03 W
10 Min	35 s	565 s	0,03 W
11 Min	35 s	625 s	0,03 W
12 Min	35 s	685 s	0,03 W
13 Min	35 s	745 s	0,02 W
14 Min	35 s	805 s	0,02 W
15 Min	35 s	865 s	0,02 W

5.2.1 Batterieversorgung der Durchflussmessung

Zum energieautarken Betrieb der mobilen Durchflussmessung, bestehend aus Messwertaufnehmer, dem Messwertumformer und dem Datenlogger, sind von den Herstellern der Mess-

einrichtungen zwei Batterietypen mit unterschiedlichen Ladungskapazitäten (24 Ah und 48 Ah) erhältlich.

In der Tabelle 5.2 wurden die Betriebszeit der Messeinrichtung unter Zugrundelegung einer Batterie mit 48 Ah für verschiedene Messintervalle von 1 Minuten- bis 15 Minutenintervallen ermittelt.

Tabelle 5.2 Ermittlung der Betriebszeit einer Batterie mit 48 Ah in Abhängigkeit der Messintervalle

Messintervall	Anzahl der Messungen pro Tag	Benötigte Ladungskapazität pro Tag	Betriebszeit der Messeinrichtung in Tagen
1 Min	1440	1,69 Ah/d	28,5 d
2 Min	720	0,85 Ah/d	56,4 d
3 Min	480	0,57 Ah/d	83,8 d
4 Min	360	0,43 Ah/d	110,8 d
5 Min	288	0,35 Ah/d	137,2 d
6 Min	240	0,29 Ah/d	163,2 d
7 Min	206	0,25 Ah/d	188,8 d
8 Min	180	0,22 Ah/d	213,8 d
9 Min	160	0,20 Ah/d	238,5 d
10 Min	144	0,18 Ah/d	262,7 d
11 Min	131	0,17 Ah/d	286,6 d
12 Min	120	0,15 Ah/d	310,0 d
13 Min	111	0,14 Ah/d	333,0 d
14 Min	103	0,13 Ah/d	355,7 d
15 Min	96	0,13 Ah/d	378,0 d

Bei einem in der Abwassertechnik üblichen 1-Minuten-Messintervall ist mit einer 48-Ah-Batterie eine Überbrückungszeit von ca. 28 Tagen zu erreichen. Danach ist ein Austausch der Batterie erforderlich.

Bei einer Batterie mit einer Ladungskapazität von 24 Ah halbieren sich die oben genannten Überbrückungszeiten, d. h. bei einem 1-Minuten-Messintervall beträgt die Überbrückungszeit nur noch ca. 14 Tage.

5.2.2 Nachladung der Batterie zur Energieversorgung der Durchflussmessung mittels einer Photovoltaikanlage

Im Folgenden wird die Energieversorgung der mobilen Durchflussmessung mittels einer kombinierten Batterie- und Photovoltaikanlage betrachtet.

Zielsetzung ist es, mittels der Photovoltaikanlage die Batterieanlage im laufenden Betrieb mit Energie nachzuladen, um somit einen Betrieb der mobilen Durchflussmessung ohne einen Austausch der Batterie zu erreichen.

Eine Photovoltaikanlage besteht aus mehreren miteinander in einer Reihe verschalteten Solarzellen. Die Solarzellen oder photovoltaischen Zellen sind elektrische Bauelemente, die die im Sonnenlicht enthaltene Strahlungsenergie direkt in elektrische Energie umwandeln. Der Wirkungsgrad von Solarzellen liegt, optimale Bedingungen vorausgesetzt, zwischen 5 % und 20 %.

Da der Betrieb einer Photovoltaikanlage von der Sonneneinstrahlung abhängig ist, ist der Einbau der Photovoltaikanlage im inneren Bereich der Schachtabdeckung des Kanaldeckels (Bild 5.1) vorgesehen.

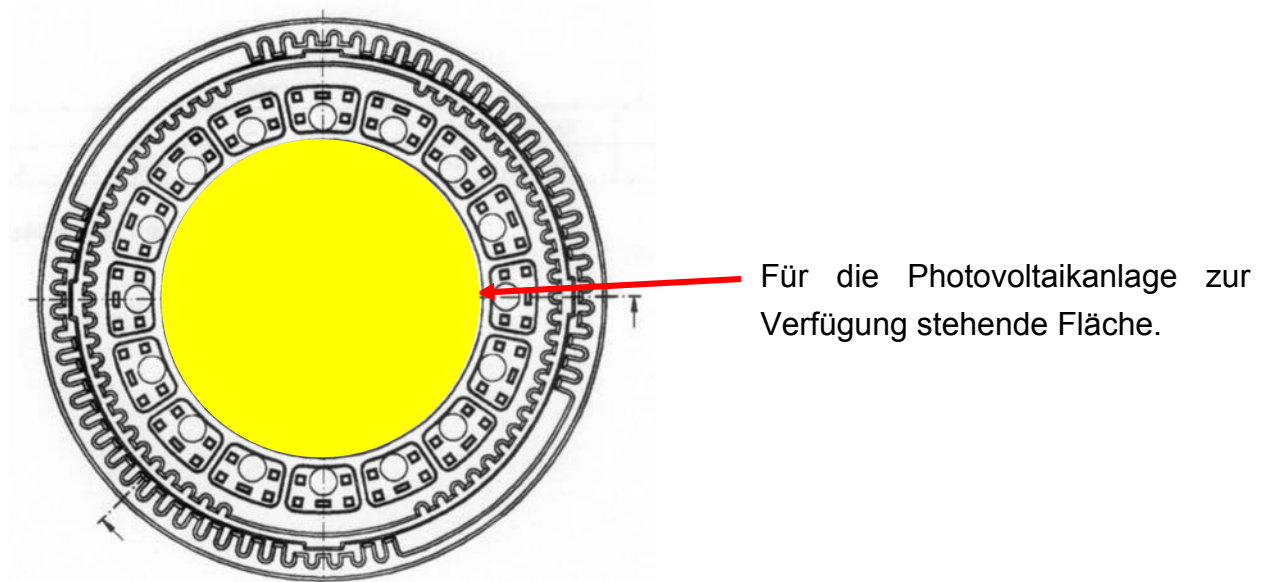


Bild 5.1 Schachtabdeckung und verfügbare Fläche

Der mit Beton gefüllte Bereich der Schachtabdeckung des Kanals hat standardmäßig einen Durchmesser von ca. 0,44 m. Somit steht für die Photovoltaikanlage eine nutzbare Fläche von ca. 0,15 m² zur Verfügung. Um eine optimale Energieausbeute zu erhalten - bezogen auf die für die Photovoltaikanlage zur Verfügung stehende nutzbare Fläche der Schachtabdeckung - sind hinsichtlich der Abmessungen und der Zellenspannung geeignete Solarzellen oder Solarmodule auszuwählen.

Hierbei unterscheidet man zwischen einzelnen Solarzellen, die in quadratischer und rechteckiger Form und in verschiedenen Größen von verschiedenen Herstellern erhältlich sind sowie zwischen betriebsfertigen Solarmodulen, die bereits über mehrere vom Hersteller verschaltete Solarzellen verfügen. Da einzelne Solarzellen auf der zur Verfügung stehenden nutzbaren Fläche der Schachtabdeckung besser angeordnet werden können und somit die Fläche besser ausgenutzt werden kann als bei Standard-Solarmodulen, die meistens rechteckig sind, wurde zunächst eine Marktrecherche über verfügbare Solarzellen durchgeführt.

Das Ergebnis der Marktrecherche über verfügbare einzelne Solarzellen ist der Tabelle 5.3 zu entnehmen.

Tabelle 5.3 Ergebnis der Marktanalyse zur Versorgung der Durchflussmessung mittels einzelnen Solarzellen

Hersteller	Typ	Abmessung (L x B) [mm]	Zellenspannung U _{mpp} [mV]	Zellenstrom I _{mpp} [A]
Schott Solar	EFG 12530	125 x 125	594	> 4,69
Schott Solar	EFG 12529	125 x 125	589	4,69
Schott Solar	EFG 12528	125 x 125	584	4,53
Ersol Solar Energy AG	Black Power E6M+	156 x 156	512	8,15
Ersol Solar Energy AG	Black Power E6M+	156 x 156	509	8,135
Ersol Solar Energy AG	Black Power E6M+	156 x 156	508	8,065
Ersol Solar Energy AG	Black Power E6M+	156 x 156	502	8,04
Ersol Solar Energy AG	Black Power E6M+	156 x 156	482	7,735

Um die von der mobilen Durchflussmessung benötigte Spannung zur Verfügung stellen zu können, müssen die Solarzellen in geeigneter Weise verschaltet werden, d. h. in Reihe geschaltet werden.

Wenn die eingesetzten Geräte eine Versorgungsspannung von 4 V benötigen, muss die Photovoltaikanlage eine Spannung von ca. 6 V erzeugen.

Wählt man z. B. eine Solarzelle, Fabrikat Schott Solar, Typ EFG 12530, so benötigt man 11 Solarzellen, um eine Spannung von ca. 6,5 V - optimale Bedingungen (Sonneneinstrahlung 1000 W/m², Temperatur der Solarzelle 25 °C konstant etc.) vorausgesetzt - zu erzeugen. Die so aufgebaute Photovoltaikanlage hat eine Leistung von ca. 30 W und benötigt eine Fläche von 0,17 m². Da für die Photovoltaikanlage eine Fläche von maximal 0,15 m² zur Verfügung steht, ist der individuelle Aufbau einer Photovoltaikanlage, bestehend aus einzelnen Solarzellen, die miteinander verschaltet werden, nicht realisierbar. Aus diesem Grund wurde die Marktrecherche auf Standard-Photovoltaikmodule erweitert. Das Ergebnis der Marktrecherche über verfügbare Solarmodule ist der Tabelle 5.4 zu entnehmen.

Tabelle 5.4 Ergebnis der Marktrecherche zur Versorgung der mobilen Durchflussmessung mittels Solarmodul

Hersteller	Typ	Abmessung (L x B) [mm]	Photovoltaikmodul		
			Spannung U _{mpp} [V]	Strom I _{mpp} [mA]	Leistung P _{mpp} [W]
Schott Solar	ASI 3 Oo 06x2/488/016 MF	488 x 16	7,2	38,0	273
Schott Solar	ASI 3 Oo 07/195/031 FAN	195,2 x 31,3	8,4	32,7	275
Schott Solar	ASI 3 Oo 06/122/082 MF	122 x 82	7,2	71,0	511
Schott Solar	ASI 3 Oo 07/122/115 FA	122 x 115	8,4	82,4	692
Schott Solar	ASI 3 Oo 07/120/112 MH	120 x 112	8,4	83,8	704
Schott Solar	ASI 3 Oo 06/115/122 FP	115 x 122	7,2	102,5	738
Schott Solar	ASI 3 Oo 07/192/081 FA	192 x 81	8,4	88,5	744
Schott Solar	ASI 3 Oo 06/072/225 FP	72 x 225	7,2	116,3	838

Hersteller	Typ	Abmessung (L x B) [mm]	Photovoltaikmodul		
			Spannung U _{mpp} [V]	Strom I _{mpp} [mA]	Leistung P _{mpp} [W]
Schott Solar	ASI 3 Oo 07/142/194 FA	142 x 194	8,4	162,6	1366
Schott Solar	ASI 3 Oo 06/144/195 FP	195 x 144	7,2	197,3	1420
Schott Solar	ASI 3 Oo 06/162/192 FA	162 x 192	7,2	207,2	1492
Schott Solar	ASI 3 Oo 07/162/192 FA	162 x 192	8,4	182,5	1533
Schott Solar	ASI 3 Oo 07/192/192 FA	192 x 192	8,4	209,1	1756
Schott Solar	ASI 3 Oo 07/144/325 FA	144 x 325	8,4	264,0	2218
Schott Solar	ASI 3 Oo 07/194/285 FPA	194 x 285	8,4	308,9	2595
Schott Solar	ASI 3 Oo 06x2/288/325 FA	288 x 325	7,2	526,9	3794
Solarmelzer	SM-750-6V	371 x 184	8	670	6

In die für den Einbau der Photovoltaikanlage im Kanaldeckel zur Verfügung stehende kreisrunde Fläche von ca. 0,15 m² können die in der nachfolgenden Tabelle 5.5 aufgelisteten Photovoltaikmodule eingebaut werden.

Tabelle 5.5 Geeignete Photovoltaikmodule zum Einbau in den Kanaldeckel

Hersteller	Typ	Leistung [mW]
Schott Solar	ASI 3 Oo 06/122/082 MF	511
Schott Solar	ASI 3 Oo 06/115/122 FP	738
Schott Solar	ASI 3 Oo 06/072/225 FP	838
Schott Solar	ASI 3 Oo 06/144/195 FP	1.420
Schott Solar	ASI 3 Oo 06/162/192	1.492

Grundsätzlich sind alle in der Tabelle 5.5 aufgelisteten Photovoltaikmodule für das Nachladen der Batterie des Datenloggers geeignet. Um jedoch eine möglichst hohe Energieausbeu-

te mittels des Photovoltaikmoduls zu erzielen, wurde das Photovoltaikmodul „**Schott Solar ASI 3 Oo 06/162/192**“ ausgewählt.

Für die Ermittlung der von dem Photovoltaikmodul erzeugten elektrischen Energie ist die mittlere Sonnenscheindauer zu Grunde zu legen. Hierfür wurde der Mittelwert der Sonnenscheindauer aus den Jahren 1961 bis 1990 [Deutscher Wetterdienst] herangezogen (vgl. Bild 5.2).

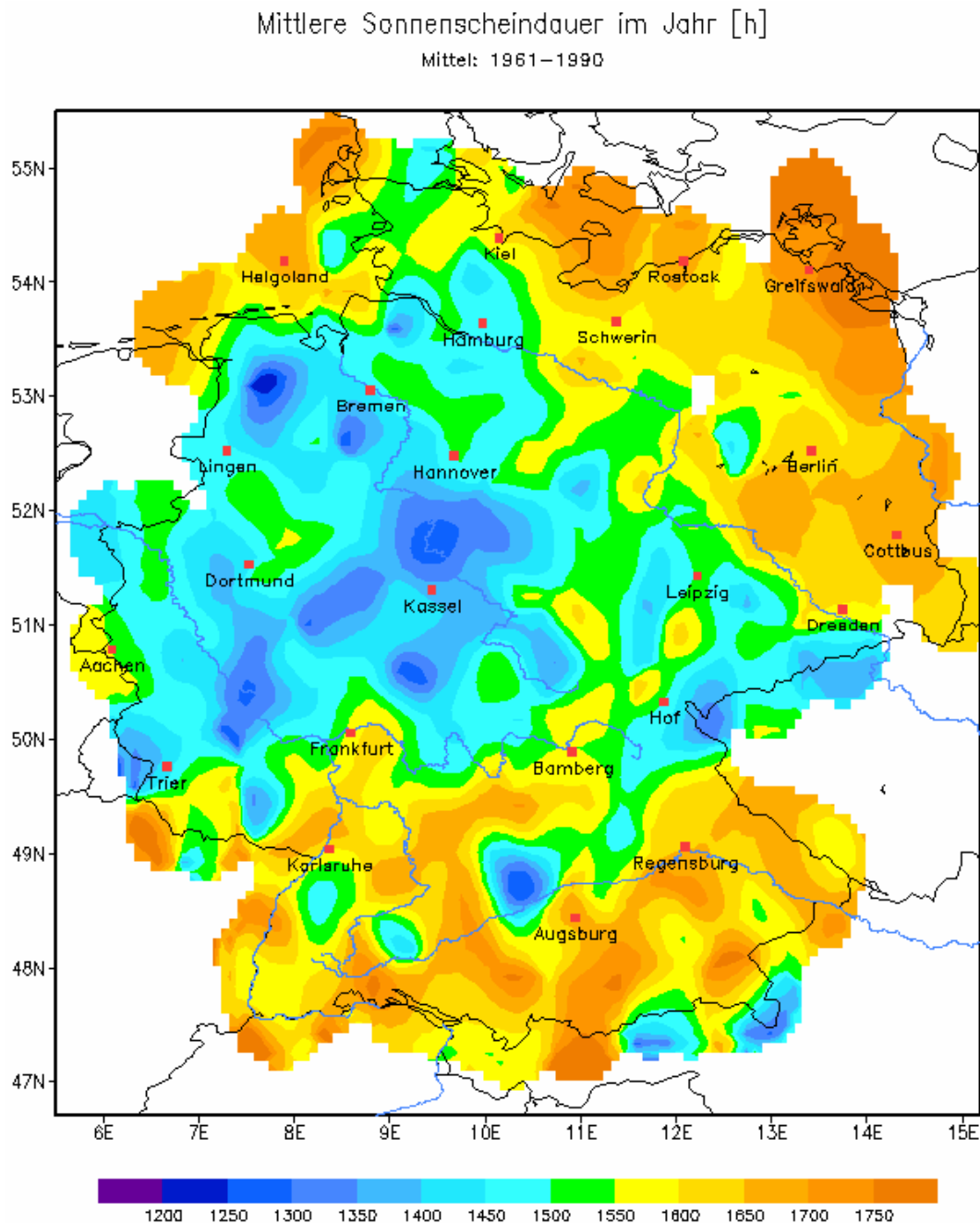


Bild 5.2 Durchschnittliche Sonnenscheindauer in Deutschland [DWD; <http://imkhp8.physik.uni-karlsruhe.de/~lacunosa/Artikel/sonne.html>]

Aus den Daten des Deutschen Wetterdienstes ist zu entnehmen, dass die Sonnenscheindauer in Deutschland im Gebietsmittel ca. 1540 Stunden/Jahr beträgt. Umgerechnet ergibt dies eine mittlere Sonnenscheindauer von ca. 4,2 Stunden pro Tag, sodass über das im Kanaldeckel integrierte Photovoltaikmodul eine mittlere Leistung von $1.492 \text{ mW} \cdot 4,2 \text{ h} = 6,30 \text{ W}$ pro Tag erzeugt werden kann. Damit ist im Mittel ein energieautarker Betrieb möglich.

Kritisch sind jedoch die Wintermonate Dezember und Januar zu bewerten: hier liegt die mittlere Sonnenscheindauer bei lediglich etwa 1,5 h/d, sodass eine Leistung von etwa 2,30 W/d verfügbar ist. Dies aber erlaubt nach wie vor eine energieautarke Messung ab einem Messintervall von etwa 3 min (vgl. Bild 5.3). Liegt die zeitliche Auflösung unterhalb dieses Wertes, ist zumindest eine erhebliche Standzeitverlängerung der Einrichtung und damit eine entsprechende Reduzierung des Wartungsaufwandes möglich.

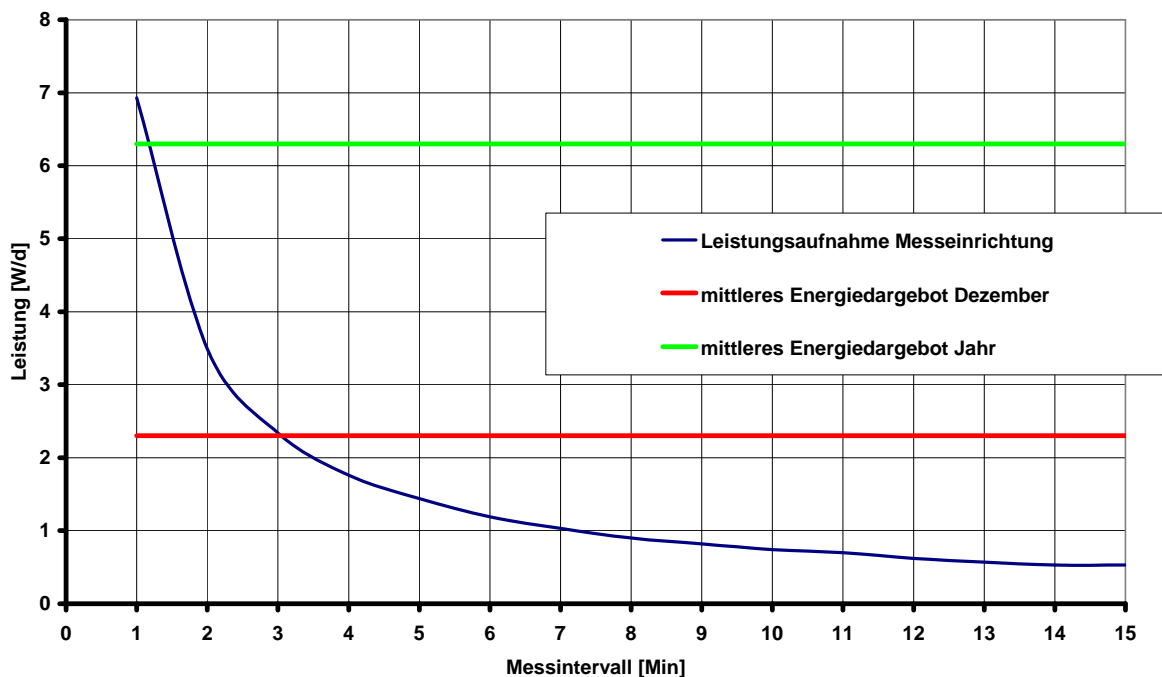


Bild 5.3 Gegenüberstellung von Energiebedarf und Energiedargebot in Abhängigkeit vom Messintervall und Sonnenscheindauer

Um das Photovoltaikmodul vor statischen und dynamischen Belastungen zu schützen (vgl. Bild 4.6, S. 32) ist es entweder in transparentes Kunstharz einzugießen oder mit entsprechend tragfähigen Glas zu sichern. Ergänzend sollte, um letztlich die gesamte Messeinheit zu sichern, die Schachtabdeckung verschließbar sein.

6 Integration einer Datenschnittstelle in die Schachtabdeckung

6.1 Kabelgebundene Datenübertragungsschnittstelle

Die Speicherung der über den Sensor erfassten Messwerte erfolgt in einem Datenlogger. Je nach Speicherkapazität und Messintervall liegt die Standzeit des Sensors bei mehreren Monaten. Über eine im Datenlogger integrierte USB-Schnittstelle können die Messdaten der mobilen Durchflussmessung auch bei fehlender Mobilfunkverbindung (GPRS-Verbindung, vgl. Abschnitt 6.2) mittels eines Notebooks oder MDA (Mobil Digital Assistant) ausgelesen werden (vgl. Bild 6.1).



Bild 6.1 MDA (Mobil Digital Assistant) zum Auslesen der Messwerte

Für das Auslesen der im Datenlogger abgespeicherten Messwerte ist die Kanalschachtabdeckung zu entfernen und das MDA mittels eines USB-Kabels an den Datenlogger anzuschließen. Die Messwerte werden dann auf dem MDA (Mobil Digital Assistant) übertragen. Die Übertragungszeit der Messwerte liegt je nach Datenumfang bei maximal etwa 5 Minuten.

Die auf dem MDA (Mobil Digital Assistant) übertragenen Durchflussmesswerte können dann auf einen PC übertragen und dort mittels Standardsoftware als Kurvenganglinien (Messwert/Zeitgrafik) sowie als Tages-, Monats- und Jahresprotokoll dargestellt und ausgewertet werden (siehe Bild 6.2).

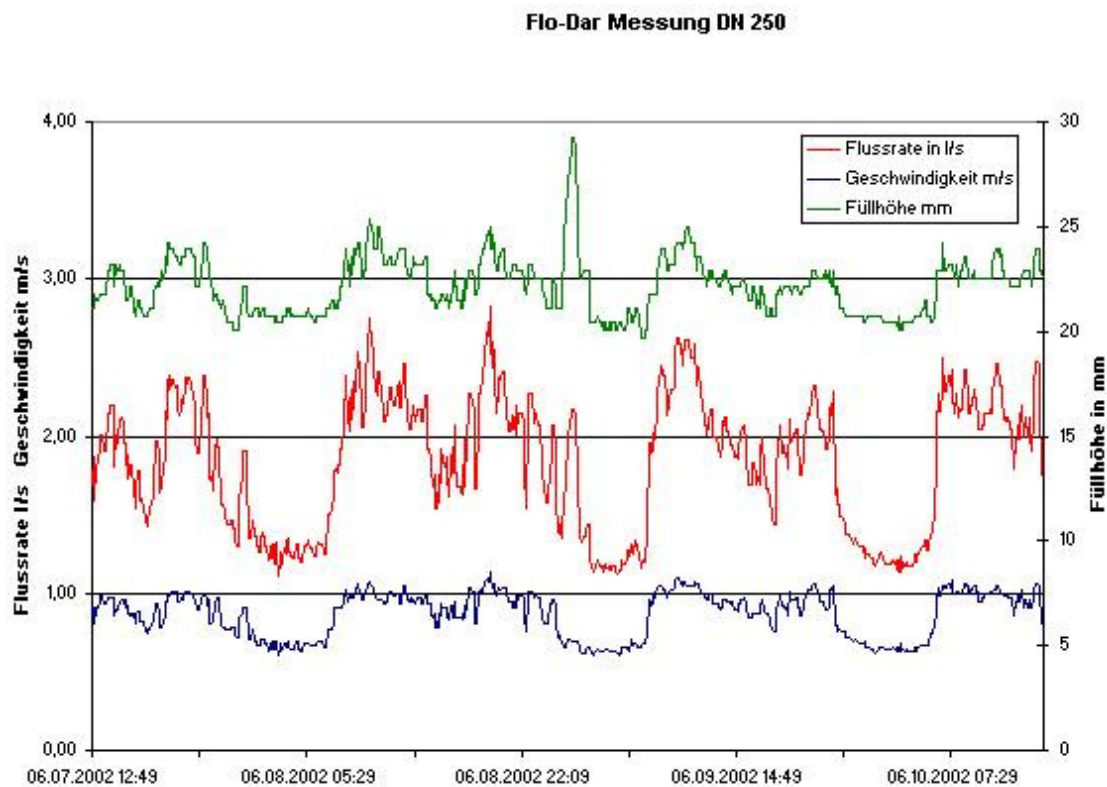


Bild 6.2 Darstellung der Messwerte Durchfluss, Fließgeschwindigkeit und Füllstand

6.2 Drahtlose Datenübertragungsschnittstelle

Ergänzend zur USB-Schnittstelle sollte die Messeinrichtung über ein integriertes GPRS-Funkübertragungsmodem ausgestattet werden. GPRS (General Packet Radio Service) ist eine Übertragungstechnik, bei der Daten in Form von Datenpaketen mit Datenübertragungsraten zwischen 50 und 100 KBit/s über eine Funkverbindung übertragen werden.

Mittels der GPRS-Datenübertragungstechnik ist es möglich, die im Datenlogger gespeicherten Messdaten einer oder mehrerer mobilen Durchflussmessungen über einen dezentral angeordneten PC über das GPRS-Funknetz von der Ferne auszulesen und die Messdaten auf dem PC zu übertragen. Die auf den PC übertragenen Durchflussmesswerte können dann dargestellt und ausgewertet werden (siehe Bild 6.2).

Zusätzlich ergibt sich die Möglichkeit, Warn- oder Fehlermeldungen, wie z.B. Sensorausfall oder sinkende Akkuleistung auf den Server (oder per SMS auf ein Mobiltelefon) zu übertragen. Eine routinemäßige Betreuung der Messstelle ist damit nicht mehr erforderlich.

6.3 Fazit

Es erscheint sinnvoll, eine mobile Durchflussmessung sowohl mit einer USB-Datenschnittstelle als auch mit einer GPRS-Datenübertragungseinrichtung auszustatten. Die GPRS-Datenübertragungseinrichtung und die USB-Datenschnittstelle sind dabei explosionsgeschützt zu gestalten (Atex-Zulassung, ATEX-Zone II 2G EEx ibm II BT4).

Die USB-Datenschnittstelle wird benötigt, wenn am Messort keine GPRS-Datenübertragung (fehlender Mobilfunkverbindung) möglich ist. Ansonsten werden die Messwertdaten mittels GPRS-Datenübertragung zu einem Server übertragen. Ein Anfahren der Messeinrichtung zur Datenauslese ist dann nicht erforderlich. Ergänzend können über dieses System auch Warnmeldungen (z. B. „Messwertaufnahme erfolgt nicht“, „Messwerte sind unplausibel“ oder „Akku nachladen“) übertragen werden und so direkt Gegenmaßnahmen eingeleitet werden.

Durch die Kombination der USB-Datenschnittstelle und der GPRS-Datenübertragungseinrichtung ist die mobile Durchflussmeseinrichtung an beliebigen Messorten flexibel einsetzbar. Der Nutzer muss nicht im Vorfeld prüfen, ob eine GPRS-Datenübertragung möglich ist, sondern kann dies direkt am Messort prüfen und ggf. die GPRS-Datenübertragung deaktivieren.

7 Einsatzempfehlungen

Eine mobile Durchflussmesseinrichtung besteht grundsätzlich aus den Komponenten:

- Messwertaufnehmer bzw. Sensor,
- Messwertumformer (Auswertegerät),
- Akku,
- Datenlogger (Datenspeicher) und
- Datenschnittstelle bzw. -übertragungseinrichtung.

Der Messsensor sollte berührungslos messen, um die hydraulische Leistungsfähigkeit des Kanals nicht zu reduzieren und um die Messung nicht durch Abwasserinhaltsstoffe (verzopfende Materialien, Geschiebe) zu beeinträchtigen. Hierfür kommen derzeit in Betracht:

- Flo-Dar Sensor [GWU 2007] oder
- Ultraschall-Wasserstandsmessung, sofern im Vorfeld die Q-h-Beziehung z.B. im Rahmen einer Messkampagne ermittelt wurde.

Aufgrund der geometrischen und hydrometrischen Randbedingungen (vgl. insb. Abschnitt 4) erscheint es nicht sinnvoll, den Sensor in den Schachtdeckel bzw. Schmutzfänger zu integrieren. Vielmehr ist eine Montage in der Nähe der Wasseroberfläche erforderlich. Dies kann z.B. über ein Gestänge erfolgen, das in die Steigeisen eingehängt und arretiert wird (vgl. Bild 7.1). Das mobile Montagegestell ist in diesem Beispiel teleskopartig ausziehbar, so dass der Einsatz in unterschiedlich tiefen Schächten (Tiefe des Schachts zwischen ca. 2 und 10 m) möglich ist.

Um den Messwertaufnehmer optimal in der Mitte des Gerinnes positionieren zu können, ist auch der horizontal am Montagegestänge montierte Ausleger mit Aufnehmer für den Messwertaufnehmer verstellbar ausgeführt (Länge des Auslegers ca. 0,5 bis 1,5 m). Alternativ ist vorstellbar, Haltevorrichtungen für Einstieghilfen zu verwenden, um den Sensor zu arretieren oder aber das Gerät im Schacht zu verspannen. Die übrigen Komponenten sollten in einen Schmutzfänger integriert werden. Dies erlaubt die kabelgebundene Datenauslese sowie ggf. den erforderlichen Akkuaustausch, ohne den Schacht besteigen zu müssen (vgl. Bild 7.2). Sofern Messwertumformer und Messsensor mit einer Standardschnittstelle (z.B. 4 – 20 mA Signal) versehen sind, besteht zudem die Möglichkeit, den so ausgestatteten Schmutzfangkorb mit anderen Sensorsystemen (z.B. Ultraschall-Doppler-Verfahren) zu kombinieren. Zur

Datenauslese empfiehlt sich, die Einheit mit einer USB-Schnittstelle und einer GPRS-Datenübertragung auszustatten. In diesem Fall sollten auch Fehler- und Warnmeldungen an die Zentrale gesendet werden, um Ausfallzeiten des Systems zu minimieren.

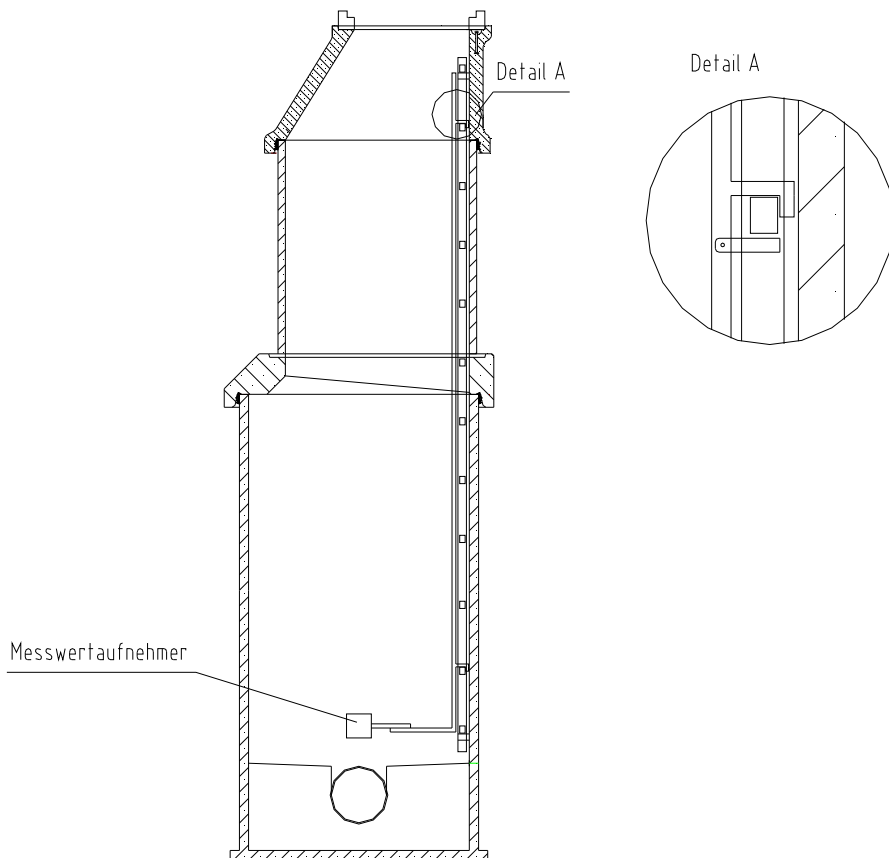


Bild 7.1 Montage Messwertaufnehmer mittels des mobilen Montagegestells

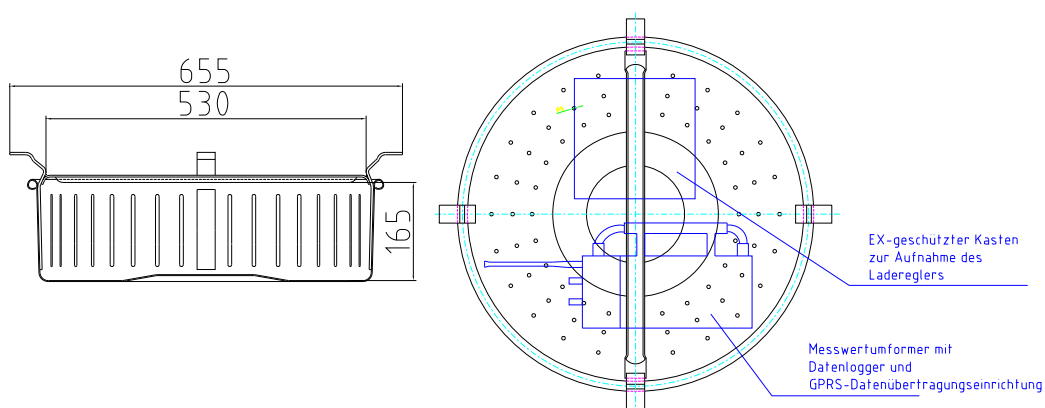
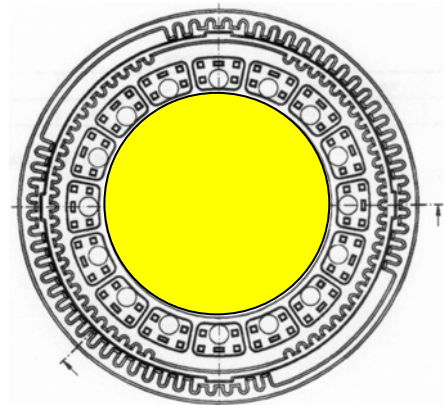
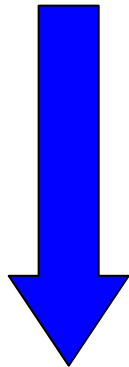


Bild 7.2 Modifizierter Schmutzfang zur Aufnahme des Messwertumformers mit Datenlogger und GPRS-Datenübertragungseinrichtung einschließlich des ex-geschützten Gehäuses zur Aufnahme des Ladereglers

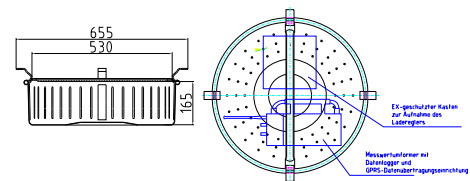
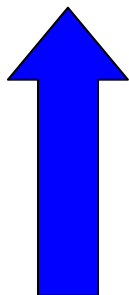
Ergänzend bietet es sich an, den Betonkern des Schachtdeckels mit Solarzellen auszustatten. Selbst für den Fall, dass die Belichtung der Zellen z. B. durch ruhenden oder fließenden Verkehr behindert wird, wird eine erhebliche Standzeitverlängerung der Messeinrichtung ermöglicht.

Zusammenfassend wird empfohlen, ein Drei-Komponenten System aus

- Schachtdeckel mit Photovoltaik



- Schmutzfangkorb mit Messwertumformer, Datenlogger, Akku, USB



- Messsensor
Radar oder
Ultraschall-Höhenmessung bei bekannter Q-h-
Beziehung



zu entwickeln. Um höchstmögliche Flexibilität zu erlangen, sollten diese Komponenten so gestaltet werden, dass sie frei miteinander oder mit anderen Messsensoren kombiniert werden können.

8 Literatur

ACO Tiefbau Vertrieb GmbH: CAD-Zeichnung Schmutzfang

Alphacan: Firmeninformation Alphacan Omniplast GmbH, 35627 Ehringhausen.

ATV (1978): ATV-A 241: Bauwerke der Ortsentwässerung – Empfehlungen und Hinweise; ATV; 1978

ATV-Arbeitsgruppe 1.2.5 (1987): „Quantitative und qualitative Abflussmessung“: Arbeitsbericht zur quantitativen Durchflussmessung; erschienen in Korrespondenz Abwasser (Jahrgang 34, S. 1205 – 1214); November 1987.

Benesch, A. (1999): Durchflussmessung auf Kläranlagen mittels der Fluoreszenztracerverdünnungsmethode; Diplomarbeit an der Fakultät für Bauingenieurwesen der Ruhr-Universität Bochum, Arbeitsgruppe Leitungsbau und Leitungsinstandhaltung; April 1999.

Bosseler, B.; Bennerscheidt, C.; Bartel, M. (2002): Eignungsprüfung von Verfahren zur Sanierung von Schachtabdeckungen. IKT - Institut für Unterirdischen Infrastruktur, Gelsenkirchen, November 2002; Gefördert durch das Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz NRW; download: www.ikt.de

Bosseler, B.; Birkner, T. (2003): Durchflussmessung auf Kläranlagen – auf Grundlage der zu novellierenden SüwV NRW. Abschlussbericht, IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur, Gelsenkirchen, Dezember 2003; download: www.ikt.de.

Dallwig, H.J. (1996): Die Hauptgruppen von Durchflußmessverfahren; Manuskript zum Intensivkurs „Kontrolle von Durchflussmessungen auf Kläranlagen“; Kassel Mai 1996.

DIN 1211-1 (2003a): Steigeisen für zweiläufige Steigeisengänge - Teil 1: Steigeisen zum Einmauern oder Einbetonieren. 2003-05, Beuth-Verlag

DIN 1212-1 (2003b): Steigeisen mit Aufkantung für zweiläufige Steigeisengänge - Teil 1: Steigeisen zum Einmauern oder Einbetonieren. 2003-05, Beuth-Verlag

DIN 19537-3 (1990): Rohre und Formstücke aus Polyethylen hoher Dichte (PE-HD) für Abwasserkanäle und –leitungen; Fertigschächte; Maße, Technische Lieferbedingungen. November 1990.

DIN 19549 (1989): Schächte für erdverlegte Abwasserkanäle und –leitungen, Allgemeine Anforderungen und Prüfungen, Beuth Verlag, 1989

- DIN 19555 (2003c): Steigeisen für einläufige Steigeisengänge - Steigeisen zum Einbau in Beton. 2003-04, Beuth-Verlag.
- DIN 4034-1 (1993): Schächte aus Beton- und Stahlbetonfertigteilen; Schächte für erdverlegte Abwasserkanäle und -leitungen; Maße, Technische Lieferbedingungen. September 1993.
- DIN 4034-10 (1995): Schächte aus Beton- und Stahlbetonfertigteilen – Teil 10. Schachtunterteile aus Mauerwerk für erdverlegte Abwasserkanäle und -leitungen; Anforderungen und Prüfungen, Ausgabe:1995-10.
- DIN EN 124 (1994): Aufsätze und Abdeckungen für Verkehrsflächen - Baugrundsätze, Prüfungen, Kennzeichnung, Güteüberwachung; Deutsche Fassung EN 124:1994
- DIN EN 13101 (2002): Steigeisen für Steigeisengänge in Schächten - Anforderungen, Kennzeichnung, Prüfung und Beurteilung der Konformität. 2003-04, Deutsche Fassung EN 13101: 2002, Beuth-Verlag
- DVGW-Regelwerk, Arbeitsblatt W 420 (1990): Wasserverteilung, Wassermessung – Magnetisch-induktive Durchflussmessung - MID-Geräte; September 1990.
- DWA (2006): DWA-A 110: Hydraulische Dimensionierung und Leistungsnachweis von Abwasserleitungen und -kanälen. August 2006, DWA – Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., Hennef.
- Ersol Solar Energie AG: Datenblätter Solarzellen
- EuroCeramic GmbH: CAD-Zeichnungen Schachtbauwerk
- GE-Panametrics (2002): Bedienungsanleitung PT878 - Transportables Ultraschalldurchflussmessgerät; Firma GE-Panametrics; Oktober 2002.
- GWU (2007): Internetauftritt der Fa. GWU-Umwelttechnik, Stand 19. September 2007: <http://www.gwu-group.de/umwelttechnik/index.html>
- Haider, S. (1991): Durchflussmessung in Abwasserkanälen mittels Fluoreszenztracer; Diplomarbeit am Institut für Wasserversorgung, Gewässergüte und Fischereiwirtschaft; Abteilung Siedlungswasserbau, Industriebwasserwirtschaft und Gewässerschutz an der Universität für Bodenkultur in Wien; Juni 1991.
- Hassinger, R. (1993): Induktive Durchflussmessung in Abwasseranlagen; Beitrag erschienen in „Magnetisch-Induktive Durchflussmessung auf Kläranlagen – Grundlagen und

Anwendung; herausgegeben vom Fachgebiet Siedlungswasserwirtschaft der Universität Kassel; F. Hirthammer Verlag, München 1993.

König, F. (1902): Anlage und Ausführung von Städte-Kanalisation. Verlag von Otto Wigand, Leipzig 1902.

Melzer Solar & Windenergie: Datenblätter Solarmodule

Merlein, J. (2002): Einfluss der Strömung in Schächten auf die Leistungsfähigkeit von eingestauten Abwasserkanälen. Dissertation am Lehrstuhl für Hydraulik und Gewässerkunde der Technischen Universität München.

Müller, K.; Hüben, S.; Trujillo Alvarez, R.; Lipkow, A.; Hochstrate, K. (2005): Untersuchung der Nutzungsdauer von Abwasserleitungen im öffentlichen Bereich; Abschlussbericht Institut für Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen (ISA), 05/2005, (unveröffentlicht)

NIVUS GmbH (2004): Betriebsanleitung für das portable Durchflussmessgerät PCM Pro. PCM Pro – Rev.02 vom 03.09.2004.

Puhl, R. (2007): Handbuch Schacht 2007. Herausgeber: IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur gGmbH, Gelsenkirchen

Schneider, K.-J. (1990): Bautabellen mit Berechnungshinweisen und Beispielen. Werner-Verlag, Düsseldorf

Schott Solar GmbH: Datenblätter, Solarzellen und Solarmodule

Stein, D. (1998): Instandhaltung von Kanalisationen, Ernst & Sohn Verlag, Berlin, 1998

Systech (2007): Systech Systemtechnik GmbH: Produktinformation zur Messschacht-Steckrinne. <http://www.systech-gmbh.de/download/pdf/durimess.pdf>

VDI/VDE 2641 (1985): Magnetisch-induktive Durchflussmessung; VDI-Verlag GmbH; Düsseldorf, Juli 1985.

Weischer (2007): Internetauftritt der Fa. Weischer GmbH, Olfen, Stand 19. September 2007: www.schachtausruestung.de