

## Abschlußbericht

# Drehbogen Pilotprojekt Dresden-Leuben

vom 07.02.1994 bis 31.01.1996



Auftraggeber/Erfinder:	Dipl.-Ing. G. Kupczik / Kupczik Ingenieurbüro
Bearbeiter:	Prof.Dr.-Ing.habil. K. Lützner / TU Dresden Dipl.-Ing. M. Barth / TU Dresden
wiss. Beratung:	Doz. Dr.-Ing.habil. H. Grothkopp / Philipp Holzmann AG Neu-Isenburg
gefördert durch:	Deutsche Bundesstiftung Umwelt

## Inhaltsverzeichnis

1.	Vorstellung des Projektes .....	-1-
2.	Der Drehbogen - Funktionsprinzip und technische Daten .....	-1-
3.	Beschreibung des durch den Drehbogen bewirtschafteten Einzugsgebietes	-6-
4.	Beschreibung der Versuchsanlage .....	-11-
4.1.	Eingesetzte Meßgeräte .....	-11-
4.2.	Durchführung der Messungen .....	-14-
5.	Untersuchungsprogramm .....	-18-
6.	Nutzung der Drehbogentechnologie zur Stauraumbewirtschaftung .....	-19-
6.1.	Allgemeines .....	-19-
6.2.	Ermittlung des durch den Drehbogen aktivierbaren Stauvolumens bei Trockenwetterabfluß .....	-20-
6.3.	Ermittlung des durch den Drehbogen aktivierbaren Stauvolumen bei Mischwasserabfluß .....	-22-
6.4.	Bewertung des Entwässerungsverhaltens des durch den Drehbogen bewirtschafteten Kanalnetzes in Dresden-Leuben .....	-23-
7.	Nutzung des Drehbogens zur Kanalreinigung .....	-28-
7.1.	Allgemeines .....	-28-
7.2.	Bewertungskriterien für das Reinigungsvermögen mit Spülung .....	-29-
7.2.1.	Schubspannung im Oberwasser des Drehbogens .....	-31-
7.2.2.	Schubspannung im Unterwasser des Drehbogens .....	-35-
7.2.3.	Fließgeschwindigkeiten im Oberwasser des Drehbogens während der Spülung .....	-39-
7.2.4.	Fließgeschwindigkeiten im Unterwasser des Drehbogens während der Spülung .....	-39-

7.3.	Ablagerungsmessungen .....	-44-
7.3.1.	Bedeutung der Ablagerungen .....	-44-
7.3.2.	Ablagerungen im Oberwasser des Drehbogens .....	-44-
7.3.3.	Ablagerungen im Unterwasser des Drehbogens .....	-46-
7.4.	Schlußfolgerungen .....	-56-
8.	Einschätzung der Gefährdung durch Schwefelwasserstoff infolge Bewirtschaftung .....	-58-
8.1.	Schwefelwasserstoff in der Kanalisation .....	-58-
8.2.	Örtliche Bedingungen in Dresden-Leuben .....	-60-
8.3.	Einstauversuche .....	-68-
8.4.	Wertung der Ergebnisse .....	-69-
9.	Einfluß der Kanalnetzbewirtschaftung des Einzugsgebietes Dresden-Leuben mit einem Drehbogen auf den Schmutzfrachttransport	-69-
9.1.	Bedeutung der Schmutzfracht .....	-69-
9.2.	Schmutzfracht des Trockenwetterabflusses .....	-71-
9.3.	Ermittlung des Schmutzfrachtpotentiales der Sielhaut .....	-73-
9.4.	Ablagerungen und ihr Schmutzfrachtpotential .....	-77-
9.5.	Schmutzfracht von Mischwasserabflüssen .....	-77-
9.6.	Schlußfolgerungen für eine Kanalnetzbewirtschaftung .....	-79-
10.	Steuerung eines Kanalnetzes .....	-84-
10.1.	Allgemeines .....	-84-
10.2.	Formen der Steuerung und Grundbegriffe .....	-85-
11.	Voraussetzung für die Umsetzung einer Kanalnetzsteuerung .....	-89-
11.1.	Allgemeines .....	-89-

11.2.	Steuerziel .....	-89-
11.3.	Stellglieder .....	-90-
11.4.	Meßgrößen .....	-92-
11.5.	Datenübertragung und -sicherheit .....	-96-
11.6.	Restriktionen .....	-97-
11.7.	Datenbasis .....	-97-
11.8.	Methoden zur Realisierung der Steuerung eines Kanalnetzes - Entwicklung eines Steueralgorithmus .....	-98-
11.8.1.	Allgemeines .....	-98-
11.8.2.	Heuristische Verfahren .....	-99-
11.8.3.	Optimierungsverfahren .....	-99-
12.	Das Regelsystem des Drehbogens in Dresden-Leuben .....	-101-
12.1.	Allgemeines .....	-101-
12.2.	Schema der Steuerung am Drehbogen Dresden-Leuben .....	-101-
12.3.	Steuerziele für das Einzugsgebiet Dresden-Leuben .....	-102-
12.4.	Input für die Steuerung .....	-102-
12.5.	Restriktionen .....	-105-
12.6.	Datenbasis des zu bewirtschaftenden Kanalnetzes .....	-105-
12.7.	Realisierung von Steuerzielen in Dresden-Leuben .....	-106-
12.8.	Weiterführende Aufgaben für die Steuerung mit dem Drehbogen in Dresden Leuben .....	-119-
13.	Beurteilung der Betriebssicherheit des Drehbogens nach einjährigem Versuchsbetrieb .....	-119-
14.	Zusammenfassung und Ausblick .....	-121-
15.	Literatur .....	-123-

## Abbildungsverzeichnis

Bild 1:	Funktionsprinzip Drehbogen.....	1
Bild 2:	Drehbogen mit Grundplatte.....	3
Bild 3:	Der Drehbogen beim Einbau; Blick auf die Antriebseinrichtung des Drehbogens.....	4
Bild 4:	Torsionskompensatoren.....	5
Bild 5:	Stauhöhe, Neigung und Tangentialgeschwindigkeit des Drehbogens in Abhängigkeit von der Zeit.....	6
Bild 6:	Stadtplan Dresden mit Drehbogen.....	8
Bild 7:	Einzugsgebiet des Drehbogens.....	9
Bild 8:	Einordnung des Drehbogens.....	9
Bild 9:	Netzplan des Oberwassereinzugsgebietes des Drehbogens.....	10
Bild 10:	Schema der Meßwerterfassung am Drehbogen Dresden Leuben.....	12
Bild 11:	Regenschreiber nach Wippenprinzip .....	13
Bild 12:	Online-Meßwerterfassung in Dresden Leuben (Wasserstand, Fließgeschwindigkeit, Bogenstellwinkel, Niederschlagshöhe).....	14
Bild 13:	Wasserstands- und Geschwindigkeitsmessung im Oberwasser des Drehbogens.....	15
Bild 14:	Geschwindigkeitsprofile am Regenüberlauf oberhalb des Drehbogens und am "Garten 50".....	16
Bild 15:	Aufbau des Ablagerungsmeßgerätes DVE.....	16
Bild 16:	Napfleiste.....	18
Bild 17:	Einfluß der Winkelstellung des Drehbogens auf das aktivierbare Stauvolumen.....	21
Bild 18:	Der Sollabfluß als Funktion des aktivierbaren Stauvolumens; (Drehbogenneigung 90° und Variation der Überfallhöhe).....	22

Bild 19:	Abhängigkeit der Heberwirkung des Drehbogens von seiner Neigung (Bezugswasserstand $h_{r\ddot{u}}$ am RÜ KA Leuben.....	26
Bild 20:	Infiltration von Grundwasser im Unterwasser des Drehbogens.....	27
Bild 21:	Erosionsschäden im Oberwasserkanal des Drehbogens.....	32
Bild 22:	Schubspannungsverlauf in Abhängigkeit von der Drehbogenneigung; Standort RÜ KA Leuben; Spülung in den TW-gefüllten Kanal.....	33
Bild 23:	Schubspannungsverlauf in Abhängigkeit von der Drehbogenneigung; Standort RÜ KA Leuben; Spülung in den leeren Kanal.....	34
Bild 24:	Schubspannungsverlauf bei einer Spülung in den TW-gefüllten Kanal in Abhängigkeit von der Winkelstellung des Drehbogens.....	36
Bild 25:	Schubspannungsverlauf bei einer Spülung in den leeren Kanal in Abhängigkeit von der Winkelstellung des Drehbogens.....	37
Bild 26:	Fließgeschwindigkeitsverlauf in Abhängigkeit von der Drehbogenneigung; Standort RÜ KA Leuben; Spülung in den TW-gefüllten Kanal.	40
Bild 27:	Fließgeschwindigkeitsverlauf in Abhängigkeit von der Drehbogenneigung; Standort RÜ KA Leuben; Spülung in den TW-gefüllten Kanal.	41
Bild 28:	Fließgeschwindigkeitsverlauf bei einer Spülung in den TW-gefüllten Kanal in Abhängigkeit von der Winkelstellung des Drehbogens.....	42
Bild 29:	Fließgeschwindigkeitsverlauf bei einer Spülung in den leeren Kanal in Abhängigkeit von der Winkelstellung des Drehbogens.....	43
Bild 30:	Gesamtübersicht der Ablagerungsmeßstrecken im Unterwasser des Drehbogens.....	45
Bild 31:	Absolute Ablagerungshöhe Strecke 77.04-77.05.....	48
Bild 32:	Absolute Ablagerungshöhe Strecke 77.05-77.07.....	49
Bild 33:	Absolute Ablagerungshöhe Strecke 77.07-77.10.....	51
Bild 34:	Absolute Ablagerungshöhe Strecke 77.10-77.13.....	52
Bild 35:	Absolute Ablagerungshöhe Strecke 77.13-77.15.....	53
Bild 36:	Absolute Ablagerungshöhe Strecke 77.15-1.01.....	54
Bild 37:	Körnungsverteilung der Sedimente.....	55

Bild 38:	Tagesganglinie 07.09.1995 Dresden Leuben (Q, CSB).....	61
Bild 39:	Tagesganglinie 07.09.1995 Dresden Leuben (Q, SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ).....	62
Bild 40:	Stichprobe Sauerstoff Dresden Leuben 07.09.1995.....	63
Bild 41:	Stichprobe pH-Wert Dresden Leuben 07.09.1995.....	63
Bild 42:	Sulfidgehalt in der Gasraumsielhaut (EZG Dresden Leuben).....	65
Bild 43:	Sulfidgehalt in der Wassersielhaut (EZG Dresden Leuben).....	66
Bild 44:	Sulfidgehalt in Sediment (EZG Dresden Leuben).....	67
Bild 45:	Tagesganglinie 07.09.1995 Dresden Leuben Q, CSB_Fracht.....	71
Bild 46:	CSB-Belastung der Kanalsielhaut (EZG Dresden Leuben).....	76
Bild 47:	CSB-Belastung des Kanalsedimentes (EZG Dresden Leuben).....	78
Bild 48:	CSB-Schichtung Mischwasserabfluß 16.08.1995 Dresden Leuben hn = 13,1 mm.....	80
Bild 49:	CSB-Schichtung Mischwasserabfluß 14.08.1995 Dresden Leuben hn = 6,3 mm.....	81
Bild 50:	CSB-Fracht Mischwasserabfluß 16.08.1995 Dresden Leuben hn = 13,1 mm.....	82
Bild 51:	CSB-Fracht Mischwasserabfluß 14.08.1995 Dresden Leuben hn = 6,3 mm.....	83
Bild 52:	Schema einer Steuerung.....	86
Bild 53:	Schema einer Regelung.....	86
Bild 54:	Schema einer lokalen Steuerung.....	87
Bild 55:	Schema einer Verbundsteuerung.....	88
Bild 56:	Steuerungsschema am Drehbogen Dresden Leuben.....	101
Bild 57:	Meßeinrichtungen zur lokalen Steuerung des Drehbogens in Dresden Leuben.....	102
Bild 58:	Abflußganglinien am RÜ KA Leuben (Trockenwetter).....	107
Bild 59:	Wasserstandsganglinien am RÜ KA Leuben (Trockenwetter).....	108
Bild 60:	Verlauf des Wasserstandes am RÜ KA Leuben während der Ent- leerung des mit Trockenwetterabfluß aktivierten Kanalstauraumes.....	109

Bild 61:	Verlauf des Wasserstandes am RÜ KA Leuben bei Trockenwettereinstau.....	110
Bild 62:	Niederschlag-Abflußgeschehen Dresden Leuben 16.08.1995 hn = 31,1 mm.....	111
Bild 63:	Niederschlag-Abflußgeschehen Dresden Leuben 14.08.1995 hn = 6,3 mm.....	112
Bild 64:	Einsatz des Drehbogens zur Kanalnetzspülung.....	113
Bild 65:	Bewirtschaftung von Sollabflüssen (const. oder variabel).....	115
Bild 66:	Maximale Speicherung des Mischwasserabflusses.....	116
Bild 67:	Bewirtschaftung von Mischwasserabflüssen nach Ganglinienauswertung.....	117
Bild 68:	Speicherung des Trockenwetterabflusses bei Regen in Nachbar-einzugsgebieten.....	118
Bild 69:	Innenwand des Torsionskompensators.....	120



## Symbolverzeichnis

DVE -	Dükervermessungseinheit
RÜ	Regenüberlauf
KA	Kläranlage
TW	Trockenwetterabfluß
RW	Regenwasserabfluß
MW	Mischwasserabfluß
h	Wasserstand [m]
h_rü	Wasserstand am Regenüberlauf [m]
hstau	Stauhöhe [m]
hstau_max	maximale Stauhöhe [m]
hstau_min	minimale Stauhöhe [m]
hü	Überfallhöhe [m]
hü_max	maximale Überfallhöhe [m]
hü_min	minimale Überfallhöhe [m]
htw_voll	maximaler Wasserstand bei TW-Einstau [m]
ho	Oberwasserstand [m]
hu	Unterwasserstand [m]
hs	Wasserstand Salzburger Str. [m]
Q	Abfluß [m <sup>3</sup> /s]
Q_rü	Abfluß am Regenüberlauf Leuben [m <sup>3</sup> /s]
Qu	Unterwasserabfluß [m <sup>3</sup> /s]
Qs	Abfluß Salzburger Str. [m <sup>3</sup> /s]
Q <sub>Speicher</sub>	zwischengespeicherter Abfluß [m <sup>3</sup> /s]
Q <sub>m,krit</sub>	kritischer Mischwasserabfluß [m <sup>3</sup> /s]
Q <sub>s</sub>	Schmutzwasser [m <sup>3</sup> /s]
Q <sub>f</sub>	Fremdwasser [m <sup>3</sup> /s]
Q <sub>t</sub>	Trockenwetterabfluß [m <sup>3</sup> /s]
Q <sub>d</sub>	Drosselabfluß [m <sup>3</sup> /s]
v	Fließgeschwindigkeit [m/s]

$v_{zul}$	zulässige Grenzgeschwindigkeit [m/s]
EZG	Einzugsgebiet
hn	Niederschlagshöhe [mm]
$V_{ab\_leer}$	statische Kanalstauvolumen durch Integration des Abflusses in den leeren Unterwasserkanal ermittelt [m <sup>3</sup> ]
$V_{ab\_tw}$	statische Kanalstauvolumen durch Integration des Abflusses in den TW-gefüllten Unterwasserkanal ermittelt [m <sup>3</sup> ]
$V_{stau}$	statische Kanalstauvolumen durch Integration über die Stauzeit [m <sup>3</sup> ]
k	hydraulische Rauigkeit [mm]
$\lambda$	Rohrreibungsbeiwert
$\tau$	Schleppspannung [N/m <sup>2</sup> ]
$\tau_{krit}$	kritische Schleppspannung [N/m <sup>2</sup> ]
$\rho$	Dichte [kg/m <sup>3</sup> ]
Re	Reynoldszahl
R	hydraulischer Radius [m]
$\nu$	kinematische Viskosität [m <sup>2</sup> /s]
$d_k$	einheitlicher Korndurchmesser [mm]
t	Zeit [s]
RN	Regenschreiber Nickern
RL	Regenschreiber Leuben
RH	Regenschreiber Hosterwitz

## 1. Vorstellung des Projektes

Das Projekt "Untersuchungen zur Abflußsteuerung in der Stadtentwässerung am Beispiel des Drehbogens - Erprobung des Drehbogens in Dresden Leuben" wird im Auftrag des Hamburger Ingenieurbüros Kupczik bearbeitet. Die Grundlagenforschung wurde von Herrn Dipl.-Ing. G. Kupczik durchgeführt, der gleichzeitig die Patentrechte an der Drehbogentechnik besitzt. Die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (Osnabrück) fördert das Projekt. Das Ziel der Untersuchungen besteht im hydrodynamischen und technologischen Nachweis der Funktionssicherheit eines Drehbogens zur Abfluß- und Speichersteuerung. Am Projekt sind das Institut für Wasserbau und Technische Hydromechanik sowie das Institut für Siedlungs- und Industrierwasserwirtschaft der TU Dresden beteiligt. Das Institut für Wasserbau und Technische Hydromechanik befaßte sich vor allem mit hydraulischen Untersuchungen am Drehbogen. Das Institut für Siedlungs- und Industrierwasserwirtschaft übernahm seit dem 26.08.1994 die wissenschaftliche Begleitung des Pilotdrehbogens.

## 2. Der Drehbogen - Funktionsprinzip und technische Daten

Der Drehbogen ist eine aus drei entgegengesetzten Rohrkrümmern bestehende Röhre, welche um die Achse gedreht werden kann (Bild 1). Dabei wird die Rohrsohle des Bogens über die Kanalsohle gehoben. Der Stellwinkel  $\beta$  des Bogens gegenüber der Horizontalen beträgt 0 bis 90°.

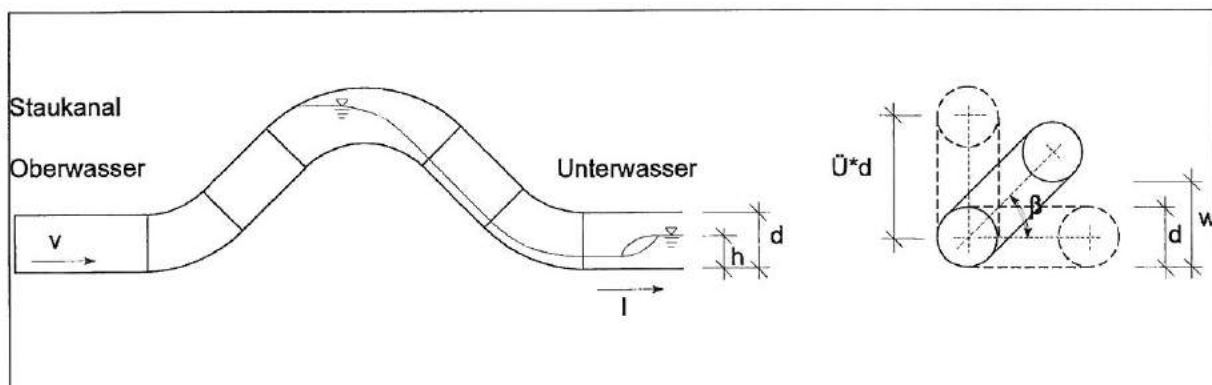


Bild 1: Funktionsprinzip Drehbogen

Neben der horizontalen Stellung ( $\beta = 0^\circ$ ) können grundsätzlich zwei Betriebszustände unterschieden werden:

a) *Heben des Bogens* : Durch das Anheben des Bogens wird die Überfallhöhe im Scheitel des Drehbogens reduziert, womit sich der Abfluß vom Oberwasser in das Unterwasser verringert. Die Aktivierung von Kanalstauraum erfolgt durch die angehobene Kanalsole im Drehbogen und dem damit verbundenen Rückstau. Im vorhandenen Kanalnetz kann somit Abwasser zwischengespeichert und die Belastung der Vorfluter im Unterwasser durch Direkteinleitungen (Regenüberläufe) herabgesetzt werden.

b) *Senken des Bogens* : Wenn das Kanalnetz im Unterwasser ausreichend Kapazität hat, das im Oberwasser gespeicherte Abwasser zur Kläranlage weiterzuleiten oder wenn der Mischwasserzufluß so groß ist, daß durch das Anheben der Staulinie Überstauschäden im Oberwasser entstehen können, wird der Drehbogen gesenkt. Ein weiterer Effekt neben der Verzögerung des Abflusses kann durch Remobilisierung von Ablagerungen infolge der vergrößerten Abflüsse und Fließgeschwindigkeiten erreicht werden.

Der Drehbogen zeichnet sich durch folgende Eigenschaften aus:

- Steuerung des Abflusses über die Veränderung der Überfallhöhe (vollkommener Überfall),
- hohe Betriebszuverlässigkeit,
- wartungsarm,
- Humanisierung der Betriebs- und Wartungsarbeiten,
- verstopfungssicher, da der Fließquerschnitt nicht reduziert wird,
- Aktivierung von in der Kanalisation vorhandenem Stauvolumen durch Anheben des Drehbogens,
- Nutzung des aufgestauten Wassers zur Kanalreinigung mit Spülung,
- Eignung für den automatischen Betrieb.



Bild 2: Drehbogen mit Grundplatte

Die Pilotdrehbogenanlage wurde am 26.08.1994 dem Institut für Siedlungs- und Industrierwasserwirtschaft zur Erprobung übergeben. Bild 2 zeigt den Drehbogen mit Grundplatte.

Die nachfolgenden technischen Details waren zur Realisierung des ersten Drehbogens erforderlich.

#### *Rohrbogen*

Das Herzstück der Anlage besteht aus drei gegenläufigen Stahlrohrkrümmern mit einem Durchmesser von 1,2 m, die mittels gerader Anschluß- und Verbindungsstücke zu einer Einheit verschweißt sind. Zur Verstärkung sind Rippen aufgeschweißt, an den Enden befinden sich Flansche zum Anschluß der Dichtungen.

#### *Lagerung*

Der Bogen ist über geteilte Klemmnaben kraftschlüssig mit einer zentral gelagerten Welle verbunden. Die geteilten Klemmnaben erlauben einen Ausbau der Welle unter Betriebsbedingungen.

### *Grundrahmen*

Alle Einzelteile, wie Getriebe, Lager, Bandbremse, sind auf einem gemeinsamen Stahlrahmen aufgebaut. Damit kann der Drehbogen als fertig montierte Einheit eingebaut werden.

### *Antrieb*

Der Getriebemotor mit einer Übersetzung von 1702:1 hat eine Leistung von 2,2 KW. Mit einer Ausgleichkupplung wird das Drehmoment auf eine zweifach gelagerte Ritzelwelle mit Bandbremse übertragen. Die Kraftübertragung auf den Rohrbogen erfolgt über eine weitere Verzahnung, bestehend aus einer Ritzelwelle und einem Quadranten (Bild 3) mit einem Übersetzungsverhältnis von 8,7:1.

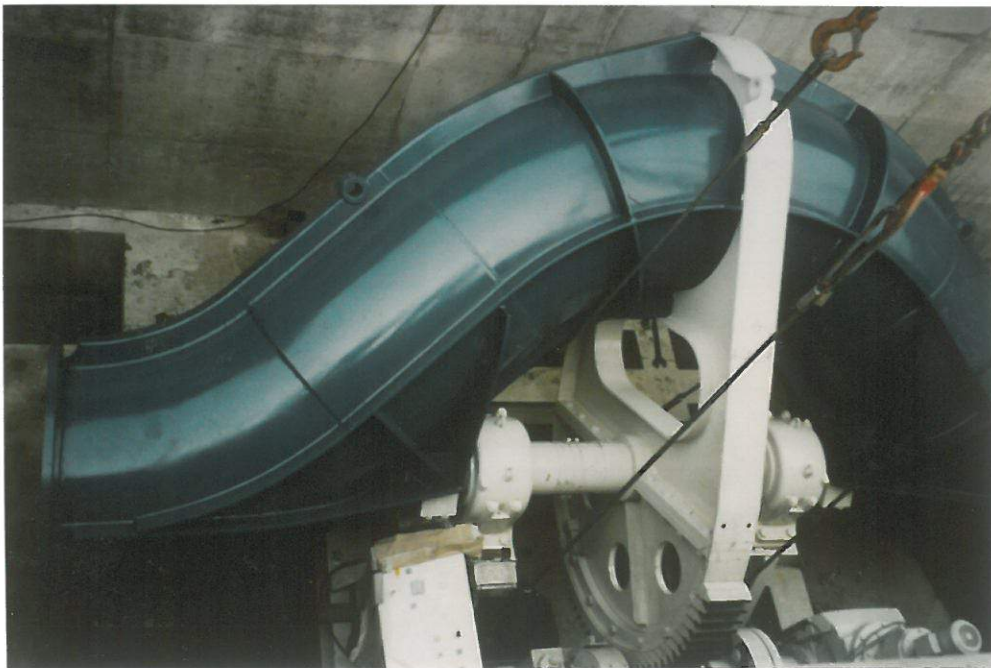


Bild 3: Der Drehbogen beim Einbau; Blick auf die Antriebseinrichtungen des Drehbogens

### *Korrosionsschutz, Verschleißschutz*

Alle Stahlteile des Drehbogens sind äußerlich mit einem Teerepoxydharz-Anstrich versehen. Der Innenbereich des Drehrohres ist mit einer vulkanisierten Gummierung ausgekleidet.

### *Bauwerk*

Die Drehbogenkammer ist aus Stahlbeton ausgeführt worden (Länge 11,4 m; Breite 6 m; Tiefe 5,5 m). Im Bauwerk befinden sich Pumpensumpf, Laufbühnen, Drehbogen und Steuerpult.

### *Dichtungen*

Der Torsionskompensator ist 2 m lang und besteht aus Gummi mit Bewehrungsringen (Bild 4), wodurch bei einer Verdrehung der Querschnitt erhalten bleibt. Eine kraftschlüssige Verbindung zum Abwasserkanal bzw. Drehbogen wird mit Flanschen erreicht. Die Kompensatoren sind bei einer 45° Bogenstellung entspannt eingebaut, so daß maximal eine Verdrehung von 45° erfolgt. Hohe Gewichtslasten werden zusätzlich durch 4 Gurte aufgenommen.



Bild 4: Torsionskompensatoren

### *Steuerpult*

Über einen Winkelgeber kann jede Position zwischen 0 und 90° gewählt werden. Die Stellzeit zwischen Endlagenwechsel kann zwischen 2,5 und 15 Minuten gewählt werden. Bild 5 stellt die Abhängigkeit der Tangentialgeschwindigkeit, der Stauhöhe

und der Neigung des Drehbogens von der Zeit bei einer Bewegung des Drehbogens von  $0^\circ$  auf  $90^\circ$  dar. Die Drehgeschwindigkeiten können variiert werden, wobei die mit 2,30 min erreichte Aufstellung des Drehbogens von 0 auf  $90^\circ$  mit der maximalen Drehgeschwindigkeit erzielt wurden.

Aus Sicherheitsgründen ist eine unabhängige Endlagenabschaltung eingebaut. Der Drehbogen kann ebenfalls steuerungsunabhängig manuell bedient werden.

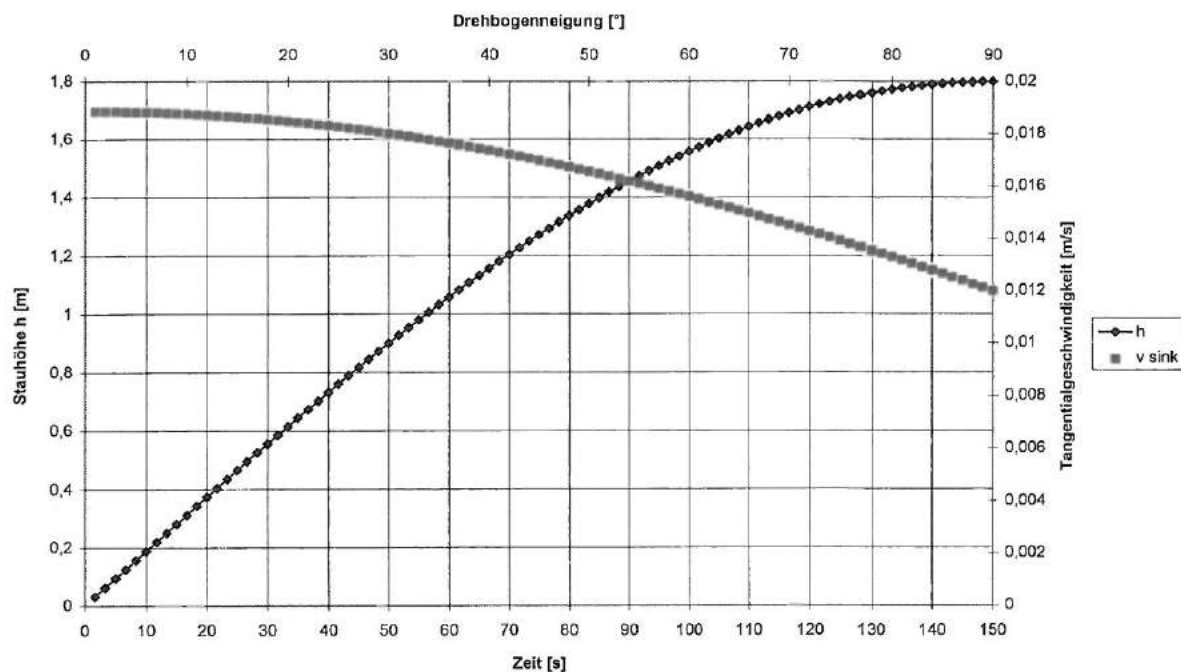


Bild 5: Stauhöhe, Neigung und Tangentialgeschwindigkeit des Drehbogens in Abhängigkeit von der Zeit

### 3. Beschreibung des durch den Drehbogen bewirtschafteten Einzugsgebietes

Ersten Überlegungen folgend wurden für den Drehbogen fünf mögliche Standorte ausgewählt. Eine eingehende Prüfung der in der Vorauswahl festgelegten Standorte zeigte, daß vier von fünf Plätzen Nachteile aufwiesen. Vorhandene Einschränkungen waren:

- Ein hohes Verkehrsaufkommen, welches die Bauphase wesentlich komplizierter gestaltet hätte,



- starke Netzvermaschungen zu Nachbareinzugsgebieten, die eine Volumenbilanzierung erschwert und eine genaue Beschreibung der Wirkung des Drehbogenbetriebes auf das Kanalnetz nicht zugelassen hätte und
- kleine Kanalnetze, die für eine Speicherbewirtschaftung auf Grund ihres geringen potentiellen statischen und dynamischen Speichervolumens nicht praktikabel sind.

Zum Zeitpunkt der Festlegung des Drehbogenstandortes waren die hydrodynamischen Netznachrechnungen im Stadtgebiet noch nicht flächendeckend abgeschlossen. In die engere Wahl kamen nur die Einzugsgebiete, für die Aussagen zur hydraulischen Leistungsfähigkeit der Kanalisation gemacht werden konnten. Der Standort der Kläranlage Leuben wurde als der günstigste erachtet und näher auf seine Eignung untersucht.

Das Einzugsgebiet umfaßt die Stadtteile Leuben, Niedersedlitz, Großschachwitz, Sporbitz, Groß- und Kleinluga und den östlichen Teil von Prohlis. Die an die Kanalisation angeschlossene Einzugsgebietsfläche beträgt 486 ha (Gesamteinzugsgebietsfläche 1450 ha). Davon werden 42 % als versiegelt eingeschätzt. Im Einzugsgebiet sind 45929 m Kanalisation verlegt worden.

Der Standort befindet sich auf dem Gelände der ehemaligen Kläranlage Dresden-Leuben. Mit dem Ausbau der Kanalisation und zentralen Kläranlage wurden Möglichkeiten geschaffen, das Entwässerungsgebiet Leuben an den Abfangsammler anzuschließen und die Abwässer zur Kläranlage Dresden-Kaditz zu leiten. Mit der Stilllegung der Kläranlage wurden deren Bauwerke abgerissen und auf dem Gelände eine Grünfläche angelegt.

Bild 6 zeigt einen Überblick über die Stadt Dresden. Der Standort des Drehbogens wurde mit eingetragen. In Bild 7 sind die Teileinzugsgebiete der Kanalisation in Dresden dargestellt. Das Einzugsgebiet des Drehbogens wurde eingefärbt.

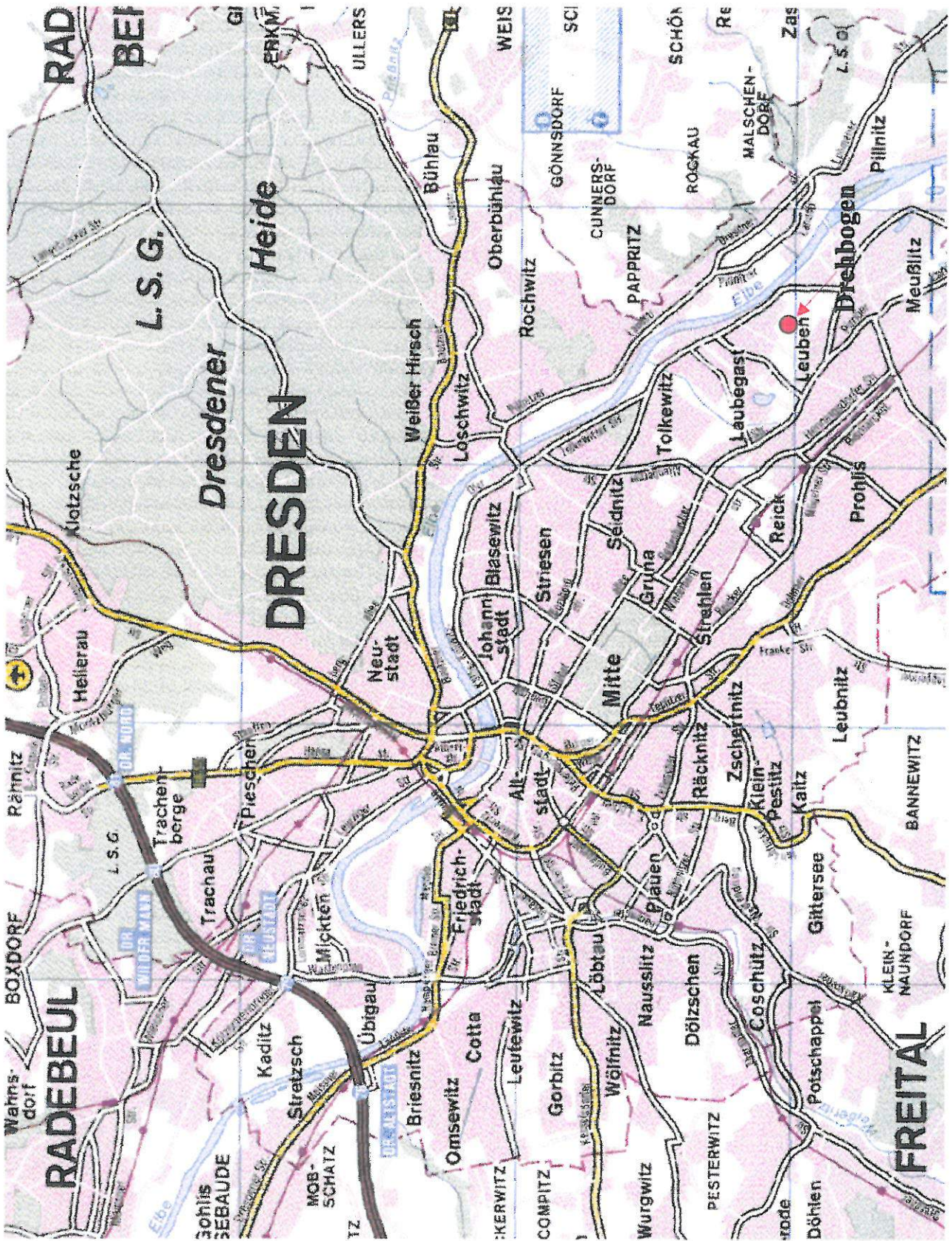


Bild 6: Stadtplan Dresden mit Drehbogen

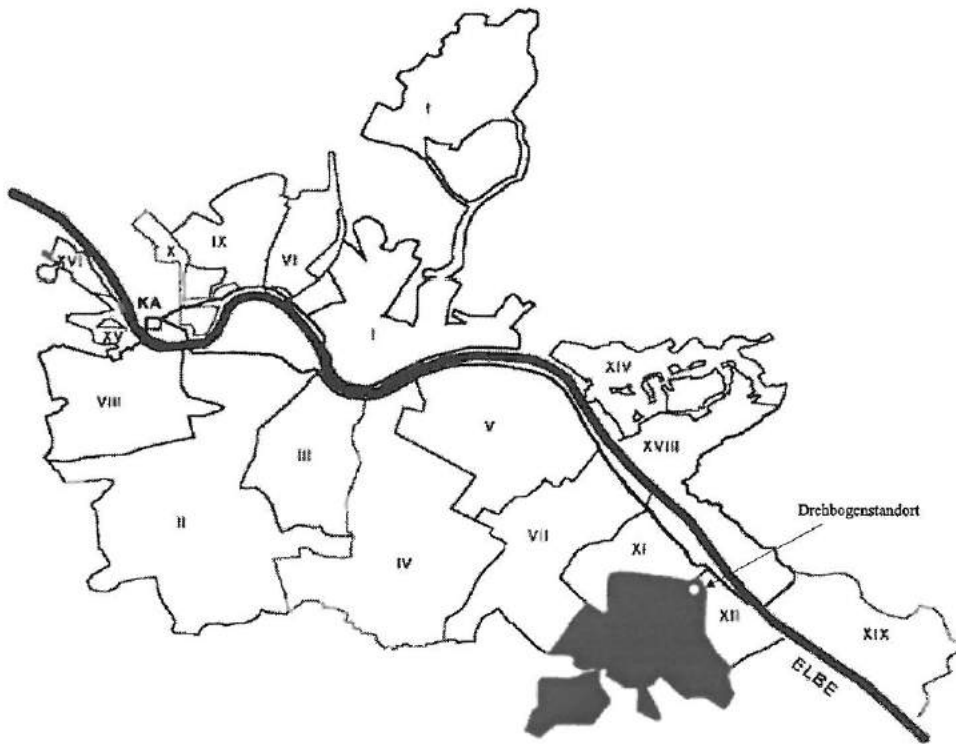


Bild 7: Einzugsgebiet des Drehbogens

Die Bilder 8,9 zeigen die Einordnung des Drehbogens in das Entwässerungsnetz Dresden-Leuben. Im Bypaß des Drehbogens ist eine Leitung DN 800 gebaut worden.

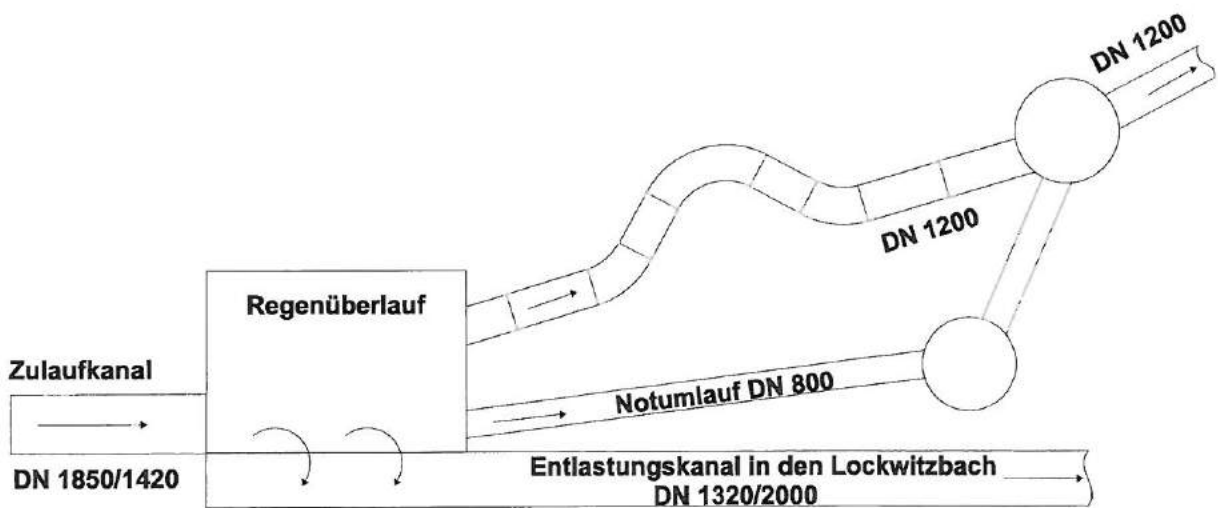


Bild 8: Einordnung des Drehbogens

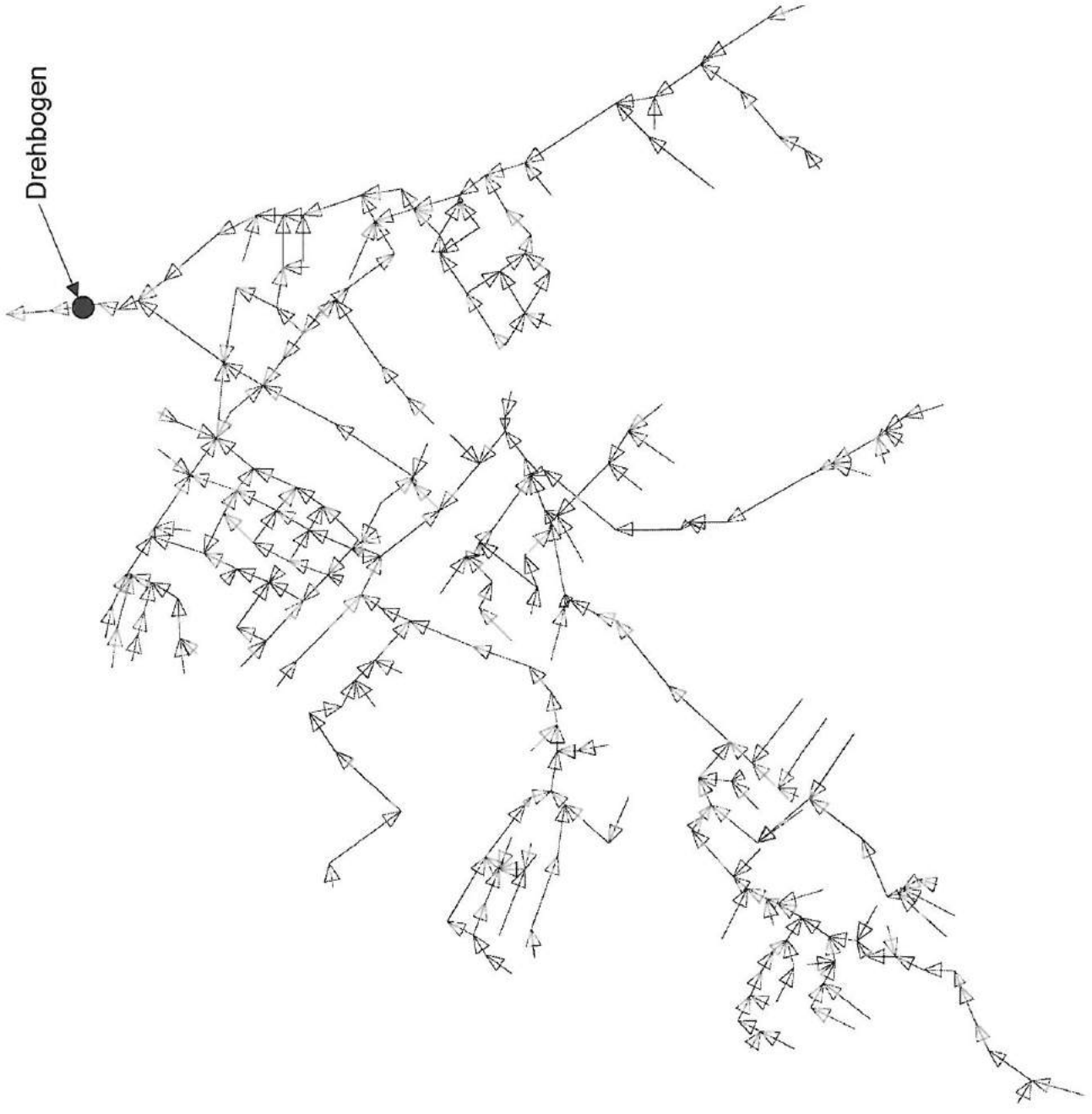


Bild 9: Netzplan des Oberwassereinzugsgebietes des Drehbogens

## **4. Beschreibung der Versuchsanlage**

### **4.1. Eingesetzte Meßgeräte**

Zur Beurteilung des Drehbogeneinsatzes zur Kanalnetzbewirtschaftung wurde am Standort Dresden-Leuben folgende Meßtechnik installiert:

- 2 x Wasserstandsmessung oberhalb des Drehbogens (Ultraschallsensor Typ ST-H mit Hydroranger I der Firma Nivus GmbH); Art der Messung - ONLINE; Die Wasserstandsmessung erfolgt über die Laufzeit des Ultraschallimpulses und damit über den Abstand zwischen Sensor und dem zu messenden Pegel;
- 1 x Geschwindigkeitsmessung zeitweise oberhalb und unterhalb des Drehbogens (Geschwindigkeitssensor DEK 10 nach dem Dopplerverfahren, der Firma Nivus GmbH); Art der Messung - ONLINE; Die Fließgeschwindigkeit wird über den Frequenzunterschied des gesendeten und des durch Partikel oder Gasbläschen reflektierten Schallsignales bestimmt.
- 1 x Wasserstandsmessung unterhalb des Drehbogens am Standort Garten 50 als mobiles System (Ultraschall-Echolot Hydroranger der Firma Nivus GmbH); Art der Messung - ONLINE während der Versuche;
- 1 x Gasmessgerät für CO, H<sub>2</sub>S, O<sub>2</sub> und explosive Gase (4-fach Gasmessgerät MiniGas 4 x 4 der Firma Neotronics GmbH; Messungen erfolgten sowohl im Oberwasser (während des Einstauvorganges) als auch im Unterwasser (zum Zeitpunkt der Spülung) mit Datalogger;

Bild 10 zeigt die Anordnung der Meßtechnik am Drehbogenstandort Dresden Leuben.

Meßstelle Drehbogen

Meßstelle Garten 50

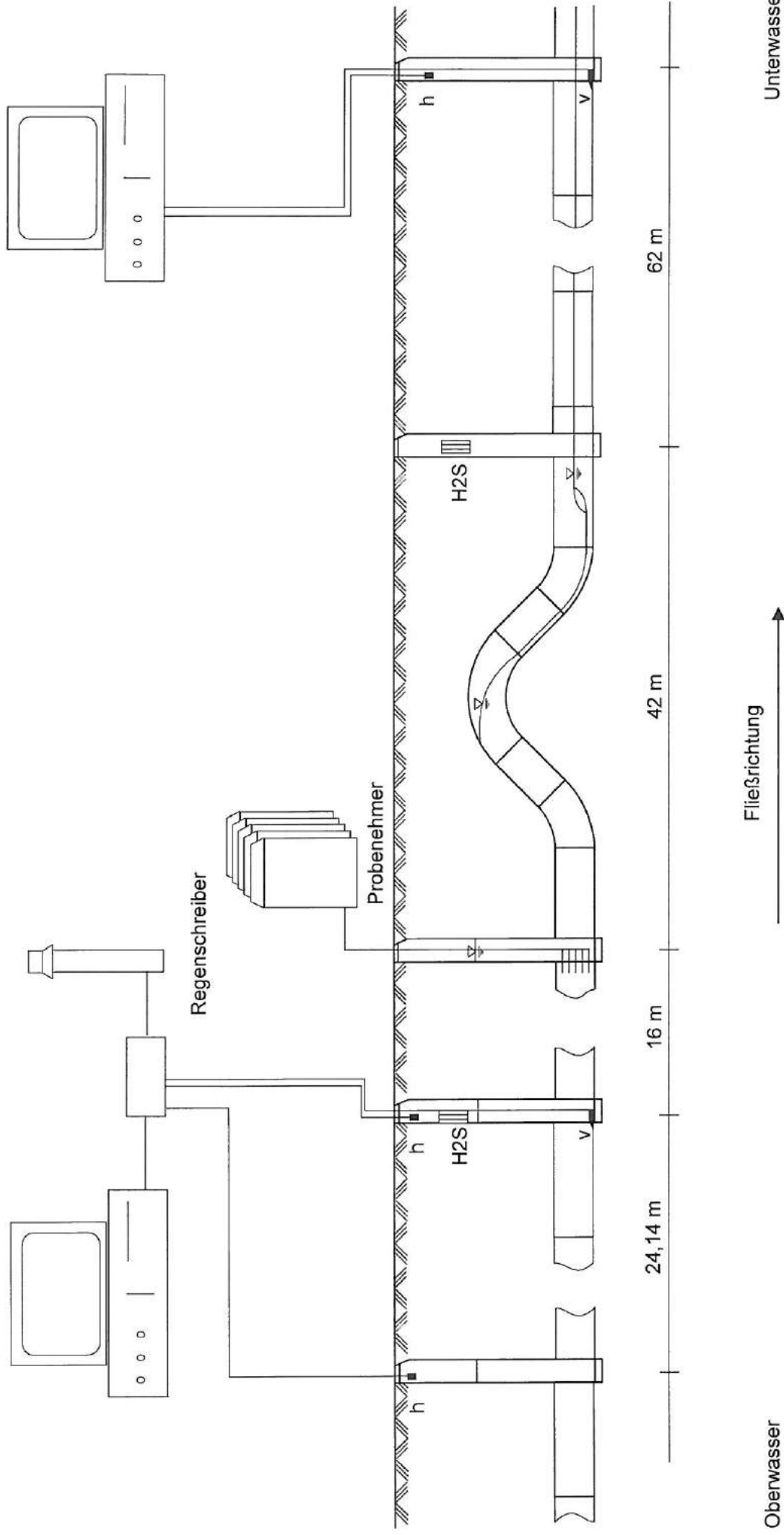


Bild 10: Schema der Meßwerterfassung am Drehbogen Dresden Leuben

- 1 x Regenschreiber am Drehbogenstandort (Regenschreiber nach dem Wippenprinzip der Firma Thies GmbH (Bild 11) zur Registrierung des Niederschlagsgeschehens als Ganglinie bzw. Tagessumme) Online und Datalogger;



Bild 11: Regenschreiber nach dem Wippenprinzip

- 1 x Dükervermessungseinheit der Firma WAS zur Erfassung der Ablagerungshöhen auf einem Datalogger
- 6 x Napfleisten zur Kontrolle der Rückstauenebene
- 4 x Probenehmer für Abwasserproben am Drehbogenstandort (PB-MOS mit Vakuumentnahmesystem der Firma Edmund Bühler GmbH); ereignisbezogene Probenahme (Trockenwetter bzw., Regenwetter) manuell bzw. automatisch ausgelöst;

## 4.2. Durchführung der Messungen

Die Wasserstände [m], die Fließgeschwindigkeit [m/s], der Regenschreiber [mm] und der Bogenstellwinkel [°] wurden ONLINE mit einem PC erfaßt. Die analogen Signale wurden über einen 16 Bit AD-Wandler (DAS 1600 der Firma Keithley) eingelesen. Für die Speicherung der Tagesganglinien erwies sich ein Intervall von einer Minute als sinnvoll.



Bild 12: Online-Meßwerterfassung in Dresden-Leuben (Wasserstand, Fließgeschwindigkeit, Bogenstellwinkel, Niederschlagshöhe)

Zur Kompensation von Störeinflüssen (z.B. Schallwellen) wurden bei dem Speicherintervall von einer Minute ein 60 Sekundengleitmittel gebildet. Dadurch konnte eine Glättung der Tagesganglinien erreicht werden. Um die Schwallwelle besser beschreiben zu können, wurden während der Versuche zur Spülung die Meßwerte sekundlich aufgezeichnet.



Die Wasserstandsmeßgeräte (Ultraschall-Echolote Hydroranger) wurden bei ihrem Einbau vermessen und kalibriert.



Bild 13: Wasserstands- und Geschwindigkeitsmessung im Oberwasser des Drehbogens

Die Geschwindigkeit wird mit dem DEK 10 (Bild 13) nach dem Doppler-Verfahren punktuell ermittelt. Um die mittlere Geschwindigkeit zu bestimmen, war eine Kalibrierung des Geschwindigkeitssensors erforderlich. Das Bild 14 zeigt die Geschwindigkeitsprofile an den Meßstellen 1 und "Garten 50". Mit Hilfe dieser Geschwindigkeitsprofile erfolgte die Kalibrierung des Geschwindigkeitssensors. Während der Versuche war ein Umbau des Geschwindigkeitssensors vom Oberwasser (Meßstelle 1) zum Unterwasser ("Garten 50") erforderlich, da an der

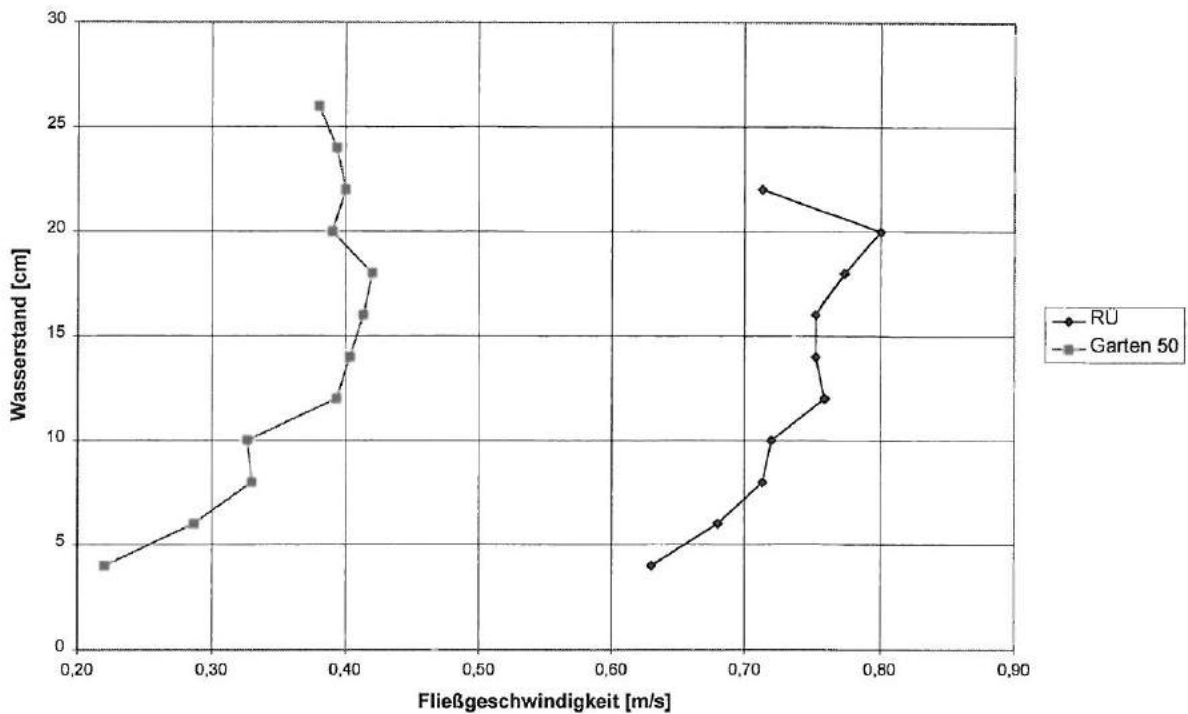


Bild 14: Geschwindigkeitsprofile am Regenüberlauf oberhalb des Drehbogens und am "Garten 50"

Meßstelle 1 häufig Rückströmungen am Beginn der Spülungen auftraten und somit teilweise keine exakten Messungen bei den Einstau- und Spülversuchen gemacht werden konnten.

Neben der Meßwerterfassung am Drehbogenstandort wurde das durch den Drehbogen bewirtschaftete Kanalnetz in bezug auf sein Betriebsverhalten überwacht. Die Kontrolle umfaßt die Aufnahme von Ablagerungsprofilen mit einem Ablagerungsmeßgerät (DVE - Dükervermessungseinheit der Firma WAS GmbH) in der oberhalb bzw. unterhalb der Drehbogenanlage gelegenen Kanalisation. Die DVE ist mit zwei Drucksensoren (ein Sensor in der Schleppsonde, ein Sensor im Schwimmkörper (Bild 15)) ausgestattet. Die Schleppsonde registriert den Wasserstand von den Ablagerungen bis zur Wasserspiegeloberfläche (Freispiegelabfluß). bzw. bis zur vorhandenen Druckhöhe (Druckabfluß). Der Sensor im Schwimmkörper registriert im Falle des Druckabflusses den Wasserstand vom Rohrscheitel bis zur vorhanden Druckhöhe. Bei Freispiegelabfluß erfolgt durch den Sensor im Schwimmkörper keine

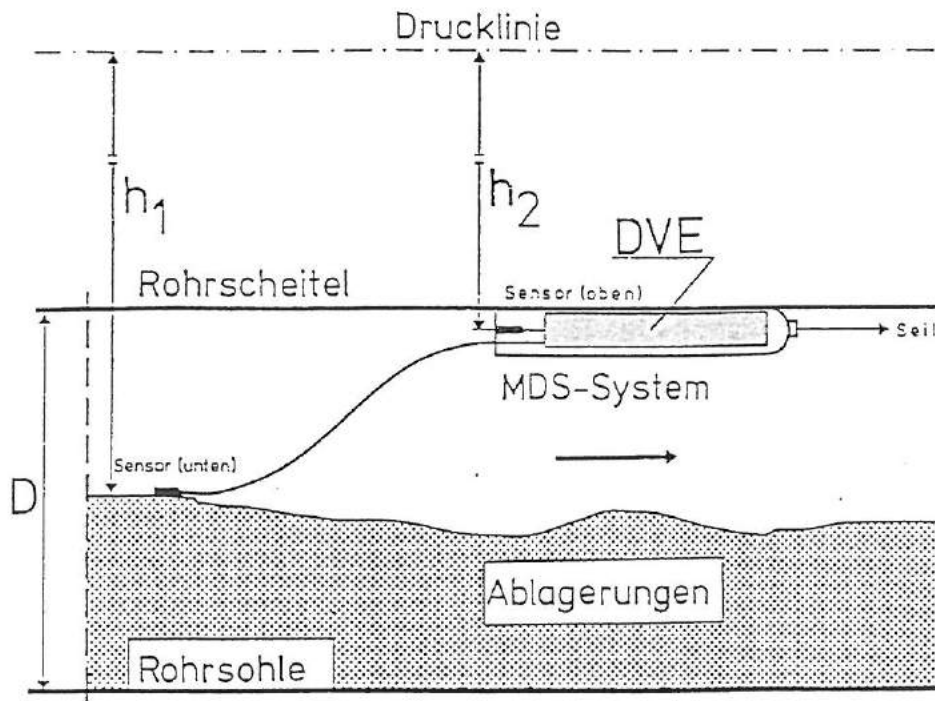


Bild 15: Aufbau des Ablagerungsmeßgerätes DVE

Registrierung. Die Ablagerungshöhen berechnen sich aus der Differenz der Drucklinie und des gemessenen Wasserstandes über den Ablagerungen für jeden Meßpunkt. Bei den automatischen Messungen wurde die DVE durch die gesamte Haltungslänge gezogen. Nur im Oberwasser war die Strömung ausreichend, um die DVE durch den Kanal zu schwemmen. Im Unterwasser mußte mit Hilfe eines Balles das Zugseil zum unterhalb des Standpunktes gelegenen Schacht geschwemmt werden. Die DVE wurde anschließend entgegen der Strömung zum Ausgangsschacht gezogen. Die Aufzeichnung der Meßwerte erfolgte im 1 bzw. 5 Sekundentakt. Da die Meßwertaufzeichnung über die Zeit erfolgte, war es wichtig, die DVE mit gleichbleibender Geschwindigkeit durch die Haltung zu ziehen. Erschwert wurden die Messungen durch Spinnstoffanhafungen am Zugseil, die teilweise so groß waren, daß sie entfernt werden mußten und die Zuggeschwindigkeit der DVE kurzzeitig auf 0 m/s zurückging. Dieses kann zu einer leichten Stromauf-Verschiebung des Ablagerungsprofils führen. Durch sehr langsames Ziehen der DVE konnte der Meßfehler gering gehalten werden.

Die Ablagerungsprofile wurden einmal (Kontrolle der Ablagerungshöhen) bzw. zweimal (zur Einschätzung der Spülwirkung vor und nach der Spülung) aufgenommen.

Weiterhin sind zur Einschätzung des Ein- bzw. Überstauverhaltens der Kanalisation an allen 6 Regenüberläufen sowie an zwei überstauungsgefährdeten Schächten des Einzugsgebietes Napfleisten (Bild 16) installiert worden. Die Napfleisten bestehen aus kleinen Bechern, die in einem Abstand von 5 cm wechselseitig angeordnet sind. Dadurch konnten die maximalen Wasserstände in einem Raster von 5 cm registriert werden.

Bild 16: Napfleiste



## 5. Untersuchungsprogramm

Im Praxisbetrieb sollten die am Drehbogenmodell durch das Institut für Technische Hydromechanik und Wasserbau gewonnenen Ergebnisse überprüft werden. Gleichzeitig galt es, die Randbedingungen für einen Drehbogeneinsatz zur Kanalnetzbewirtschaftung abzustecken. Speziell wurden solche Kriterien wie

- a) Stauraumaktivierung durch den Drehbogen,
- b) Nutzung der aufgestauten Wassermassen zur Spülung in der Kanalisation,
- c) Auswirkungen der Bewirtschaftung auf das Ablagerungsverhalten im Kanalnetz,
- d) Einfluß der Bewirtschaftung auf den Schmutzfrachttransport,
- e) Sielhautwachstum infolge Bewirtschaftung des Kanalnetzes,

- f) Einschätzung der Gefährdung durch Schwefelwasserstoff infolge Bewirtschaftung,
  - g) Einschätzung der Betriebssicherheit nach einjährigem Probebetrieb,
  - h) und lokale Steuerkonzeption
- untersucht.

## 6. Nutzung der Drehbogentechnologie zur Stauraumbewirtschaftung

### 6.1. Allgemeines

Durch die Kanalnetzsteuerung wird der Abwasserstrom so beeinflusst, daß er den Zielstellungen einer Kanalnetzbewirtschaftung genügt. Die wesentliche Zielstellung ist die Zwischenspeicherung von erhöhtem Mischwasserabfluß. Die Zielgröße dieses Bewirtschaftungsvorhabens ist der aktivierbare Kanalspeicherraum, in dem ein Teil des Mischwasserabflusses ( $Q_{\text{Speicher}} = Q_{\text{m,krit}} - 2 Q_s + Q_f$ ; zu speichernder Abfluß  $Q_{\text{Speicher}}$ , kritischer Mischwasserabfluß  $Q_{\text{m,krit}}$ , Schmutzwasser  $Q_s$ , Fremdwasser  $Q_f$ ) zwischengespeichert und später der Kläranlage zur Behandlung zugeführt wird. Neben der Aktivierung von Stauvolumen muß durch die Bewirtschaftung weiterhin die Betriebssicherheit der Kanalisation gewährleistet werden. D.h., sowohl für das oberhalb als auch für das unterhalb des Steuerorgans befindliche Kanalnetz sind die zulässigen Überflutungshäufigkeiten einzuhalten. Entsprechend sind durch das Steuerorgan, die an ihn durch das Ober- bzw. Unterwasser gestellten Anforderung zu erfüllen.

Im Falle, daß das Unterwasser einen beliebig großen Abfluß aufnehmen kann, sind durch die Bewirtschaftung nur die Überflutungshäufigkeiten des Oberwassereinzugsgebietes einzuhalten. Sofern die Kanalisation im Oberwasser so bemessen worden ist, daß sie den gesamten Niederschlagsabfluß für den Bemessungsfall aufnehmen kann, sind keine zusätzlichen Entlastungen durch Regenüberläufe erforderlich. D.h., die Entlastung von Mischwasser im Oberwassereinzugsgebiet wird nicht von der Kanalnetzbewirtschaftung beeinflusst, wenn das Kanalnetz im Unterwasser den gesamten Niederschlagsabfluß abführen kann. Das

Unterwasserkanalnetz stellt dann keine Anforderungen an das zwischen Ober- und Unterwasserkanalnetz befindliche Steuerorgan.

Kann das Unterwasser nur einen begrenzten Abfluß (z.B.  $2 Q_s + Q_f$ ) aufnehmen, muß durch das Steuerorgan der aus dem Oberwasser kommende Abfluß reduziert werden. Der darüberliegende Abfluß bis  $Q_{m,krit}$  wird im Oberwasser zwischengespeichert und später einer Kläranlage zugeleitet. Abwassermengen, die größer als der kritische Mischwasserabfluß sind und nicht mehr gespeichert werden können, müssen dann in den vorhandenen Vorfluter entlastet werden. Bei diesem Bewirtschaftungsfall sind Regenwasserentlastungen im Oberwassereinzugsgebiet für die Kanalnetz-bewirtschaftung erforderlich. Durch das Steuerorgan muß gewährleistet sein, daß der maximale Abfluß zum Unterwasserkanalnetz bei jedem Abwasserzufluß nicht überschritten wird. Entsprechend diesen Bedingungen sind die Überhöhung des Drehbogens und die Wehrschwelenhöhen der Regenüberläufe zu wählen.

## **6.2. Ermittlung des durch den Drehbogen aktivierbaren Stauvolumens bei Trockenwetterabfluß**

Durchgeführte Berechnungen zur Aktivierung des statischen Kanalstauraumes ergaben bei einer Überhöhung des Drehbogens von 1,80 m ein aktivierbares statisches Stauvolumen (Trockenwetterabfluß) von ca. 1000 m<sup>3</sup>. Hierbei ist zu erwähnen, daß die in diesem Einzugsgebiet aktivierbare Kanalstrecke ein relativ großes Gefälle besitzt (1:300-450) und dadurch das aktivierbare Stauvolumen begrenzt ist. Nachdem der Drehbogen im August 1994 fertiggestellt wurde, ist das aktivierbare statische Stauvolumen (Trockenwetter) durch praktische Messungen überprüft worden. Das Stauvolumen wurde über die Stauzeit und den während des Einstauvorganges charakteristischen mittleren Durchfluß bzw. durch Integration des bei Spülversuchen abgeflossenen Abwassers ermittelt. Diesen Berechnungen wurde ein quasi-stationärer Strömungszustand unterstellt. Die Stauzeit ist der Zeitraum vom Beginn des Anhebens des Drehbogens (bei dem der Abfluß über den Drehbogen bis auf 0 zurückgehen kann) bis zu dem Zeitpunkt, bei dem der Abfluß, der über den Drehbogen fließt, dem für diese Zeit gültigen Mittelwert des Trockenwetterabflusses

entspricht. Bild 17 zeigt die Abhängigkeit des aktivierbaren statischen Stauvolumens des Kanalnetzes Dresden-Leuben durch das Heben des Drehbogens.

Der flache Kurvenanstieg bei den größeren Bogenstellungen (80°-90°) resultiert aus dem geringen Stauhöhenzuwachs und damit geringem Zuwachs der Stauwurzel, der durch den Sinus des Bogenstellwinkels \* 1,80 erzielt wird.

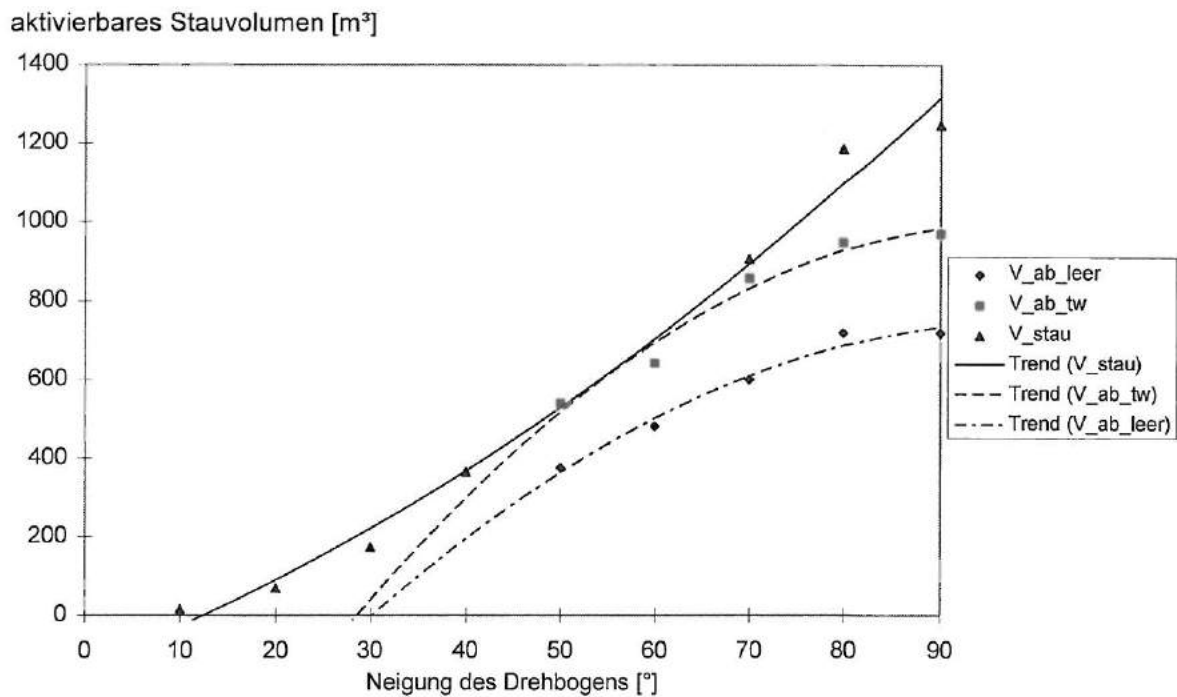


Bild 17: Einfluß der Winkelstellung des Drehbogens auf das aktivierbare Stauvolumen

Wird das Einzugsgebiet des Drehbogens so eingestaut, daß kein Trockenwetterabfluß ( $Q_d = 0$ ) in das Unterwasser des Drehbogens fließt, können maximal 720 m<sup>3</sup> Kanalstauraum aktiviert werden (Kurve V\_ab\_leer). Erfolgt der Einstau soweit, bis der vollständige Trockenwetterabfluß über den Drehbogen in das Unterwasser abfließt ( $Q_d = Q_t$ ), kann ein Stauvolumen von 1000 bis 1200 m<sup>3</sup> aktiviert werden (V\_ab\_tw).

Die Spannbreite resultiert aus den verschiedenen Berechnungsmethoden (Integration des Abflusses beim Absenken des Drehbogens; Integration über die Stauzeit (V\_stau)). Der aktivierbare Kanalstauraum ist eine Funktion des Kanalnetzes (Länge, Gefälle, Dimension, Trockenwetterabfluß).

Das sehr starke Kanalisationsgefälle unmittelbar oberhalb des Drehbogens ermöglicht keine größere Stauvolumenaktivierung. Die Prämissen der Standortwahl lagen bei der Übersichtlichkeit des zu bewirtschaftenden Kanalnetzes (Überwachung des Einstauverhaltens), der einfachen Realisierung des Bauvorhabens, erstmaligen Umsetzung der Drehbogentechnik im großtechnischen Maßstab und damit verbundene Eingrenzung des Einzugsgebietes. Die Effektivität des Drehbogeneinsatzes ist somit insbesondere vom Standort, von den örtlichen Gegebenheiten abhängig.

### 6.3. Ermittlung des durch den Drehbogen aktivierbaren Stauvolumen bei Mischwasserabfluß

Der aktivierbare Stauraum bei Mischwasserabfluß konnte nur aus Simulationsrechnungen mit dem Kanalnetz von Dresden-Leuben ermittelt werden. Eine Integration über die Stauzeit bzw. des Abflusses während des Spülvorganges führten auf Grund

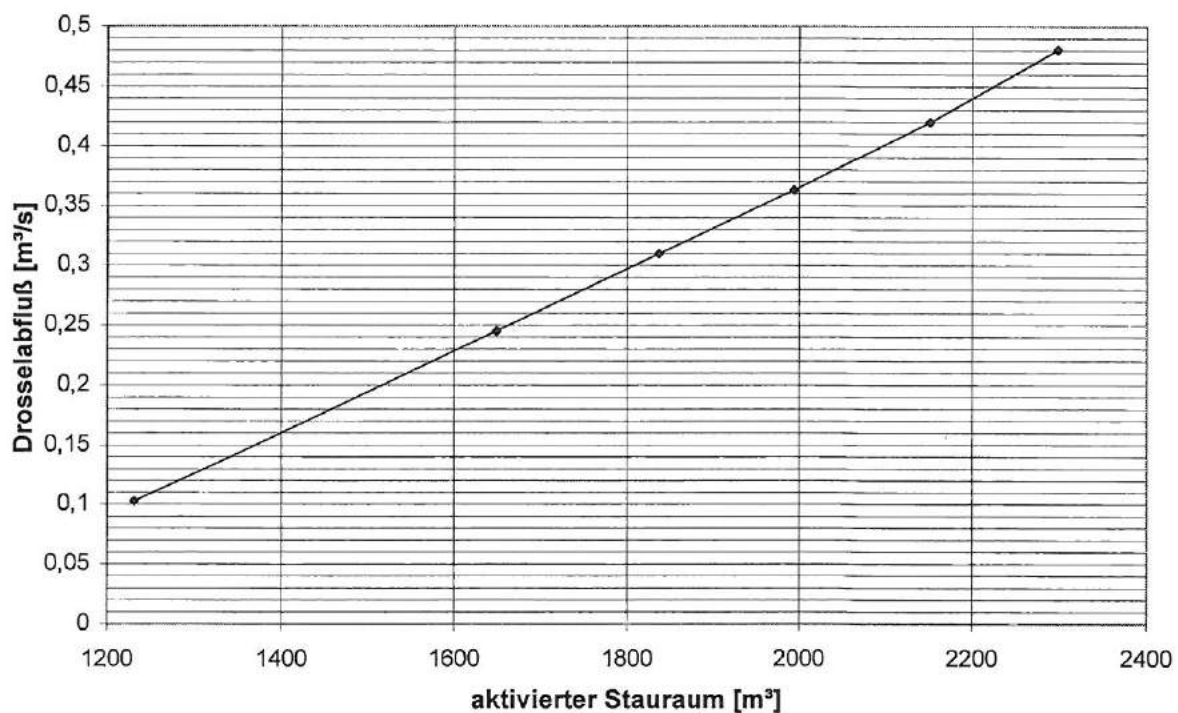


Bild 18: Der Sollabfluß als Funktion des aktivierbaren Stauvolumens; (Drehbogenneigung 90° und Variation der Überfallhöhe)

der instationären Strömungsverhältnisse nicht zum Ergebnis.



Bild 18 zeigt die Abhängigkeit des aktivierbaren Stauvolumens bei einer 90°-Stellung des Drehbogens unter Berücksichtigung des Sollabflusses (entspricht nach DIN 4045 Drosselabfluß). Ein Sollabfluß von  $2 Q_s + Q_f$  (auf Basis des jetzigen Trockenwetterabflusses) erlaubt eine Stauraumaktivierung von 1500 m<sup>3</sup>.

#### **6.4. Bewertung des Entwässerungsverhaltens des durch den Drehbogen bewirtschafteten Kanalnetzes in Dresden-Leuben**

Bei einer Kanalnetzbewirtschaftung werden unterschiedliche Ziele (Mischwasserspeicherung, Spülung) verfolgt. Für jeden Eingriff in das Abflußgeschehen einer Kanalisation muß aber gelten, daß der bisherige Entwässerungskomfort beibehalten wird. D.h., die Rückstauenebene darf nur so weit angehoben werden, daß durch die Bewirtschaftung keine Schäden infolge Ein- und Überstau auftreten. Für die Bewirtschaftung des Entwässerungsgebietes Dresden-Leuben mit Drehbogen werden folgende Bedingungen gestellt:

1. Das Ein- und Überstauverhalten des Kanalnetzes darf sich gegenüber dem unbewirtschafteten Kanalnetz nicht verschlechtern.
2. Während der Einstauvorgänge darf kein Trockenwetterabfluß in die Vorfluter abgeschlagen werden.

Diese Bedingungen waren am Pilotprojekt zu überprüfen. Um das Kanalnetz zu überwachen, wurden in allen Regenüberläufen und in zwei als überlastungskritisch eingestuften Schächten Napfleisten eingebaut. So konnte der maximal aufgetretene Wasserstand im 5 cm Rastermaß registriert werden. Die Napfleisten wurden unmittelbar vor und unmittelbar nach jedem Einstauversuch bzw. nach einem Niederschlagsereignis kontrolliert.

Während der einjährigen Versuchsphase konnten keine Einstauschäden bzw. Überstauschäden im Einzugsgebiet infolge Bewirtschaftung durch Drehbogen registriert werden. Die größte während eines Regens (6,9 mm) durch eine Anhebung des Drehbogens (90°) erzielte Stauhöhe betrug 2,12 m am Standort des

Regenüberlaufes der ehemaligen Kläranlage Dresden-Leuben. An den Wehren wurden folgende maximalen Wasserstände gemessen (Tab. 1):

Wehr	Wasserstand [cm]
L.-Kugelmann-Str.	60
Prof.-Bilroth-Str.	-
Langkw. Str.	-
Kreuzung Dorfstr. / Bahnhofstr.	-
An der Niedermühle	175 (Verstopfung der Drosselleitung; Rückstau vom Drehbogen reicht nicht bis zum RÜ an der Niedermühle)
Schacht	
Kreuzung Hennigsdorferstr. / Reisstr.	70
Zamenhofstr.	-

Tab. 1: Wasserstände im Oberwasser bei der Bewirtschaftung eines Mischwasserabflusses

Bei allen anderen mit dem Drehbogen bewirtschafteten Regenereignissen wurde diese Stauhöhe nicht erreicht. Entsprechend der Bewirtschaftung von Mischwasserabflüssen mit Drehbogen ergibt sich aus diesen Betrachtungen für das Einzugsgebiet Dresden-Leuben eine nachgewiesene zulässige Stauhöhe von 2,12 m am Regenüberlauf der ehemaligen Kläranlage Dresden-Leuben.

Im Versuchszeitraum traten auch stärkere Niederschläge und damit auch Mischwasserabflüsse auf. Auf Grund einer Überlastung weiter Teile des Unterwassers erteilte der Betreiber (DWA GmbH) keine Erlaubnis zur Bewirtschaftung dieser Ereignisse. Der höchste gemessene Wasserstand am Regenüberlauf auf der ehemaligen Kläranlage betrug 2,57 m bei einer Niederschlagshöhe von 47,9 mm. An den Wehren wurden folgende Wasserstände registriert (Tab. 2):

Wehr	Wasserstand [cm]
L.-Kugelman-Str.	90
Prof.-Bilroth-Str.	Lockwitzbach fließt in den Kanal
Langkw. Str.	Lockwitzbach fließt in den Kanal
Kreuzung Dorfstr. / Bahnhofstr.	keine Begehung möglich
An der Niedermühle	110
Schacht	
Kreuzung Hennigsdorferstr. / Reisstr.	keine Begehung möglich
Zamenhofstr.	-

Tab. 2: Wasserstände im Oberwasser des Drehbogens bei einem Starkregen

Da aus dem Einzugsgebiet keine Einstau- bzw. Überflutungsschäden bekannt sind, kann der Wasserstand von 2,57m am Regenüberlauf der ehemaligen Kläranlage Dresden-Leuben als maximal zulässige Stauhöhe angesetzt werden.

Größere Stauhöhen müssen durch Näherung bei der Bewirtschaftung von Mischwasserabflüssen ermittelt werden.

Neben der Gewährleistung der Einstau- und Überflutungsebenen beeinflusst die mögliche Heberwirkung des Drehbogens die maximale Stauhöhe. Bild 19 zeigt den Einfluß der Neigung des Drehbogens auf das Anspringen des Hebers und damit auf die zulässige Stauhöhe am Regenüberlauf der ehemaligen Kläranlage Dresden-Leuben. Um ein Anspringen des Hebers zu vermeiden, darf z.B. bei einer Neigung des Drehbogens von 90° ein Wasserstand von 2,87 m (am Regenüberlauf auf dem ehemaligen Kläranlagengelände Dresden-Leuben gemessen) nicht überschritten werden. Bei der Planung zukünftiger Anlagen kann die Gefahr der Heberung durch folgende Maßnahmen gemindert werden:

1. Einbau einer Belüftung im Scheitel des Drehbogens,
2. Vergrößerung der Überhöhung des Drehbogens und/oder entsprechende Anpassung der Schwellenhöhen der Regenüberläufe im Oberwasser.

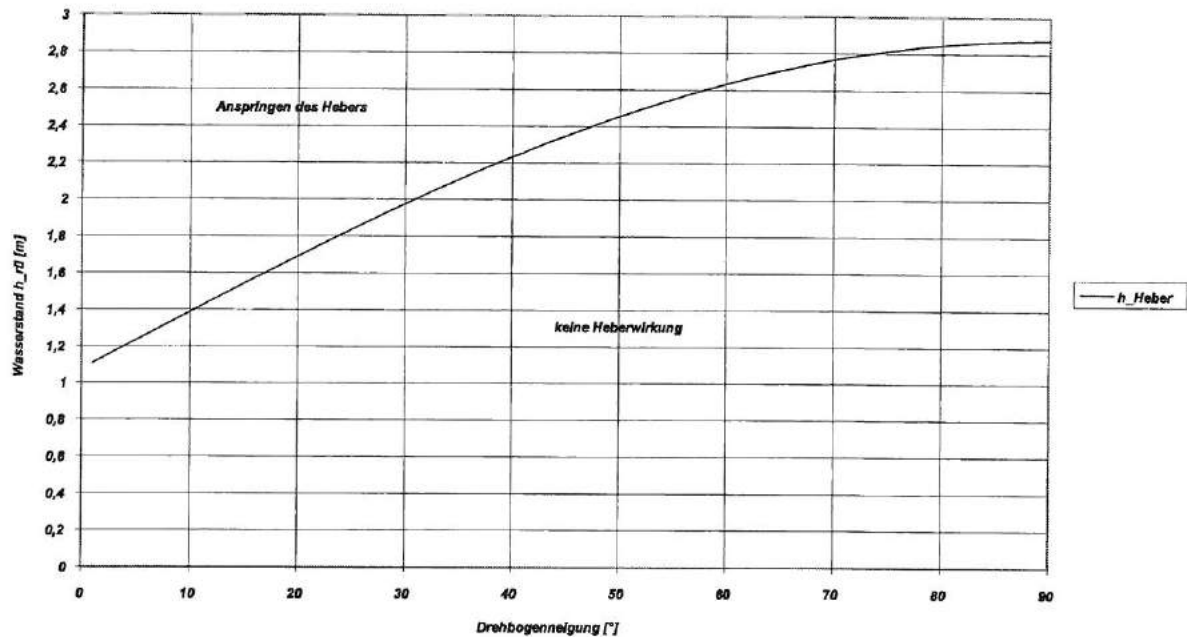


Bild 19: Abhängigkeit der Heberwirkung des Drehbogens von seiner Neigung (Bezugswasserstand  $h_{r\ddot{u}}$  am Regenüberlauf ehem. KA Leuben)

Mit dem Drehbogen wurden Einstauversuche bei Trockenwetter von  $0^\circ$  bis  $90^\circ$  in  $10^\circ$ -Schritten durchgeführt. Bei keinem der Versuche wurde ein Näpfchen an den Regenüberläufen gefüllt. D.h., die Stauwurzel geht im Trockenwetterfall nicht bis zum am tiefsten gelegenen Wehr zurück. Durch die Bewirtschaftung des Trockenwetterabflusses im Einzugsgebiet Dresden-Leuben mittels Drehbogen besteht keine Gefahr Trockenwetterabfluß über die Wehre zu entlasten.

Die Kontrollen der Regenüberläufe im Oberwassereinzugsgebiet des Drehbogens zeigten, daß es unter Umständen zu einer Infiltration von Oberflächenwasser des Lockwitzbaches über die Regenüberläufe kommen kann (RÜ Prof.-Bilroth-Str. und RÜ Langkw. Str.).

Für das Unterwassereinzugsgebiet des Drehbogens waren folgende Beobachtungen bemerkenswert:

1. Bei starken Niederschlägen kommt es an den Schächten 77.10 und 77.11 zu derart hohen Überlastungen, daß die Schachtabdeckungen ausgehoben werden. Es wird empfohlen, diese Schächte mit Hochwasserschutzabdeckungen zu versehen.
2. Das Unterwasserkanalnetz ist bei Starkregen derart überlastet, daß es zu Rückstau bis in den Bereich des Drehbogens kommt. Dieses kann zur Entlüftung des Drehbogens und somit zum Übergang von der Überfallströmung zur Druckrohrströmung führen.
3. Der bauliche Zustand der Kanalisation im untersuchten Abschnitt des Unterwassers ist stark sanierungsbedürftig (Bild 20). Durch den hohen Grundwasserstand kommt es durch die Undichtigkeiten zur Infiltration von Fremdwasser.



Bild 20: Infiltration von Grundwasser im Unterwasser des Drehbogens

## **7. Nutzung des Drehbogens zur Kanalreinigung**

### **7.1. Allgemeines**

Ziel weiterer Untersuchungen war es, Aussagen zur Kanalreinigung durch Spülung mit dem Drehbogen zu treffen. Eine Reinigung der Kanäle ist auf Grund der Einschränkung der hydraulischen Leistungsfähigkeit der Kanäle durch Ablagerungen und damit Verstärkung der Rückstaugefahr notwendig. Durch Remobilisierung der Ablagerungen infolge größerer Abflüsse erhöht sich die Schmutzfracht des Gesamtabflusses, wodurch die Entlastungsschmutzfracht an den Regenüberläufen potentiell steigt. Deshalb sind durch den Kanalbetrieb möglichst ablagerungsfreie Kanäle zu erreichen. Die Kanalreinigung erfolgt durch:

1. Spülung mit Steuerorganen wie z.B. Drehbogen, Schieber und fest eingebauten oder transportablen Spülschiebern,
2. durch mit Abwasserdruck wandernde Stauschilder,
3. durch Winden (motor- und handgetriebene),
4. durch Hochdruckspülverfahren.

Die Hochdruckspülung ist zur Zeit praktisch am verbreitetsten. Gegenüber den herkömmlichen Verfahren kann ein Mehrfaches der Reinigungsleistung erreicht werden. Bei der Hochdruckspülung kann Personal eingespart werden.

Die Umsetzung einer Bewirtschaftung der Kanalisation mit Stellgliedern (Drehbogen, Schieber) ermöglicht eine effektvollere Nutzung der Spülung zur Kanalreinigung der an das Stellglied anschließenden Kanalstrecken. Die Steuerorgane benötigen wenig Personal. Arbeiten in der Kanalisation sind nur zu Kontrollzwecken erforderlich.

Zur Einschätzung des Reinigungsvermögens durch Spülung wurden die hydraulischen Kenngrößen Durchfluß, Geschwindigkeit und Schubspannung bestimmt. Des weiteren sollte ein optimaler Zyklus für eine Spülung mit Drehbogen gefunden werden. Es muß zwischen der Wirkung einer einzelnen Schwallwelle und der mehrerer zeitlich kurz aufeinander folgenden Schwallwellen unterschieden werden.

## 7.2. Bewertungskriterien für das Reinigungsvermögen mit Spülung

Trotz umfangreicher Bemühungen von verschiedenen Forschungseinrichtungen ist es bis heute nicht gelungen, das Verhalten der Kanalablagerungen vollständig zu beschreiben. Die Beurteilung der Remobilisierungsprozesse von Kanalablagerungen erfolgt mittels der Kenngröße Schubspannung.

Die Schubspannungsberechnung erfolgt nach:  $\tau = \rho \cdot \frac{\lambda}{8} \cdot v^2$

Beschaffenheit der Gerinnewandung	$\tau_{\text{krit}}$ in N/m <sup>2</sup>
Sandiger, nicht kolloidaler Lehm	2,0
Lehmhaltige Ablagerungen und alluvialer Schlamm (nicht kolloidal)	2,5
gewöhnlicher Lehm	3,7
gewöhnlicher Quarzsand (0,2 ...0,4 mm)	1,8...2,0
gewöhnlicher Quarzsand (0,4 ...1,0 mm)	2,5...3,0
gewöhnlicher Quarzsand bis 2,0 mm	4,0
Grobes Sandgemisch	6,0...7,0
Festgelagerter Sand und feiner Kies - bei lang anhaltender Belastung - bei vorübergehender Beanspruchung	8,0...9,0 10...12
Alluvialer Schlamm und steifer Lehm (sehr kolloidal)	12
Rundlicher Quarzkies (5...15 mm)	12,5
Lehmiger Kies (nicht kolloidal) - bei lang anhaltender Belastung - bei vorübergehender Beanspruchung	15 20
Reiner sandiger Lehm	11
Grobes Quarzgeröll (40..50 mm)	bis 44
Plattiges Kalkgeschiebe (10...20 mm dick, 40...60 mm lang)	50
Rasen bei lang anhaltender Belastung Rasen bei vorübergehender Beanspruchung	15...18 20...30
Fest verwachsene, auf lange Zeit beanspruchte Rasenziegel	25...30
Rauhwehr	40

Tab.3 Grenzscherpspannungen  $\tau_{\text{krit}}$  zur Vermeidung von Gerinneerosion [13]

Bei der Schubspannungsberechnung muß der Einfluß der Geschwindigkeitsänderung exponential (2. Potenz) berücksichtigt werden. Demzufolge haben geringe Geschwindigkeitsänderungen einen exponentialen Einfluß auf die Änderung der Schubspannung. Tabelle 3 zeigt zulässige Grenzscheppspannungen bei deren Überschreiten es zur Gerinneerosion kommen kann in Abhängigkeit von der Gerinnebeschaffenheit.

Beschaffenheit der Gerinnewand	$v_{zul}$ in m/s	
	bei klarem Wasser	bei schlamm- und geschiebeführendem Wasser
Schlamm	0,10	0,15
loser, noch nicht abgelagerter Lehm	0,15	0,20
feiner Sand (0,4 mm)	0,15	0,25
mittlerer Sand (0,7 mm)	0,20	0,30
grober Sand (1,7 mm)	0,35	0,50
feiner Kies (2..5 mm), auch Kies mit hohem Sandgehalt	0,60	0,80
mittlerer Kies (5..20 mm)	0,80	1,15
grober Kies (20..50 mm) und feines Geröll	1,40	1,60
sandiger Lehm (gewachsener Boden)	0,40	0,60
feinkörniger Lehm, mit Sand gemischt	0,30	0,50
harter Lehm	0,60	0,75
mittleres Geröll (50..75 mm)	1,70	1,80
grobes Geröll (75..100 mm)	1,90	2,00
eckige Steine, grob	1,70	1,80
gut verwurzelter Böschungsrasen, Rasenziegel	1,80	1,90
Beton bei nennenswertem Sandgehalt des Wassers	-	2,0..2,5
Beton bei sandfreiem Wasser	4,0	-
Bruchsteinpflaster in Zementmörtel	5,0	-

Tab.4: Grenzgeschwindigkeiten  $v_{zul}$  zur Vermeidung von Gerinneerosion [13]



Der Betrachter eines Kanalabflusses kann diese Größe schwer einschätzen. Einfacher bestimmbar ist die Fließgeschwindigkeit, mit deren Hilfe die Schubspannung errechnet werden kann. Deshalb wird in der Literatur neben der Schubspannung die mittlere Fließgeschwindigkeit ebenfalls zur Bewertung des Remobilisierungsvermögens herangezogen. Tabelle 4 zeigt zulässige Grenzgeschwindigkeiten, bei deren Überschreiten es zur Gerinneerosion kommen kann in Abhängigkeit von der Gerinnebeschaffenheit.

Die Klassifizierung der Schubspannungen anhand der Beschaffenheit der remobilisierbaren Sedimente (Körnung, Verfestigung, stoffliche Zusammensetzung) erweist sich in der Literatur als schwierig. Deshalb werden zur Einschätzung der Spülversuche neben der ermittelten Schubspannung die gemessenen Fließgeschwindigkeiten und der qualitative Verlauf der Ablagerungsprofile berücksichtigt.

### **7.2.1. Schubspannung im Oberwasser des Drehbogens**

Während der Versuche erfolgte die Bestimmung der Kennwerte Durchfluß  $Q$  [ $\text{m}^3/\text{s}$ ], Geschwindigkeit  $v$  [ $\text{m}/\text{s}$ ] und Wasserstand  $h$  [ $\text{m}$ ]. Weiterhin beeinflusst der Rohrreibungsbeiwert  $\lambda$  die Größe der Schubspannung. Der Rohrreibungsbeiwert  $\lambda$  ist eine Funktion der Reynoldszahl, der hydraulischen Rauigkeit  $k$  und des lichten Rohrdurchmessers  $d$ . Die Reynoldszahl wurde wie folgt ermittelt:

$$Re = \frac{v \cdot 4 \cdot R}{\nu}$$

Dabei wurde eine kinematische Viskosität  $\nu$  von reinem Wasser von  $10^\circ\text{C}$  angenommen. Aus vorhandenen Meßwerten wurde mit Hilfe der universellen Fließformel die hydraulische Rauigkeit  $k$  ermittelt. Die  $k$ -Werte bewegen sich in einer Spannbreite von 1 bis 5 mm. Die größeren hydraulischen Rauigkeiten wurden bei kleinen Zuflüssen bestimmt. Ein Abnehmen der hydraulischen Rauigkeit mit wachsendem Abfluß kann mit der Verringerung des Verhältnisses

benetzte Schadensfläche des Kanales erklärt werden.  
benetzten Gesamtfläche

Ein Großteil der Schäden im Oberwasser des Drehbogens befinden sich im Sohlbereich (Bild 21).

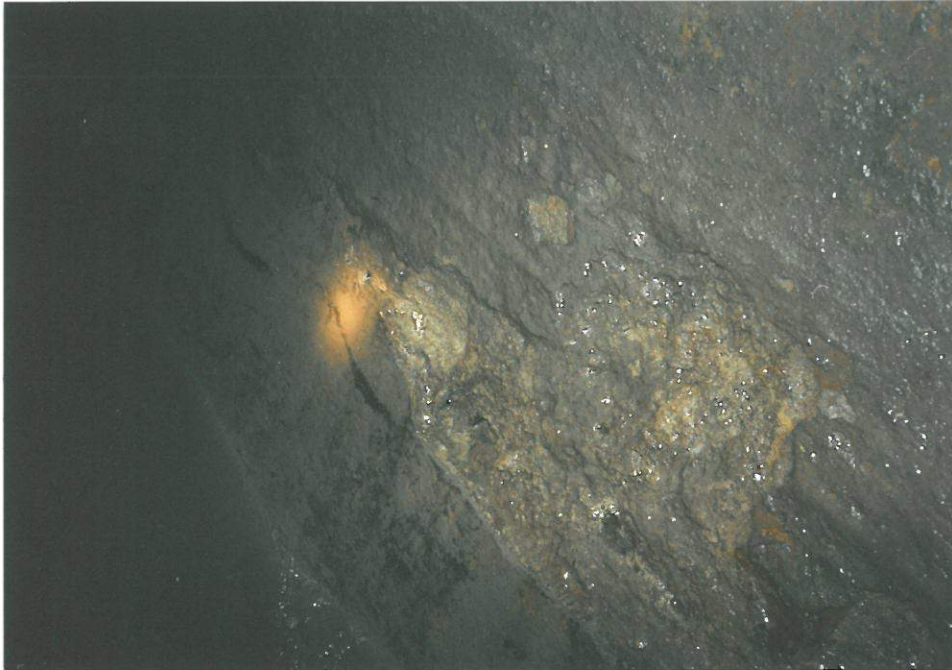


Bild 21: Schäden im Oberwasserkanal des Drehbogens

Die Schubspannungskurven der Bilder 22 (Spülung in den leeren Unterwasserkanal) und 23 (Spülung in den mit Trockenwetterabfluß gefüllten Kanal) basieren auf einem angenommenen k-Wert von 3 mm .

Die maximal erzielbaren Schleppspannungen reichen von 4 bis 9 N/m<sup>2</sup> bei Trockenwetter. Nach ATV-A 110 /2/ kann Quarzsand bis 2,0 mm remobilisiert werden. Für festen Sand sind 8,0 -9,0 N/m<sup>2</sup> bei längerer Belastung erforderlich. Kürzere Belastungen führen erst bei Schleppspannungen von 10 .. 12 N/m<sup>2</sup> zur Remobilisierung der Ablagerungen. Bei einer hydraulischen Rauigkeit von 5 mm erreichen die Schubspannungen eine Größe von 11 N/m<sup>2</sup>.

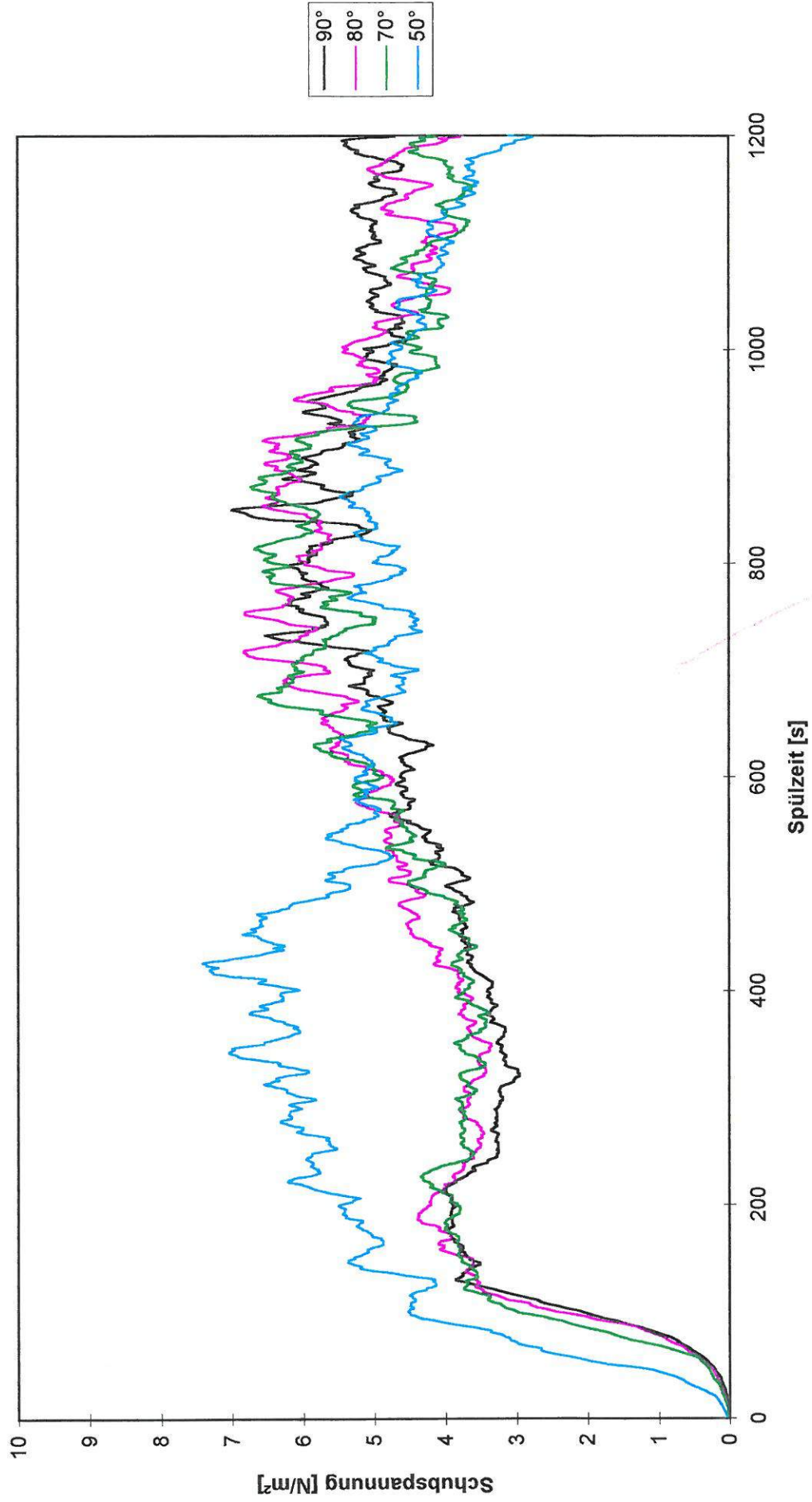


Bild 22: Schubspannungsverlauf in Abhängigkeit von der Drehbogenneigung; Standort RÜ KA Leuben; Spülung in den TW-gefüllten Kanal

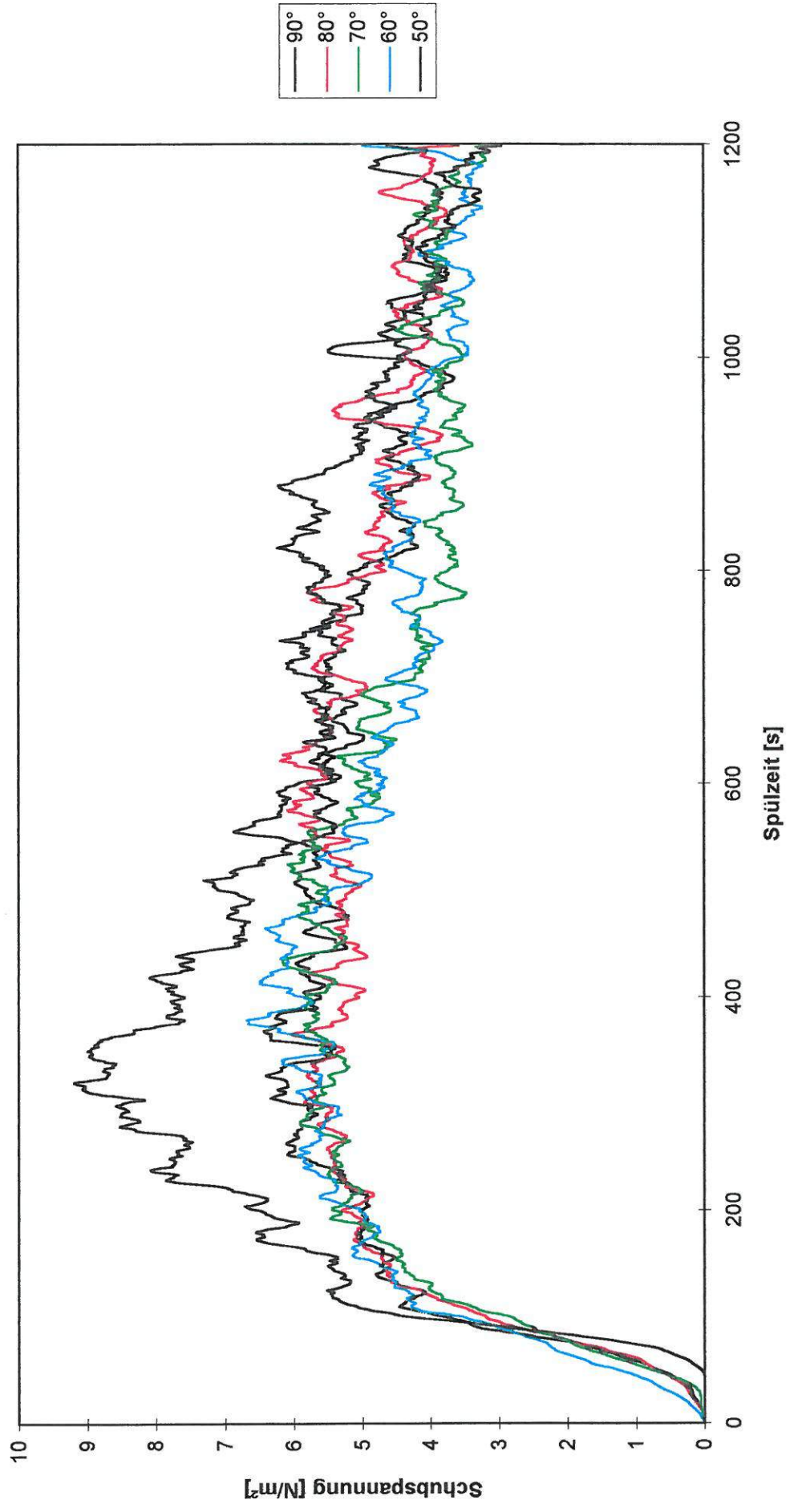


Bild 23: Schubspannungsverlauf in Abhängigkeit von der Drehbogeneigung Standort RÜ KA Leuben; Spülung in den leeren Kanal

Ein Vergleich aller Schleppspannungskurven zeigt, daß die Maximalwerte bei der 50°-Spülung auftreten. Die Maximalwerte betragen bei der Spülung in den leeren Kanal 9 N/m<sup>2</sup> und bei der Spülung in den TW-gefüllten Kanal 7 N/m<sup>2</sup>. Bei der Spülung in den TW-gefüllten Kanal kommt es auf Grund der Teilfüllung im Unterwasser eher und stärker zur Reduzierung des Sunkes und damit zur Verringerung der Schubspannungen im Oberwasser.

Bei den Spülungen über 50° werden sowohl mit den Spülungen in den leeren Kanal als auch mit den Spülungen in den TW-gefüllten Kanal Maximalwerte von 6 N/m<sup>2</sup> erreicht, wobei die Maximalwerte bei den Spülungen in den leeren Kanal infolge der geringeren Drosselung durch das Unterwasser deutlich eher auftreten.

Mit Spülungen über 50° können trotz der größeren freigegebenen Stauhöhe keine höheren Schubspannungen im Sunkbereich erzielt werden. Nach ca. 150 Sekunden geht der zunächst steile Anstieg der Schubspannungen in einen annähernd horizontalen Verlauf über. Genau zu diesem Zeitpunkt erfolgt im Unterwasser der Übergang von der Freispiegel- zur Druckleitung, bei dem ein beachtlicher hydraulischer Verlust auftritt. Während der Spülung in den TW-gefüllten Kanal bewirkt der Verlust durch den Übergang von der Freispiegel- zur Druckleitung im Unterwasser eine geringfügige Reduzierung des ersten Schubspannungsmaximums (Senke).

### **7.2.2. Schubspannung im Unterwasser des Drehbogens**

Die Ermittlung der Schubspannung erfolgte wie unter 7.2.1 beschrieben. Im Gegensatz zu dem Oberwasser waren die Kanalhaltungen des Unterwassers des Drehbogens nicht ablagerungsfrei. Die mittlere Rauigkeit wird durch das gleichzeitige Auftreten der Rauigkeit der Kanalwand und durch die Rauigkeit der Ablagerungen geprägt. Die aus Kontrollmessungen ermittelten mittleren Rauigkeiten betragen zwischen 10 und 30 mm. Für die Schubspannungsermittlung wurde eine mittlere betriebliche Rauigkeit von 15 mm angenommen.

Die Schubspannung wurde am Standort "Garten 50" (Schacht 70.05) 62 m nach dem Drehbogen nachgewiesen. Die Bilder 24 und 25 zeigen den Schubspannungsverlauf an der Meßstelle "Garten 50" (Unterwasser) in Abhängigkeit von der Bogenstellung ( $\beta$ )

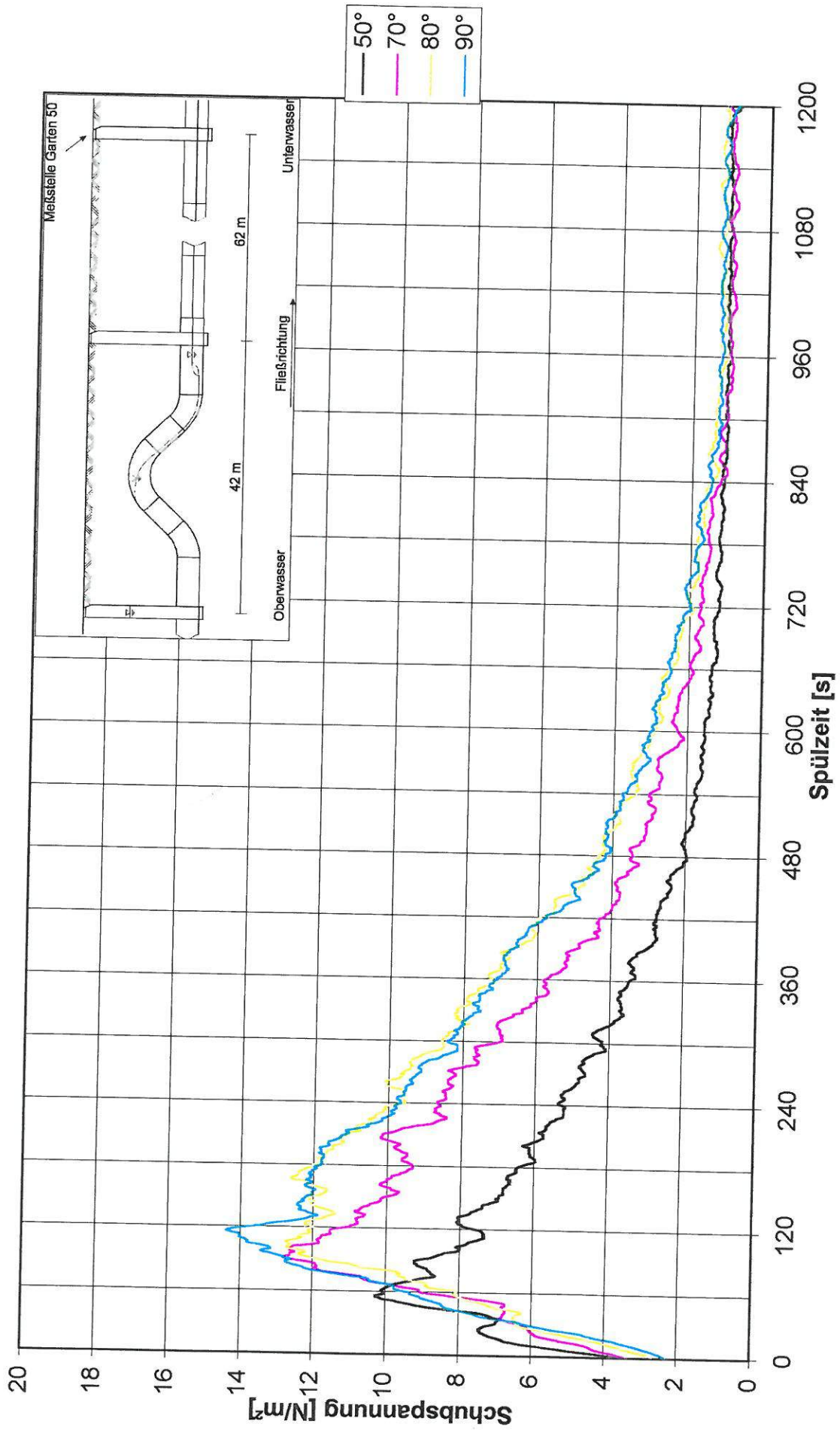


Bild 24: Schubspannungsverlauf bei einer Spülung in den TW-gefüllten Kanal in Abhängigkeit von der Winkelstellung des Drehbogens

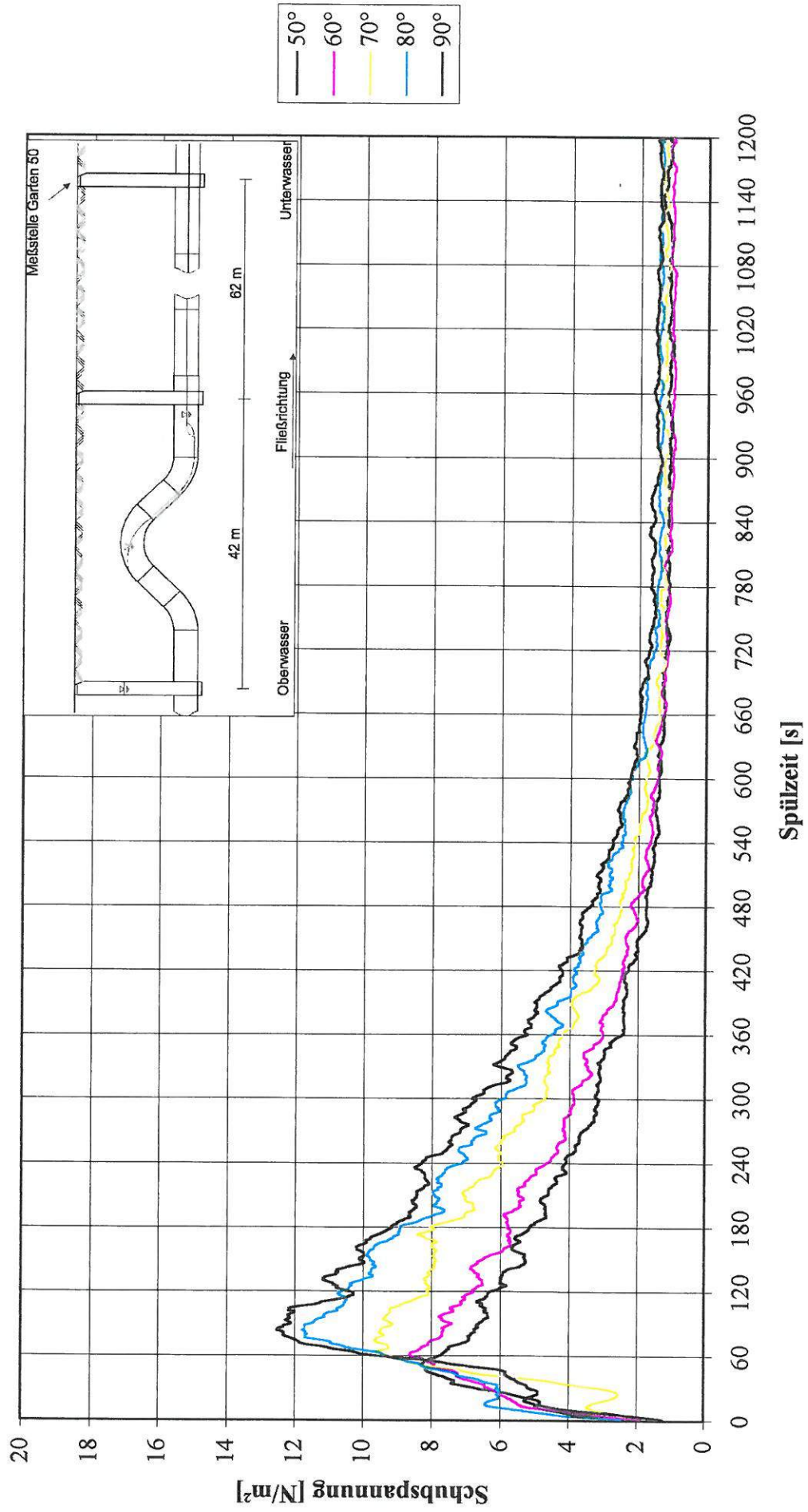


Bild 25: Schubspannungsverlauf bei einer Spülung in den den leeren Kanal in Abhängigkeit von der Winkelstellung des Drehbogens

des Drehbogens. Die Diagramme basieren nur auf Einzelspülungen in den leeren bzw. teilgefüllten (Trockenwetter, TW) Kanal. Mit zunehmender Bogenstellung und damit größerer Stauhöhe erhöhen sich die erzeugbaren Schubspannungen und damit das Abtragungspotential. Die Gesamtentleerungsdauer des aufgestauten Abwasservolumens beträgt maximal ca. 25 Minuten (bei 90° Einstau). Die erzeugte Schwallwelle erreicht nach 2 Minuten ihr Schubspannungsmaximum. Während der ersten 10 Minuten des Spülvorganges tritt sowohl bei der Spülung in den leeren Kanal als auch bei der Spülung in den TW-gefüllten Kanal eine erhöhte Schubspannungsbeanspruchung auf. In diesem Zeitraum findet der Sedimenttransport statt. Nach Preißler/Bollrich [13] ermöglichen die durch den Drehbogen erhöhten Schubspannungen einen Sedimenttransport von grobem Sandgemisch der Körnung 2,0 - 5,0 mm, festgelagertem Sand und feinem Kies, alluvialem Schlamm und steifem Lehm (sehr kolloidal), rundlichem Quarzkies (5...15 mm), lehmigen Kies (nicht kolloidal) und reinem sandigen Lehm.

Durch die Spülversuche wurde der Transport wesentlich größerer Sedimente (Pflastersteine mit einer Kantenlänge von 10 cm) nachgewiesen. Begünstigt wird der Abtrag größerer Feststoffe dadurch, daß die größeren Sedimente in den Fließquerschnitt hineinragen und daß gerade am Kopf einer Ablagerungsdüne verstärkt Abtragskräfte wirken. Diese "Dünenwanderung", ähnlich der Erosion an den Ufern der Inseln durch das Meer, wurde ebenso bei einem Laborversuch mit Reis wie auch in der durch den Drehbogen bewirtschafteten Kanalisation beobachtet. Auf Grund der größeren Angriffsflächen hineinragender Sedimente und des Kopfes der Ablagerungsdüne sind die wirkenden Spannungen wesentlich höher als die erzeugten Schubspannungen und ermöglichen den Transport der großen Sedimente. Neben der Schubspannungsbeanspruchung, die das Ablagerungsbett auflockert und vor allem Feinstoffe entlang der gesamten Ablagerungsdüne ausspült, erfolgt der hauptsächliche Sedimentabtrag am Kopf einer Ablagerungsdüne sowie bei den in den



Fließquerschnitt ragenden Sedimenten. Unter Berücksichtigung dieses Aspektes und dessen, daß sich die Wasserwelle schneller bewegt als die Feststoffwelle, zeigt sich, daß zur Remobilisierung von verfestigten Ablagerungen in größeren Kanalstrecken mittels Spülung eine größere Anzahl an Spülungen erforderlich ist.

### **7.2.3. Fließgeschwindigkeiten im Oberwasser des Drehbogens während der Spülung**

Die Bilder 26 und 27 zeigen den Geschwindigkeitsverlauf im Sunkbereich des Drehbogens bei der Spülung. Durch den mit der Spülung im Oberwasser des Drehbogens entstehenden Sunk erhöht sich die Fließgeschwindigkeit auf 1,65 m/s gegenüber 1,00 m/s bei normalem Trockenwetterabfluß. Auf Grund des guten Kanalisationsgefälles im Oberwasser des Drehbogens muß dort kaum mit nennenswerten Ablagerungen gerechnet werden. Im Trockenwetter können feiner Kies (2...5 mm) und mittlerer Kies (5...20 mm) transportiert werden [13]. Die auftretenden Sunkgeschwindigkeiten von 1,65 m/s ermöglichen eine Erosion von grobem Kies (20...50 mm) und feinem Geröll. Bei einer Spülung in der leeren Unterwasserkanal können größere Sunkgeschwindigkeiten erzielt werden als bei einer Spülung in den mit Trockenwetter teilgefüllten Kanal.

### **7.2.4. Fließgeschwindigkeiten im Unterwasser des Drehbogens während der Spülung**

Während der Spülversuche wurde die Fließgeschwindigkeit am Standort Garten 50 gemessen. Dabei konnte ein Geschwindigkeitszuwachs auf 1,75 m/s gegenüber 0,45 m/s bei normalem Trockenwetterabfluß erzielt werden (90° und 80°-Spülung). Nach Tab.4 ermöglichen diese Fließgeschwindigkeiten einen Transport von mittlerem Geröll (50..75 mm). In den Bildern 28 und 29 ist der Fließgeschwindigkeitsverlauf während der Spülung mit dem Drehbogen (62 m unterhalb des Drehbogens gemessen) dargestellt. Mit zunehmender Stauhöhe vergrößern sich die Maximalwerte der Fließgeschwindigkeit und der Zeitraum der erhöhten Kanalwandbeanspruchung.

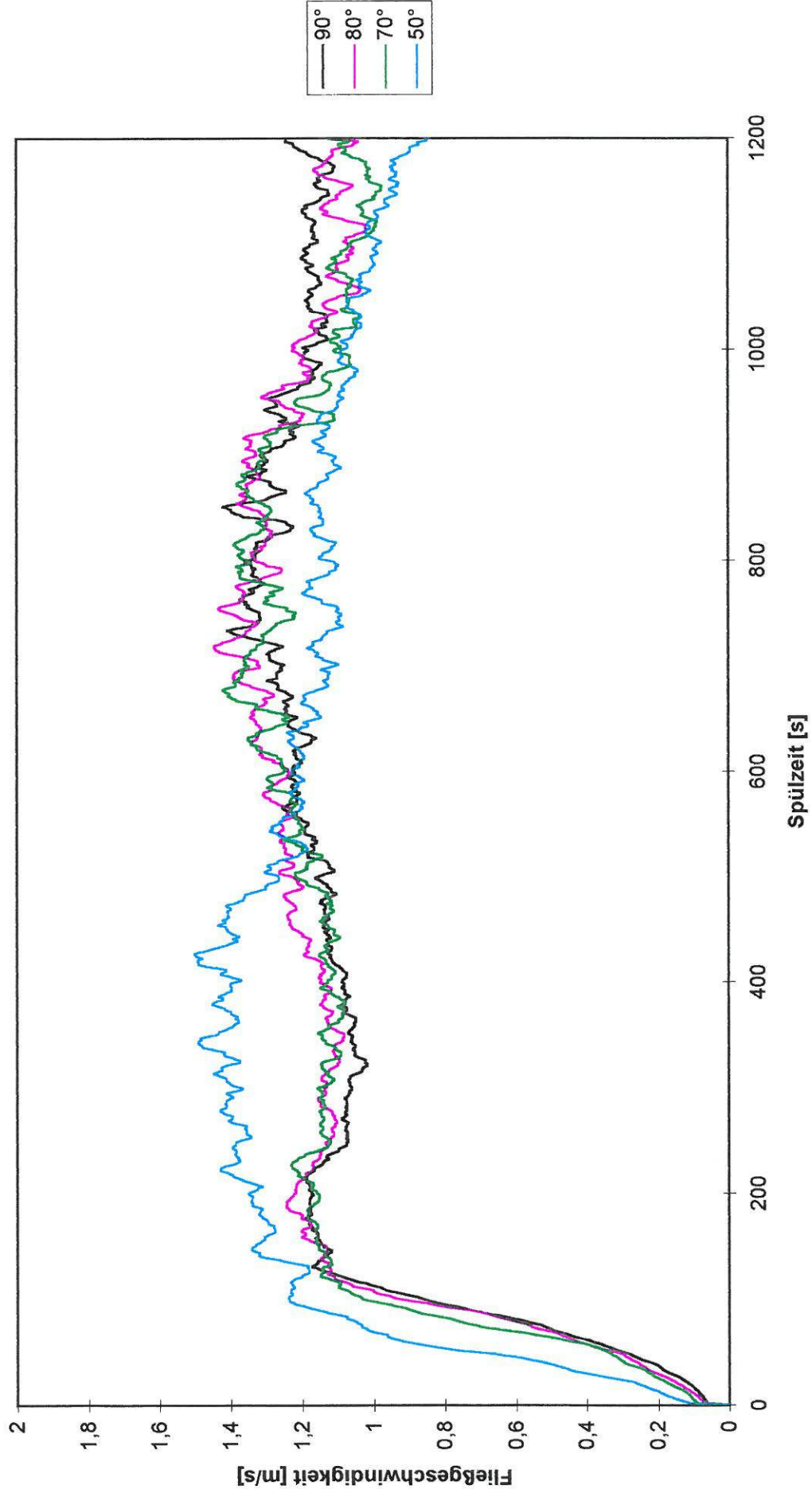


Bild 26: Fließgeschwindigkeitsverlauf in Abhängigkeit von der Drehbogenneigung Standort RÜ KA Leuben; Spülung in den TW-gefüllten Kanal

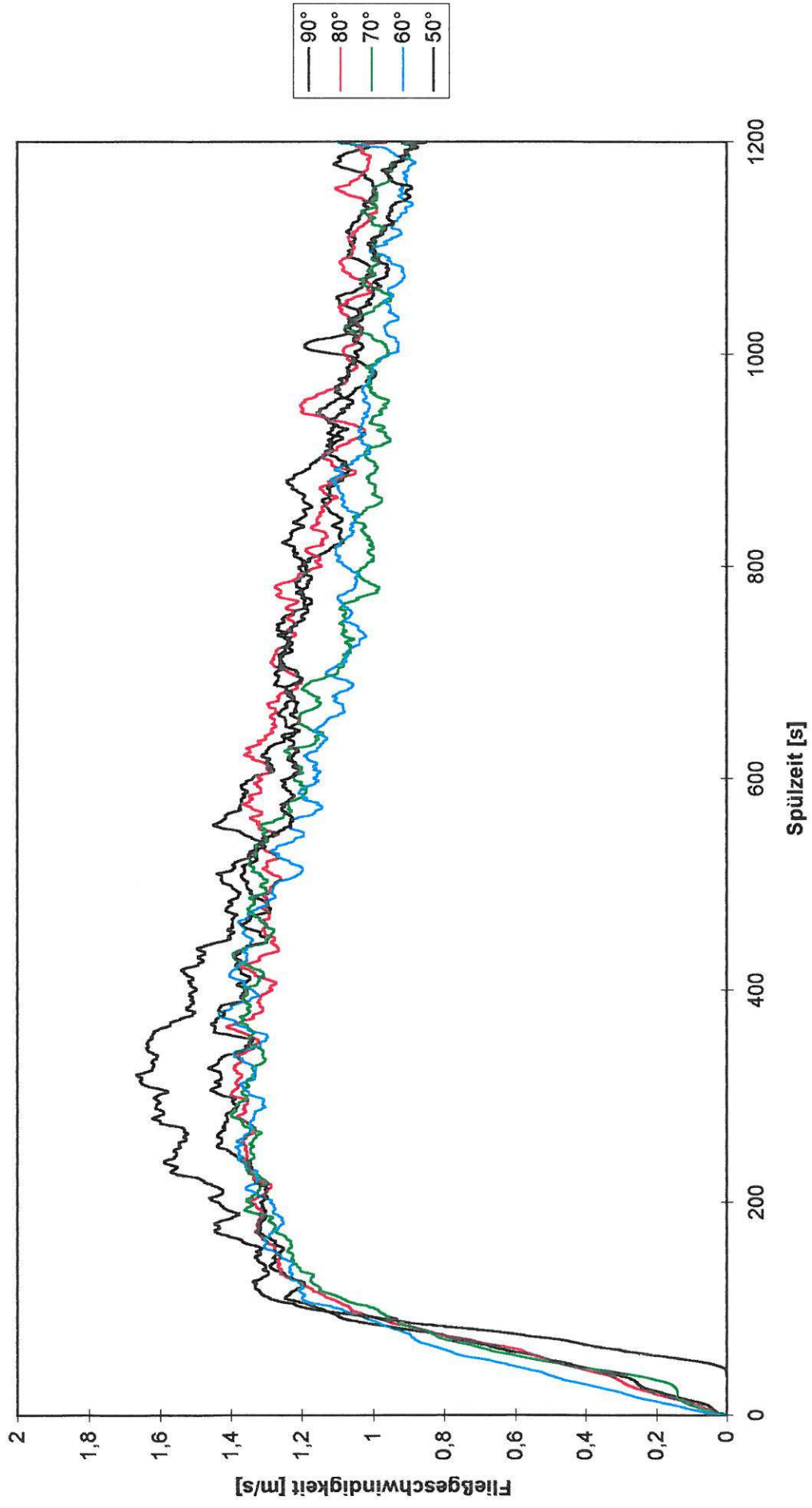


Bild 27: Fließgeschwindigkeitsverlauf in Abhängigkeit von der Drehbogenneigung Standort RÜ KA Leuben; Spülung in den leeren Kanal

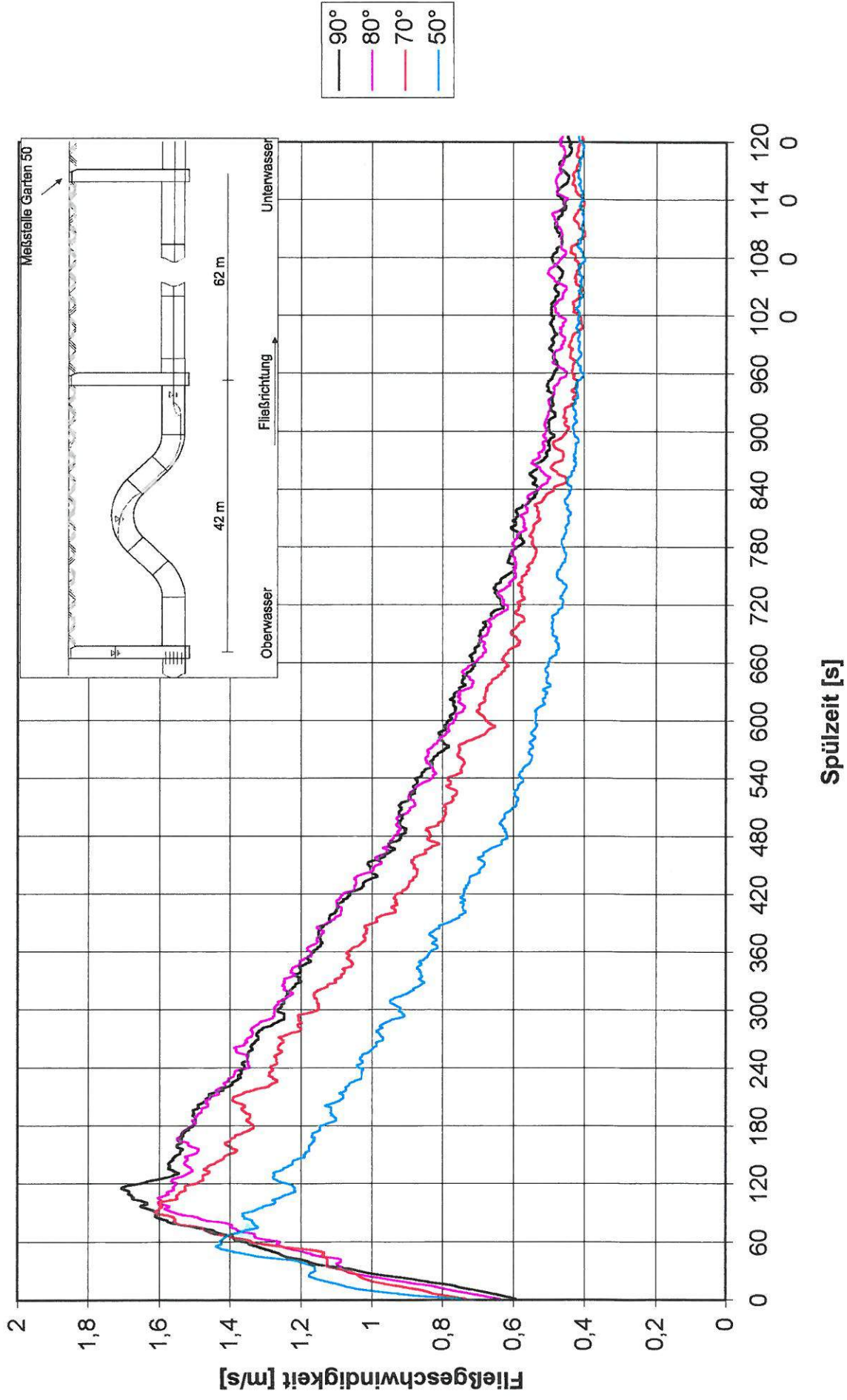


Bild 28: Fließgeschwindigkeitsverlauf bei einer Spülung in den TW-gefüllten Kanal in Abhängigkeit von der Winkelstellung des Drehbogens

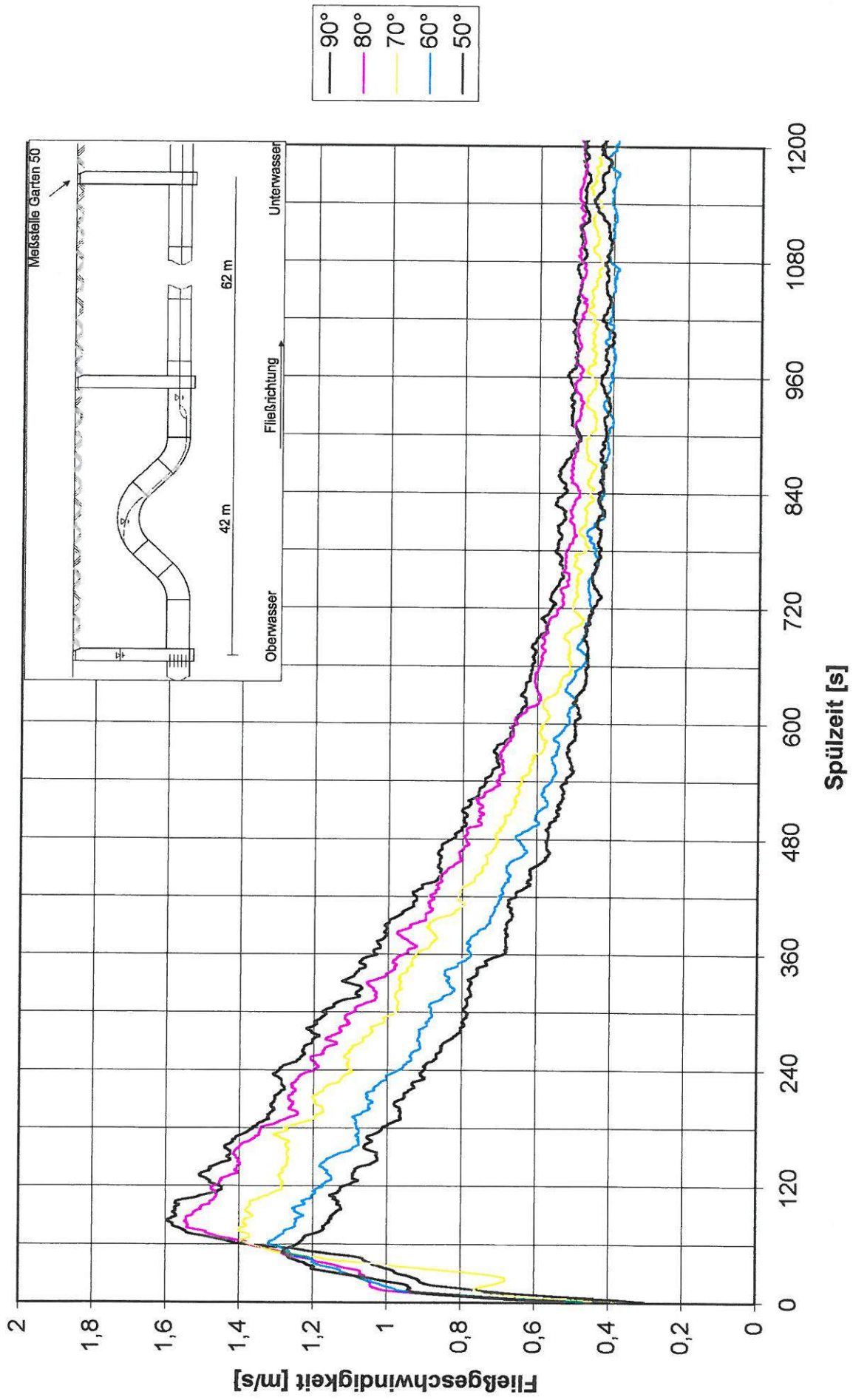


Bild 29: Fließgeschwindigkeitsverlauf bei einer Spülung in den leeren Kanal in Abhängigkeit von der Winkelstellung des Drehbogens

Analog der Schubspannungsbestimmung wurde bei den Versuchen in Spülungen in den leeren Kanal und in Spülungen in den mit Trockenwetterabfluß gefüllten Kanal unterschieden. Aus den Bildern 28 und 29 folgt, daß bei einer Spülung in den mit Trockenwetterabfluß gefüllten Kanal höhere Fließgeschwindigkeiten erreicht werden. Die Schwallwelle breitet sich auf dem Wasserfilm schneller aus als auf der trockenen Kanalsole. Die geringeren Geschwindigkeiten können als Energiedissipation in Form erhöhter Reibungs- und Turbulenzverluste gedeutet werden.

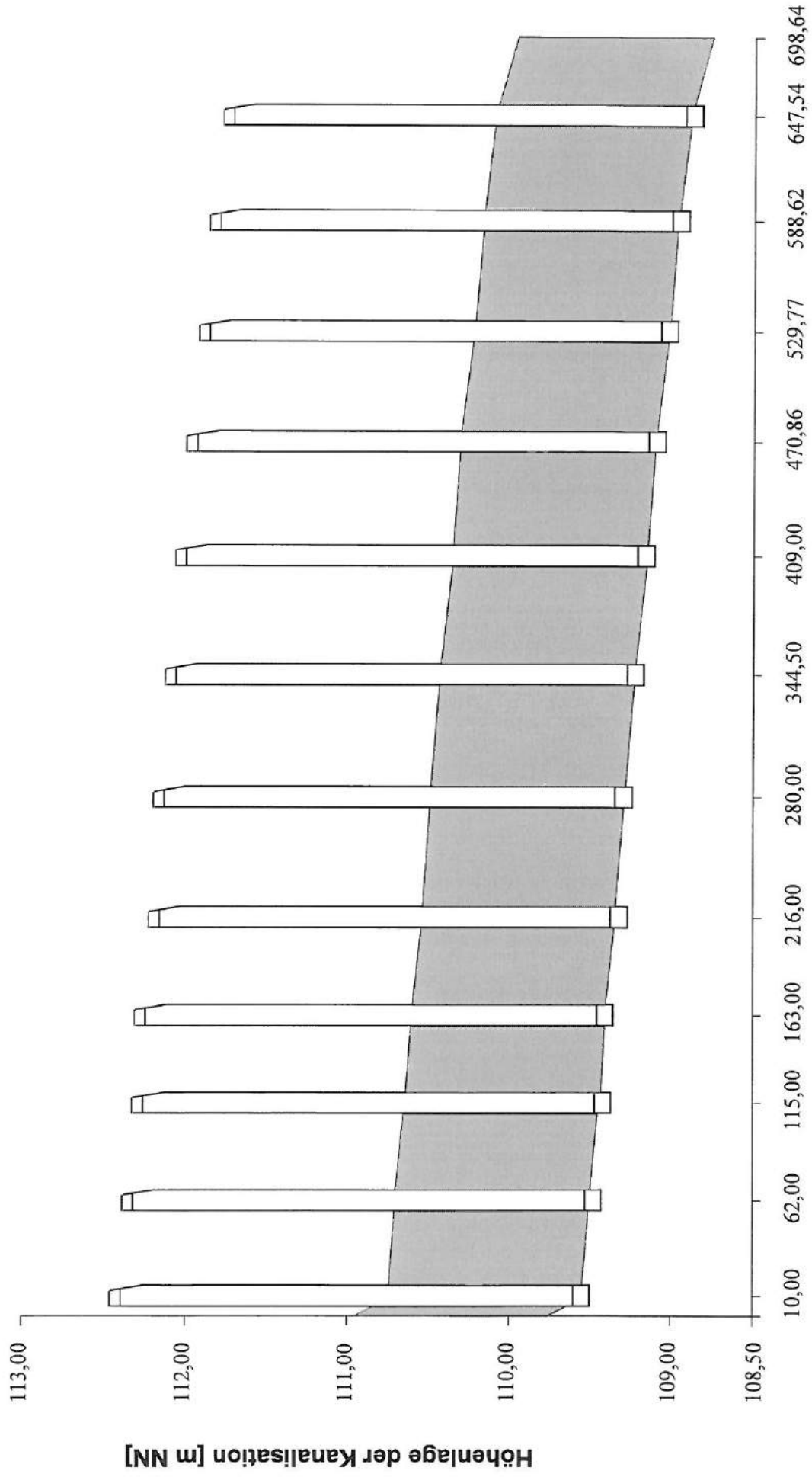
### **7.3. Ablagerungsmessungen**

#### **7.3.1. Bedeutung der Ablagerungen**

Die Ablagerungen wurden manuell sowie auch automatisch (Dükervermessungseinheit DVE) im Oberwasser und Unterwasser des Drehbogens gemessen. Die im Schachtbereich durchgeführten manuellen Messungen konnten durch die DVE weitgehend bestätigt werden. Oberhalb des Drehbogens wurde eine Strecke von 119,33 m überwacht. Unterhalb des Drehbogens wurden die Ablagerungsprofile auf einer Gesamtstrecke von 689,64 m beim Verteilerbauwerk nach dem Drehbogen beginnend aufgezeichnet (Bild 30). Für die einzelnen Haltungen wurden die nachfolgenden Ergebnisse gemessen.

#### **7.3.2. Ablagerungen im Oberwasser des Drehbogens**

Der Kanalabschnitt von Schacht Nr. 77.01 bis 77.03 war bereits vor den Versuchen ablagerungsfrei. Begehungen während des Versuchsprogrammes bestätigten, daß es durch eine Bewirtschaftung des Trockenwetterabflusses **zu keiner Ablagerungsbildung in diesem Kanalabschnitt** kommt. Das Rohrleitungsgefälle dieser Haltung hat positiven Einfluß auf die Ablagerungsfreiheit. Während des Trockenwettereinstauens wird der Abfluß maximal 4 h zurückgehalten. Entsprechend der Fließgeschwindigkeitsverteilung entlang des Einstaubereiches werden die ablagerungsfähigen Stoffe beim Einstauvorgang sedimentieren. Nach den Spülungen waren im Oberwasser des Drehbogens keine bleibenden Ablagerungen beobachtet



**Entfernung vom Verteilerbauwerk nach dem Drehbogen [m]**

**Bild 30: Gesamtübersicht der Ablagerungsmeßstrecken im Unterwasser des Drehbogens**

worden. Das resultiert zum einen daraus, daß in diesem relativ kurzen Einstauzeitraum keine Verfestigung der Ablagerungen stattfindet. Zum anderen sind die Sunkgeschwindigkeiten und die Trockenwetterfließgeschwindigkeiten im Hauptbereich des Stauraumes für eine Remobilisierung ausreichend. Bei Überprüfungen der Randgebiete der Stauwurzel konnte kein Einfluß der Stauraumaktivierung auf eine mögliche Ablagerungsbildung festgestellt werden. Der Einfluß der Fließflächenvergrößerung und damit der Reduzierung der Fließgeschwindigkeit ist gegenüber der in dem Hauptstaubereich gering. Des weiteren findet die Fließflächenvergrößerung in einem wesentlich kleineren Zeitraum statt als am Anfangspunkt des Stauraumes. Der Sedimentationszeitraum ist somit sehr kurz.

Bei einem Starkregen am 13.07.1995 wurde eine größere Sedimentfracht in den Kanalstauraum gespült. Das überwiegend feine Sediment erreichte in diesem Abschnitt eine Ablagerungshöhe von 5 cm. Nach einem Tag Trockenwetterabfluß war dieser Abschnitt wieder ablagerungsfrei.

Am Regenüberlaufbauwerk (Standort Schacht 77.03) konnte **eine Wanderung des Ablagerungsprofils bis hin zur vollständigen Reinigung dieses Kanalabschnittes beobachtet werden.** Vor den Versuchen baute sich eine Feststoffinsel von einer Länge von 7,20 m auf. Die mittlere Ablagerungshöhe betrug 10-15 cm. Diese Ablagerungen bestanden zum großen Teil aus kiesigem Material mit einem sehr geringen Feinstoffanteil. Durch die Spülungen konnte die Länge der Ablagerungen schrittweise reduziert werden bis hin zum vollständigen Abtrag der Ablagerungen. Der Abtrag bei in der Kornverteilung und Form des Ablagerungsprofils homogenen Ablagerungen beginnt am Kopf der Ablagerungsdüne.

### **7.3.3. Ablagerungen im Unterwasser des Drehbogens**

Die Kanalstrecke 77.04 bis 77.05 hat eine Länge von 62 m und eine Nennweite von DN 1200. Das Gefälle beträgt 0,02 auf einer Strecke von 0 bis 10 m und 0,00096 von 10 bis 62 m. In diesem Haltungsabschnitt traten die größten Ablagerungen auf. Die Ablagerungszusammensetzung wies ein breites Spektrum auf. Feinstoffe, Kies und Geröll (Kantenlänge > 10-15 cm) wurden nachgewiesen. Auffällig war die starke



Verfestigung der Ablagerungen in diesem Abschnitt. Das Ablagerungsprofil vom 24.01.95 stellt den Ausgangszustand dar. Bis zum 28.03.95 wurden 20 Spülungen vorgenommen. Die Reduzierung des Ablagerungsprofils ist vor allem auf die Ausspülung der Feinstoffe zurückzuführen. Bis zum 04.04.95 wurden weitere 60 Spülungen durchgeführt. Die Ablagerungshöhe wurde auf einer Länge von 10 m beginnend bis 40 m um durchschnittlich 10 cm reduziert. Im Bereich von 5 m bis 10 m vom Haltungsanfang befanden sich Gesteinsbrocken mit Kantenlängen > 20cm. Um Meßverzögerungen zu vermeiden, wurden diese manuell beräumt. Seit dem 20.06.1995 (150 Spülungen) ist diese Haltung von den Ablagerungen befreit.

Das Bild 31 verdeutlicht die stromab erzeugte Drift der Ablagerungen. Vorher vorhandene Senken im Ablagerungsprofil wurden durch die Spülprozesse mit Sediment aufgefüllt. Auffällig war, daß durch die Spülungen die Verfestigung der Kanalablagerungen deutlich reduziert wurde. Die Zusammensetzung der Kanalablagerungen änderte sich von kiesig auf grobkiesig.

Die Kanalstrecke 77.05 bis 77.07 hat eine Länge von 101m. Die Nennweite beträgt DN 1200. Das Gefälle beträgt auf den ersten 53 m der Meßstrecke 0,00113 und auf dem Abschnitt von 53 m bis 101 m 0,00083. Das Bild 32 zeigt eine Verdriftung der Ablagerungen stromabwärts. Am Haltungsanfang war nach 93 Spülungen eine Reduzierung der Ablagerungshöhe um 10 cm zu beobachten. Für das Ende der Haltung wurde ein Zuwachs von 5 cm Ablagerungshöhe nachgewiesen. Der im Vergleich zur Kanalstrecke 77.04 bis 77.05 geringere absolute Spüleinfluß ist vor allem auf eine Verdriftung des aus der ersten Haltung abgespülten Sedimentes zurückzuführen. Die ursprünglich weichen, feinkiesigen Ablagerungen waren nach den 93 Spülungen des Versuchsprogrammes kiesig, ohne Feinstoffanteil, zusammengesetzt. Seit dem 24.08.1995 war das anfangs geschlossene Sedimentbett so stark erodiert, daß erstmals Ablagerungsinselfen beobachtet wurden. Das Ablagerungsprofil vom 05.12.1995 weist nur noch am Haltungsende größere Ablagerungsinselfen aus. Bis zum 05.12.1995 wurden 191 Spülungen durchgeführt.

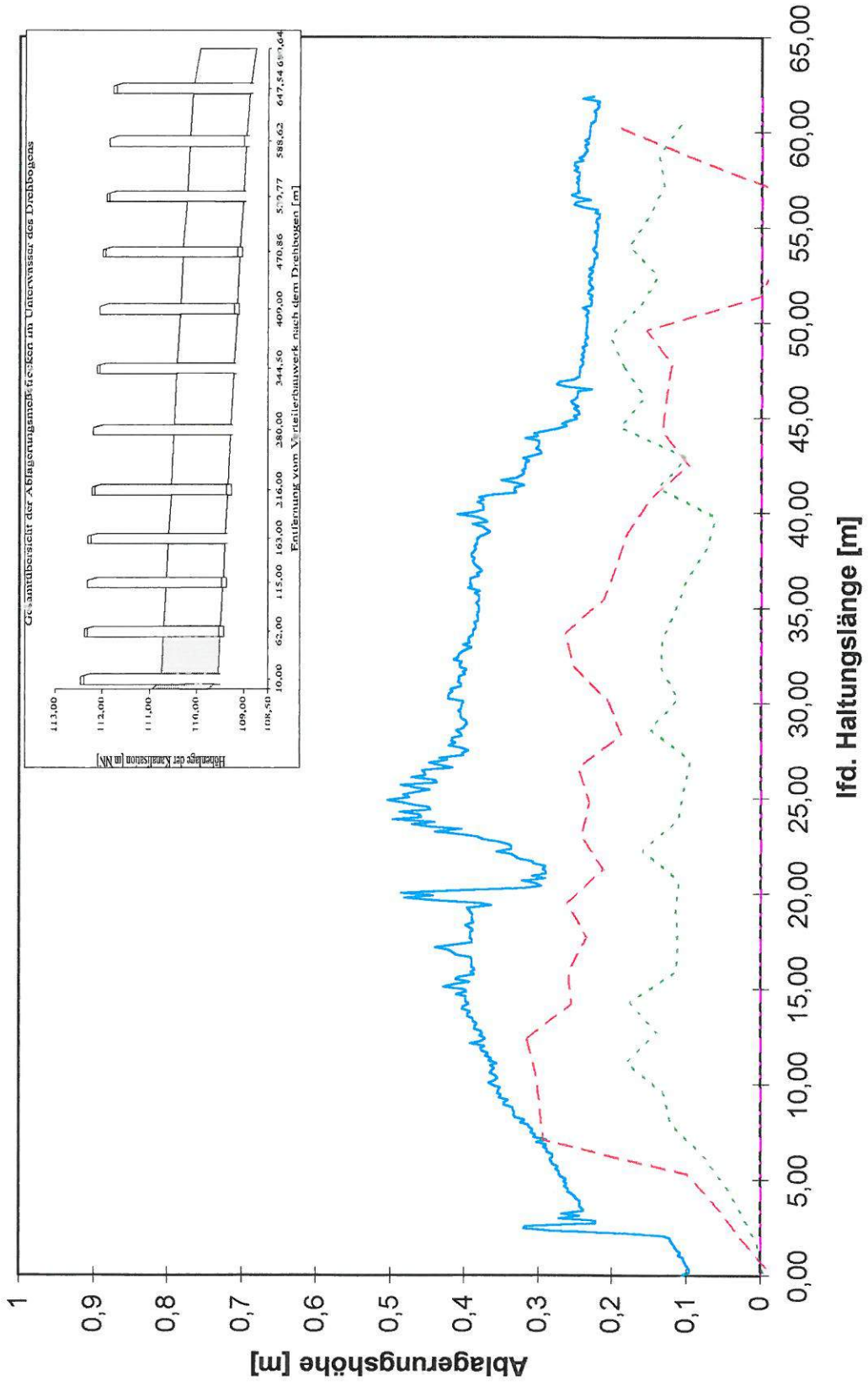


Bild 31: absolute Ablagerungshöhe Strecke 77.04 - 77.05

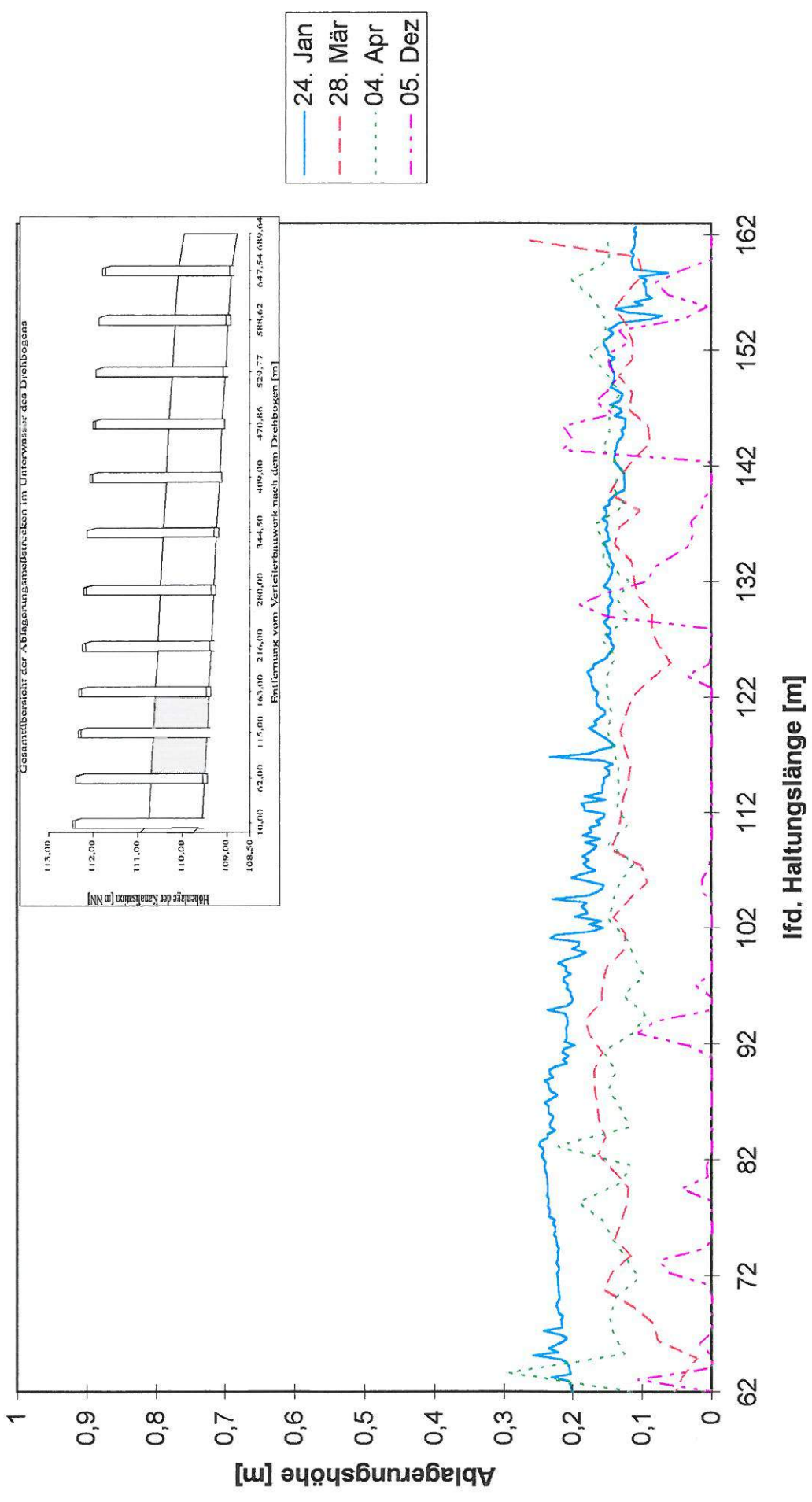


Bild 32: absolute Ablagerungshöhe Strecke 77.05 - 77.07

Die Kanalstrecke 77.07 bis 77.10 hat eine Länge von 181,5 m. Die Nennweite beträgt DN 1200. Das Gefälle der Teilmaltungen beträgt 0,00113 auf 0 bis 53 m; 0,00094 auf 53 bis 117 m; 0,00093 auf 117 bis 181,5 m. Neben den Kanalstrecken 77.04 bis 77.05 und 77.05 bis 77.07 war hier der größte Abtrag an Ablagerungen zu beobachten. Gegenüber dem Kanalabschnitt 77.05 bis 77.07 waren die Ablagerungen noch feinkiesiger, teilweise schluffig, so daß diese Ablagerungen noch leichter auszuspülen waren. Für die Remobilisierung begünstigend zeigte sich der Aufsprung im Ablagerungsprofil, welcher der Schwallwelle eine große Angriffsfläche zum Feststoffabtrag bot. Im Laufe der Spülungen (nach 93 Spülungen) wurde dieser Aufsprung abgetragen, so daß sich in diesem Abschnitt ein homogenes Ablagerungsprofil ausgebildet hat. Durch die Fortsetzung des Spülprozesses wurde das geschlossene Ablagerungsprofil in Ablagerungsinseln erodiert (Bild 33). Die Körnung der Ablagerungen hat sich ebenfalls vergrößert.

Die Meßstrecke 77.10 bis 77.13 hat eine Länge von 185,27 m; die Dimension der Kanalisation ist DN 1200. Das Gefälle der Maltungsabschnitte beträgt 0,00124 auf 0 bis 64,5 m; 0,00065 auf 64,5 bis 126,36 m und 0,00155 auf 126,36 bis 185,27 m. Durch die Spülversuche wurden die Feinstoffe ausgespült. Die Ablagerungen sind nach den Spülungen sandig-locker. Die Änderung der Ablagerungszusammensetzung deutet auf eine Verdriftung der Sedimente aus oberhalb gelegenen Maltungen hin (Bild 34). Auch in diesem Abschnitt sind bis zur Hälfte zunehmend Ablagerungsinseln zu beobachten. Ab der halben Leitungslänge befindet sich ein geschlossenes Sedimentbett von ca. 10 cm Höhe.

Der Meßabschnitt 77.13 bis 77.15 hat eine Länge von 117,77m und ist mit einer Nennweite von DN 1200 verlegt worden. Das Gefälle beträgt 0,00085 auf 0 bis 58,85 m und 0,00136 auf einer Länge von 58,85 bis 117,77 m. Die Ablagerungen bestehen aus Sand und Feinkies. Der schluffige Anteil wurde weggespült. Das Bild 35 zeigt innerhalb der Maltung deutlich eine Wandlung des geschlossenen Ablagerungsbettes zu Ablagerungsinseln.

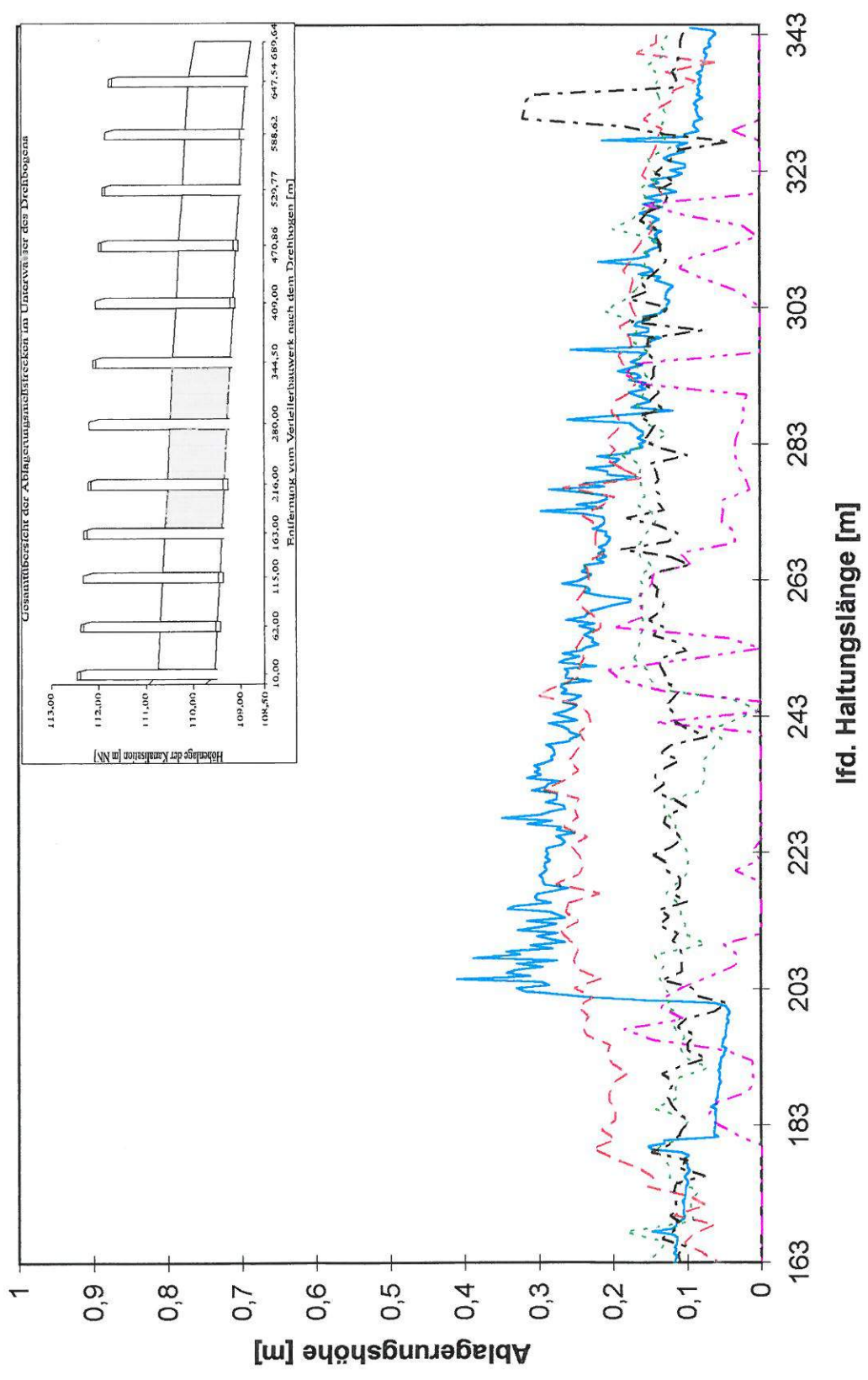


Bild 33: absolute Ablagerungshöhe Strecke 77.07 - 77.10

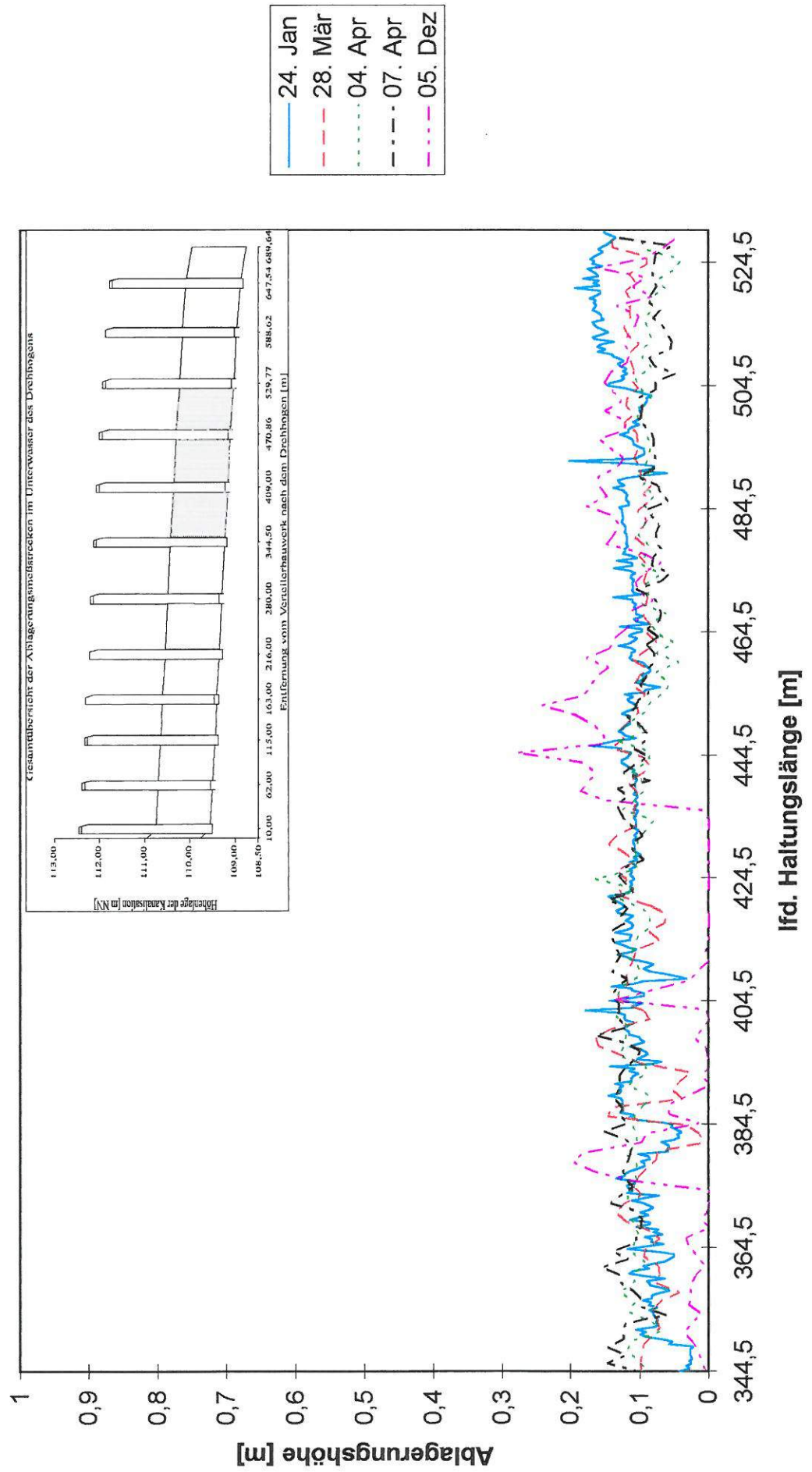


Bild 34: absolute Ablagerungshöhe Strecke 77.10 - 77.13

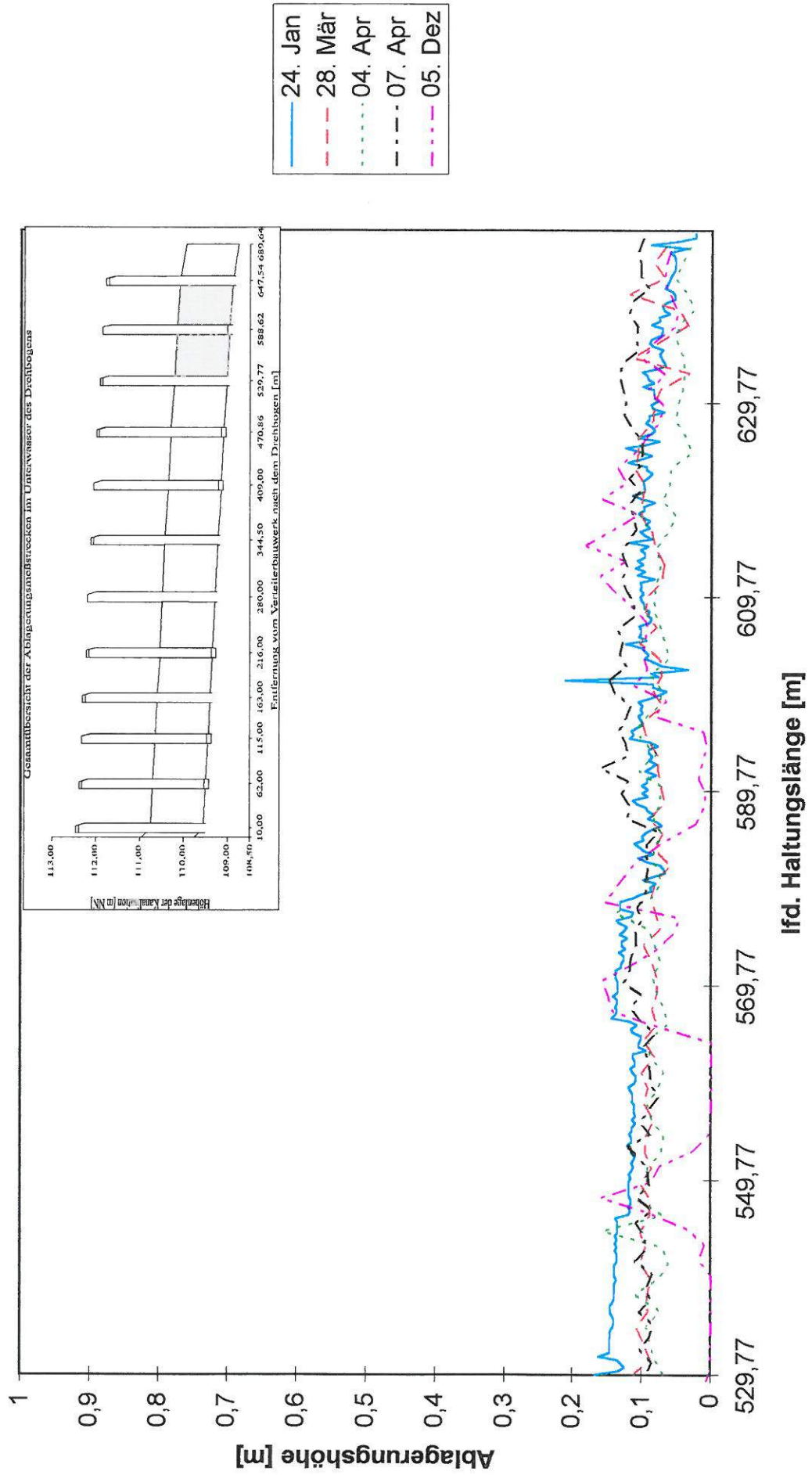


Bild 35: absolute Ablagerungshöhe Strecke 77.13 - 77.15

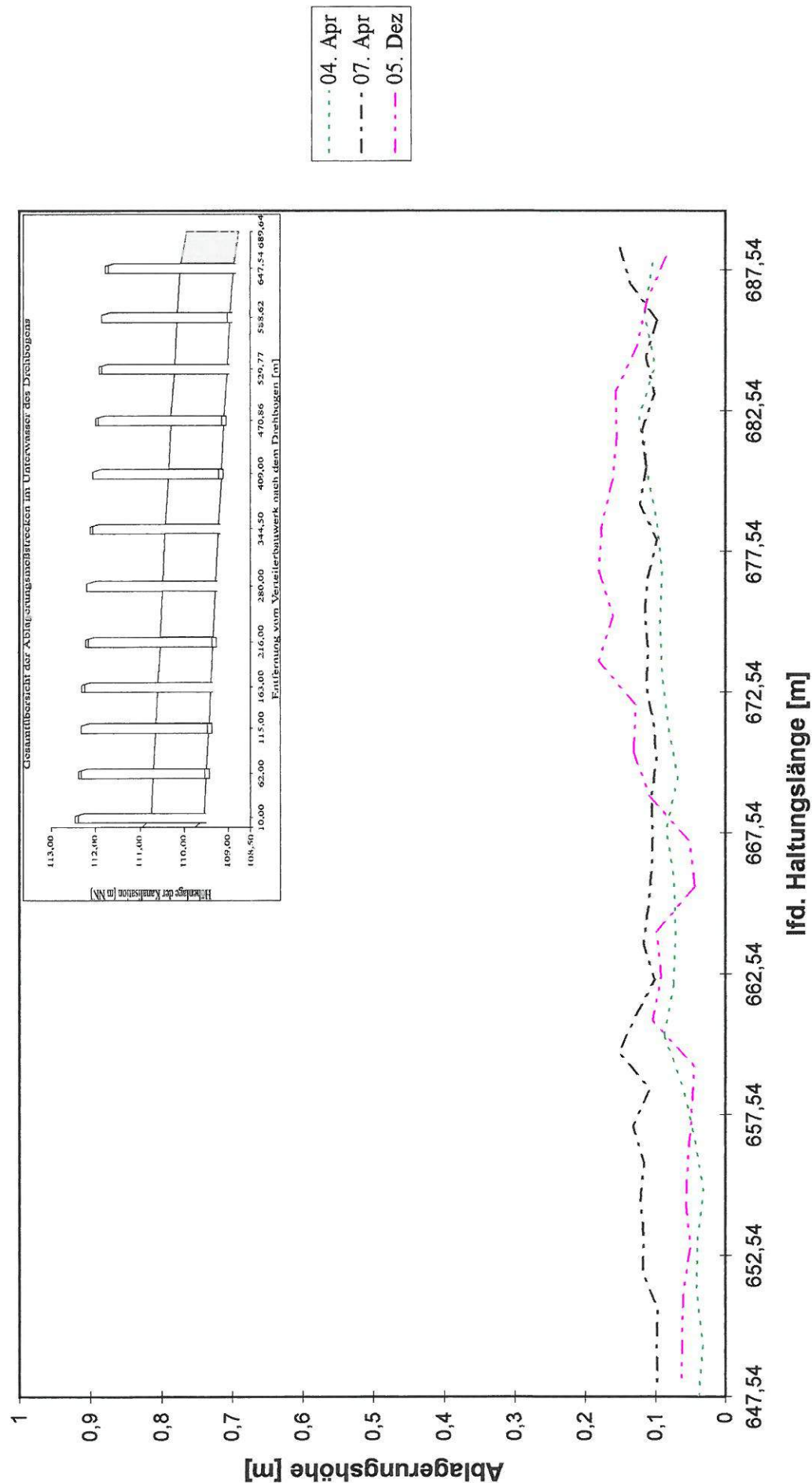


Bild 36: absolute Ablagerungshöhe Strecke 77.15 - 1.01



Noch deutlicher wird die Drift in der nächsten Haltung (Bild 36). Durch die häufigen Spülungen wurden die Ablagerungen aus den oberhalb befindlichen Kanalsträngen in die Haltung 77.15 bis 1.01 bewegt. Die Haltung von 77.15 bis 1.01 hat eine Länge von 42,1 m und eine Nennweite von DN 1200. Das Gefälle beträgt 0,00148. Für weiter unterhalb des Drehbogens gelegene Haltungen wurde kein Ablagerungsprofil aufgenommen. Durch manuelle Begehungen im sich an die Haltung 77.15 bis 1.01 anschließenden Abfangsammler war eine deutliche Zunahme der Ablagerungshöhe bemerkbar.

Zusätzlich zu den Messungen der Ablagerungshöhen wurden an mehreren Stellen im Unterwasser mit einer Kanalschaufel Sedimentproben entnommen und der Kornaufbau bestimmt. Bild 37 zeigt die Körnungsverteilung für den Standort Hecke (173 m unterhalb des Drehbogens). Auffällig ist der verhältnismäßig hohe Anteil der Körnung > 8mm.

Nach Shields [13] sind bei einem einheitlichen Korn  $d_k = 16 \text{ mm}$  Schubspannungen bis  $15 \text{ N/m}^2$  zur Bewegung von kohäsionslosem Sediment aufgetreten.

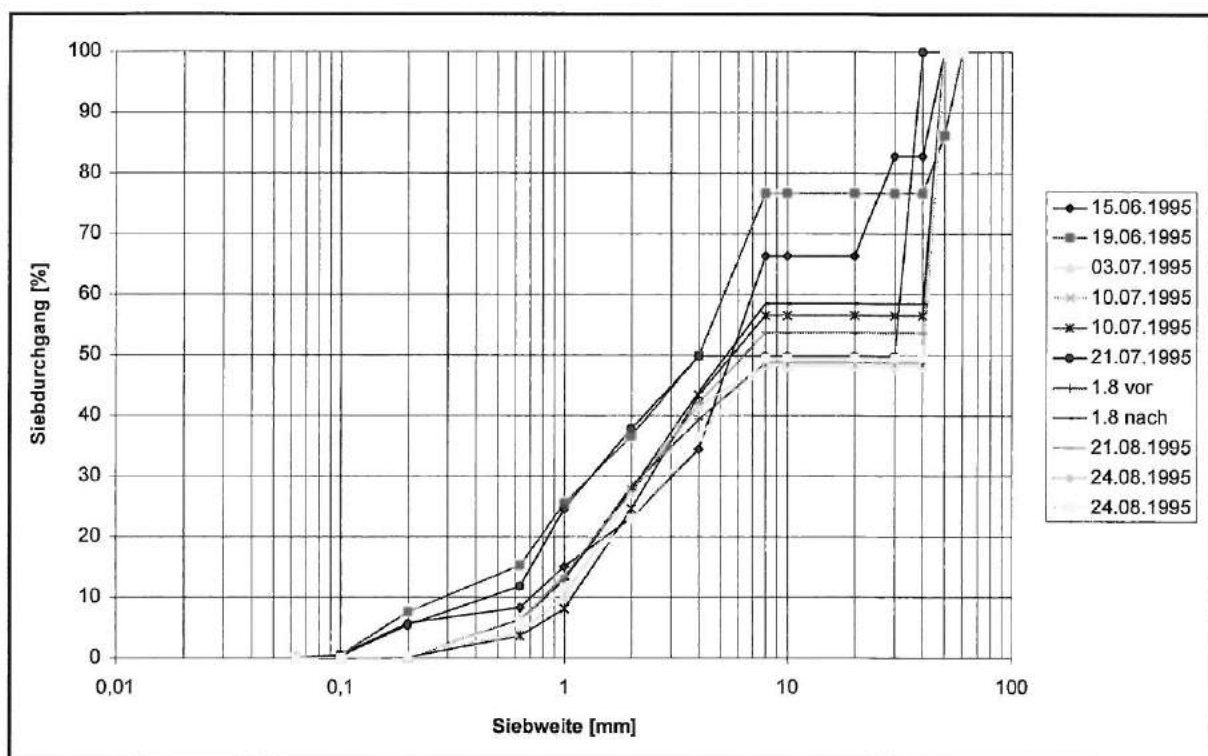


Bild 37: Körnungsverteilung der Sedimente

#### **7.4. Schlußfolgerungen aus den Spülversuchen**

Für den Sunkbereich lassen sich folgende Aussagen treffen:

1. Solange im Unterwasser Freispiegelabfluß während der Spülung auftritt, nimmt die maximale Schubspannung mit der Neigung des Drehbogens (freigegebene Stauhöhe) zu.
2. Größere Schubspannungen und damit Reinigungswirkungen im Sunkbereich des Drehbogens lassen sich mit Spülungen in den leeren Kanal erzielen.
3. Am Standort Dresden-Leuben sind die Schubspannungen im Sunkbereich des Drehbogens ausreichend, um den Kanal ablagerungsfrei zu halten.

Für das Unterwasser kann folgendes festgestellt werden:

1. Die Schubspannung nimmt mit der Neigung des Drehbogens (freigegebene Stauhöhe) zu.
2. Zieht man die Schubspannung und Fließgeschwindigkeit als charakteristische Größen für die Remobilisierung heran, ist für das Unterwasser die Spülung in den TW-gefüllten Kanal zu empfehlen. Größere Schubspannungen und damit Reinigungswirkungen im Unterwasser des Drehbogens lassen sich mit Spülungen in den mit TW teilgefüllten Kanal erzielen. Der Nachweis, ob die erodierende Wirkung der Schwallwelle auf das Sedimentbett im leeren Kanal stärker ist als im TW-gefüllten Kanal, muß durch Modellversuche erbracht werden.
3. Die Schubspannungskurven für das Unterwasser weisen einen schnellen Anstieg der Schubspannung auf. Unabhängig von der Neigung des Drehbogens treten die größten Schubspannungen am Beginn einer Spülung auf und dauern im Verhältnis zur Gesamtentleerungszeit des Stauraumes nur kurz an. Um die Spülkraft der Schwallkopfes zu nutzen, empfiehlt es sich,

Intervallspülungen durchzuführen. Nach dem Schubspannungsmaximum der ersten Schwallwelle wird das Oberwasser wieder kurzzeitig eingestaut. Nunmehr kann sich das Unterwasser entleeren (Verringerung der Drosselwirkung auf den folgenden Schwall) und im Oberwasser wird gleichzeitig die Stauhöhe wieder aufgebaut.

Die erreichten Geschwindigkeiten bei einem Schwall am Drehbogen-Pilotprojekt können nicht weiter überschritten werden. Eine Vergrößerung der Geschwindigkeiten ist nur bei schnelleren Absenkzeiten des Bogens möglich und das auch nur in geringem Umfang.

Durch eine größere Überhöhung sind für zukünftige Anlagen noch höhere Schleppspannungen zu erwarten. Begrenzt wird die die Spülung beeinflussende effektiv wirksame Stauhöhe durch die Absenkgeschwindigkeit des Drehbogens

Neben der durch die Schleppspannungsbeanspruchung erzeugten Gerinneerosion erfolgt die Remobilisierung von Ablagerungen vor allem durch die auf die in den Fließquerschnitt hineinragenden Angriffsflächen am Kopf einer Ablagerungsinsel bzw. durch die Aufsprünge im Ablagerungsprofil.

Für unmittelbar an Kanalisationsstellglieder angrenzende Haltungen eignet sich Spülung durchaus, um diese Kanalhaltung ablagerungsfrei zu gestalten. Die am Pilotprojekt nachgewiesene Erosion und Drift der Ablagerungen auf einer Strecke von 689,64 m unterstreichen die Eignung des Drehbogens zur Spülung der untersuchten Kanalstrecke. Die Spülversuche verdeutlichen, daß die erodierende Wirkung der Spülung mit der Zahl der Spülungen zunimmt. Für große Ablagerungen stellt die Erosion der Ablagerungen mit Spülung einen langwierigen Prozeß dar.

## **8. Einschätzung der Gefährdung durch Schwefelwasserstoff infolge Bewirtschaftung**

### **8.1. Schwefelwasserstoff in der Kanalisation**

Auf Grund der biogenen Schwefelsäure-Korrosion an der Kanalwand und der stark toxischen Wirkung des Schwefelwasserstoffes auf den Menschen muß die Bildung von Schwefelwasserstoff in der Kanalisation verhindert werden. Der Schwefelwasserstoff entsteht vor allem durch die biologische Umsetzung von Sulfatschwefel zu Sulfiden. Dazu sind anaerobe Milieubedingungen im Abwasser notwendig. Seltener gelangen Sulfide ( $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{HS}^-$ ,  $\text{S}^{2-}$ ) direkt durch Industrieeinleiter in das Abwasser. Für die Bildung von Schwefelwasserstoff und für die biogene Korrosion sind folgende Prozesse notwendig:

- Biologische Reduktion von Sulfaten und anderen Schwefelkomponenten im Abwasser unter anaeroben Bedingungen zu Sulfiden ( $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{HS}^-$ ,  $\text{S}^{2-}$ ),
- Freisetzung von Schwefelwasserstoffgas in die Kanalatmosphäre, das sich an der feuchten Kanalwand löst,
- biologische Oxydation des auf Baustoffen oberhalb des Abwasserspiegels gelösten  $\text{H}_2\text{S}$  zu Schwefelsäure und elementarem Schwefel.

Unter anoxischen und anaeroben Bedingungen kommt es bereits in den oberen Schichten der Sielhaut und der Ablagerungen zur Reduktion von Sulfaten. Die entstehenden Sulfide diffundieren in das Abwasser (Voraussetzung ist ein anaerobes Milieu im Abwasser). Im Abwasser bildet sich ein Gleichgewicht zwischen gelösten Sulfiden und gasförmigen Schwefelwasserstoff. Das Gleichgewicht ist abhängig vom pH-Wert, der Temperatur und vom Gehalt an metallischen Ionen (Fe, Zn). Mit kleinerem pH-Wert nimmt der Anteil an gelöstem molekularem Schwefelwasserstoffgas zu. Thistlethwayte [19] gibt für die pH-Werte von 6, 7, 8 Anteile von gelöstem molekularem Schwefelwasserstoff von 90%, 50% und 10% an.

Eine Temperaturzunahme verringert den Anteil an molekularen Sulfiden im Abwasser. Die metallischen Ionen können mit den in der Sielhaut und in den Sedimenten entstehenden gelösten Sulfiden reagieren. Dabei entstehen unlösliche

Sulfidverbindungen. Die durch Metalle gebundenen Sulfide können nicht in gelösten molekularen Schwefelwasserstoff überführt werden. Es werden bei normalem häuslichen Abwasser mindestens die ersten 0,25 mg/l frei werdender Sulfide in eine unlösliche Form umgewandelt [19]. D.h., ein größerer Gehalt an Metallionen führt zu einer Verringerung der an der Gleichgewichtsreaktion teilnehmenden Sulfide und damit zur Verringerung des gelösten molekularen Schwefelwasserstoffes.

Folgende Einflußfaktoren für die Schwefelwasserstoffbildung im Abwasser sind zu nennen:

- Das Substratangebot (CSB, organische Säuren),
- der Sauerstoffgehalt und -eintrag,
- die Größe der Sielhaut und Ablagerungen,
- der Sulfat-, Sulfidgehalt des Abwassers,
- der Gehalt an Metallionen im Abwasser,
- die Temperatur und
- der pH-Wert.

Zwischen dem molekular gelösten Schwefelwasserstoff und dem Schwefelwasserstoffgehalt der Luft bildet sich nach dem Henry'schen Gesetz ein Gleichgewicht aus. Die Emission von Schwefelwasserstoff aus dem Abwasser ist im wesentlichen von folgenden Faktoren abhängig:

- Dem Konzentrationsgefälle zwischen Wasser- und Gasphase,
- der Löslichkeit des Schwefelwasserstoffes (pH-Wert, Druck, Temperatur),
- der Durchlässigkeit der Phasengrenzflächen (z.B. kein Ölfilm) und
- von der Turbulenz des Abwassers.

Der Übergang des Schwefelwasserstoffs aus der Kanalatmosphäre an die feuchte Kanalwandung findet nach dem dort gleichfalls geltenden Henry'schen Gesetz statt, wie auch der Übergang des Schwefelwasserstoffes aus dem Abwasser in die Abwasseratmosphäre. Folglich ist der Schwefelwasserstoffgehalt an der Kanalwand abhängig von

- dem Konzentrationsgefälle des Schwefelwasserstoffes zwischen

Abwasseratmosphäre und der feuchten Kanalwand,

- der Löslichkeit des Schwefelwasserstoffes (pH-Wert, Druck, Temperatur),
- der Durchlässigkeit der Phasengrenzflächen (z.B. kein Ölfilm) und
- von der Turbulenz der Abwasseratmosphäre.

Der jetzt in der Feuchtigkeit der Kanalwand gelöste Schwefelwasserstoff wird mit Hilfe von Schwefelbakterien zu Schwefel und Schwefelsäure umgewandelt. Die Schwefelsäurebildung an der Kanalwand wird entscheidend beeinflusst durch

- das Vorhandensein von Sulfiden oder Schwefel an der Kanalwandung,
- die Feuchtigkeit an der Kanalwand,
- günstige Milieubedingungen (Temperatur, pH-Wert der Kanalwandung) und ausreichend Substrat ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{NH}_4$ ,  $\text{PO}_4$ ) für die Entwicklung der Schwefelbakterien

## 8.2. Örtliche Bedingungen in Dresden-Leuben

Vor Beginn der Bewirtschaftung des Kanalnetzes in Dresden-Leuben galt es, das Potential für eine durch die Bewirtschaftung hervorgerufene biogene Korrosion abzuschätzen. Dazu wurden Stichproben des Abwassers, der Sielhaut und des Sedimentes genommen sowie mehrere Tagesganglinien als 2h-Mischprobe aufgezeichnet.

Die örtliche Abwassersituation in Dresden-Leuben stellt sich wie folgt dar (gemessene Schwankungsbreite der Stichproben und Tagesganglinie (Bilder 38-41) (Zeitraum April 95 / November 95):

Parameter	Einheit	Parameter	Einheit
CSB	600 - 1700 mg/l	$\text{S}_2$	n.n.
$\text{BSB}_5$	300 - 900 mg/l	$\text{SO}_4$	110 - 150 mg/l
TKN	60 - 100 mg/l	pH-Wert	7,2 - 9,2
$\text{NH}_4\text{-N}$	40 - 60 mg/l	Temperatur	14 - 21 °C
$\text{PO}_4\text{-P}$	7 - 18 mg/l	$\text{O}_2$	3 - 1,5 mg/l

Tab. 5: Schwankungsbreite der Abwasserzusammensetzung in Dresden-Leuben

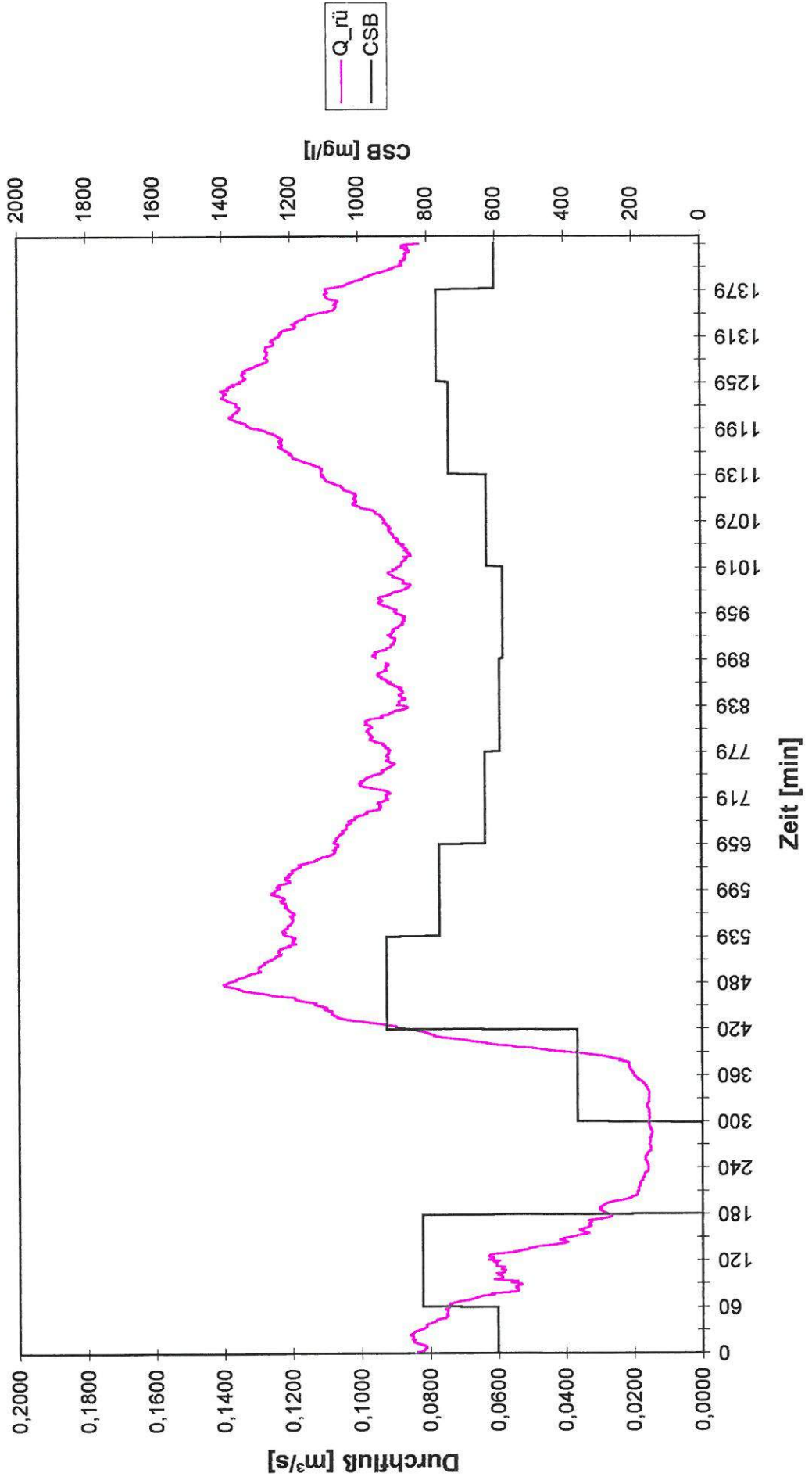


Bild 38: Tagesganglinie 07.09.1995 Dresden Leuben (Q, CSB)

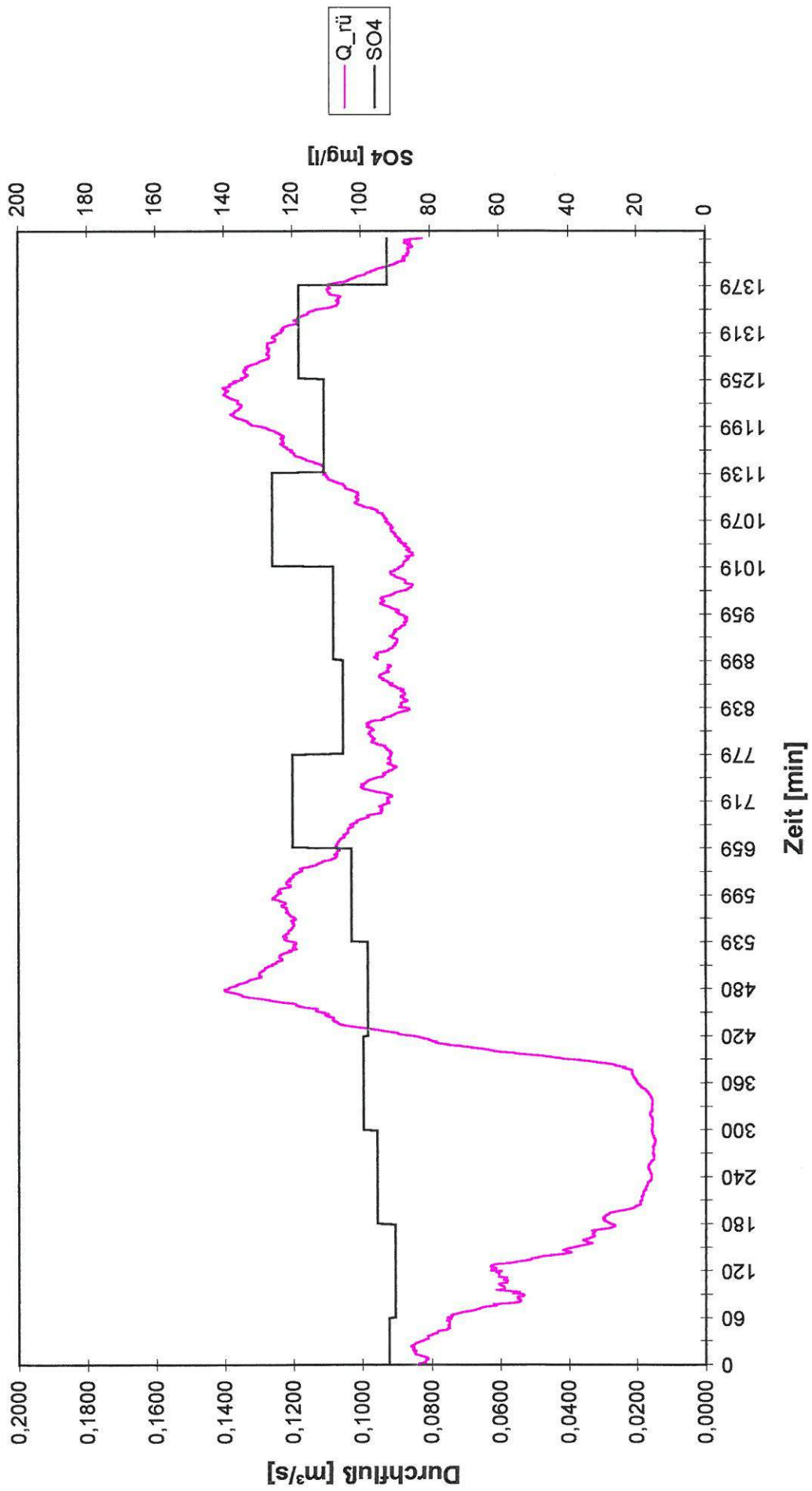


Bild 39: Tagesganglinie 07.09.1995 Dresden Leuben (Q, SO4)



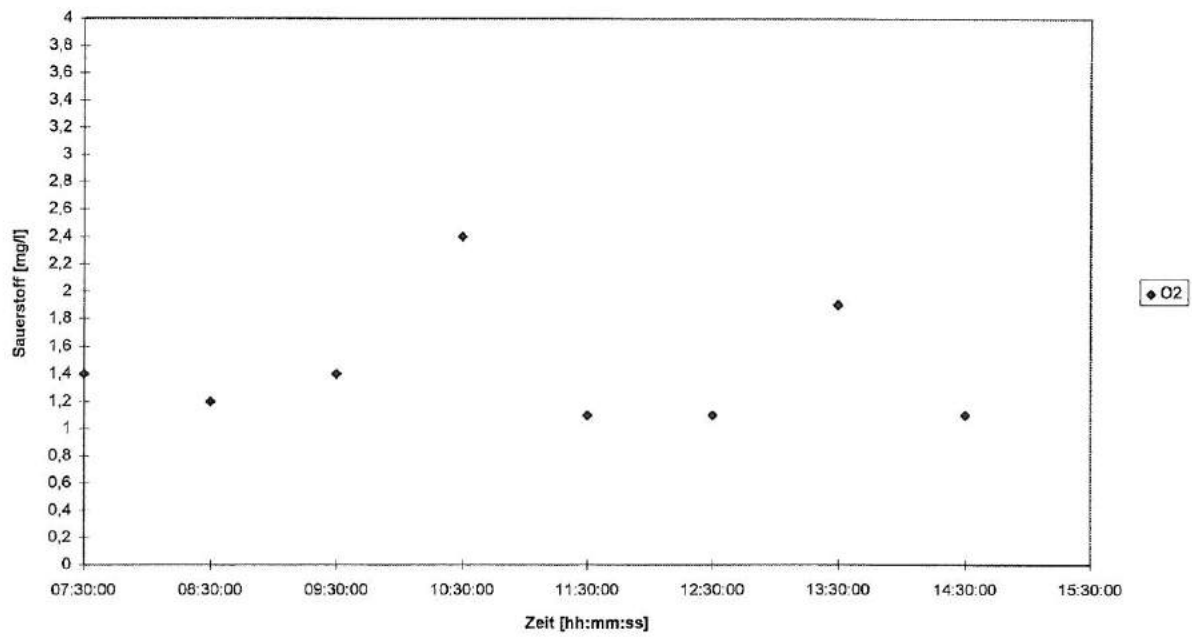


Bild 40: Stichprobe Sauerstoff Dresden Leuben 07.09.1995

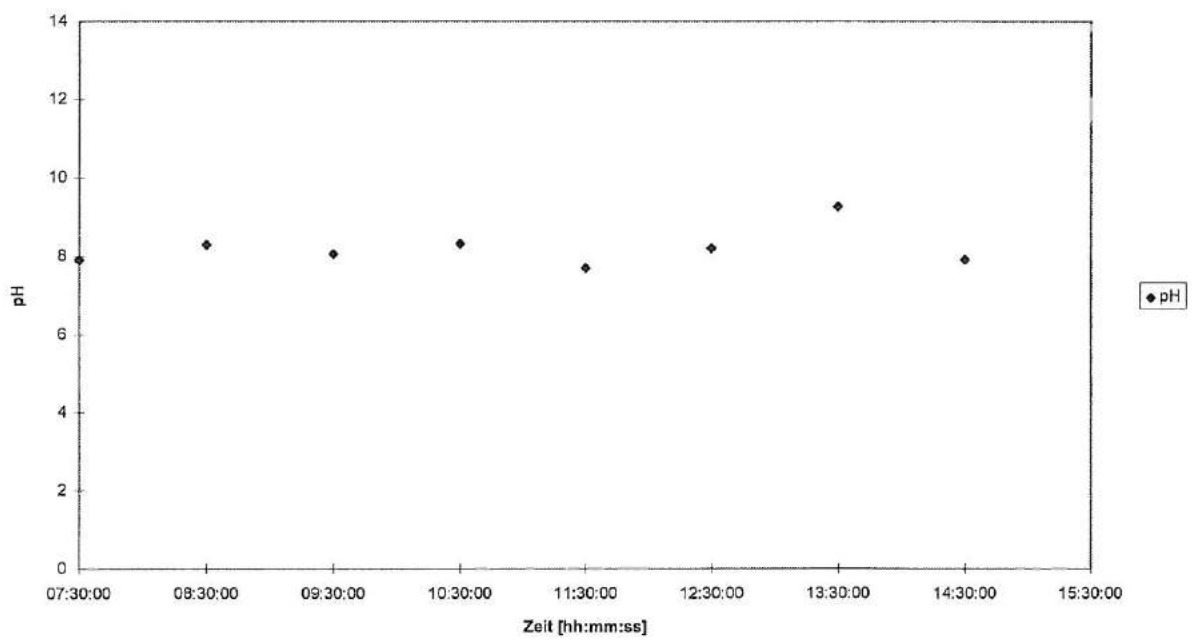


Bild 41: Stichprobe pH-Wert Dresden Leuben 07.09.1995

Das ATV Arbeitsblatt 115 (1994) gibt als Grenzwerte für Sulfat 600 mg/l und Sulfid 2 mg/l an. Der pH-Wert soll zwischen 6,5 und 10,0 und die Abwassertemperatur unter 35°C liegen. Tabelle 6 [10] zeigt durchschnittliche mittlere Kennwerten von üblichem kommunalen Abwasser.

Parameter	Einheit	Parameter	Einheit
CSB	600 mg/l	PO <sub>4</sub> -P	12 mg/l
BSB <sub>5</sub>	300 mg/l	SO <sub>4</sub>	< 250 mg/l
NH <sub>4</sub> -N	60 mg/l	pH-Wert	7,6

Tab. 6: Durchschnittswerte von üblichem kommunalen Abwasser

Vergleicht man die für Dresden-Leuben ermittelten Belastungskennwerte, ist nur durch die höhere CSB- und BSB-Fracht der Einfluß vorhandener Industrie zu merken. Diese kann zu einer stärkeren Sauerstoffzehrung im Abwasser führen, wodurch schneller anoxische bzw. anaerobe Milieubedingungen entstehen können. Der pH-Wert ist ebenfalls hoch. Nach Schmitt [17] ist bei dauerhafter Belastung ein ausreichender Betonwiderstand gegen lösenden Säureangriff bei einem pH-Wert > 6,5 gegeben. Ein Angriff durch Ammonium-Stickstoff erfolgt erst ab Konzentrationen > 300 mg/l. Die Belastung mit Sulfat bzw. Sulfid ist gering. Zum Ettringitreiben kommt es erst ab Sulfatkonzentrationen > 600 mg/l bei einem Beton (mit einem w/z ≤ 0,50 mit einer Wassereindringtiefe von ≤ 3 cm ohne HS-Zement) und ab einer Sulfatkonzentration > 3000 mg/l bei einem Beton wie vorher mit HS-Zement.

Die Diagramme 42-44 weisen auf anaerobe Verhältnisse in der Sielhaut bzw. in den Ablagerungen hin. Die Meßwerte ordnen sich in den in der Literatur [17] ausgewiesenen Meßbereich ein. Der höchste Sulfidgehalt wurde für die Unterwassersielhaut mit 500 bis 7500 mg Sulfid / kg TS bestimmt. In der Gasraumsielhaut erstreckt sich der Meßbereich von 30 bis 780 mg Sulfid / kg TS. Ähnlich der Gasraumsielhaut betragen die Meßwerte für das Sediment 10 bis 320 mg / kg TS. Die ermittelten Sulfidwerte sind ein Indiz dafür, daß sulfatreduzierende Mikroorganismen in der Sielhaut und in den Ablagerungen vorhanden sind. Durch die häufigen Einstauversuche ist selbst in der Gasraumsielhaut während der

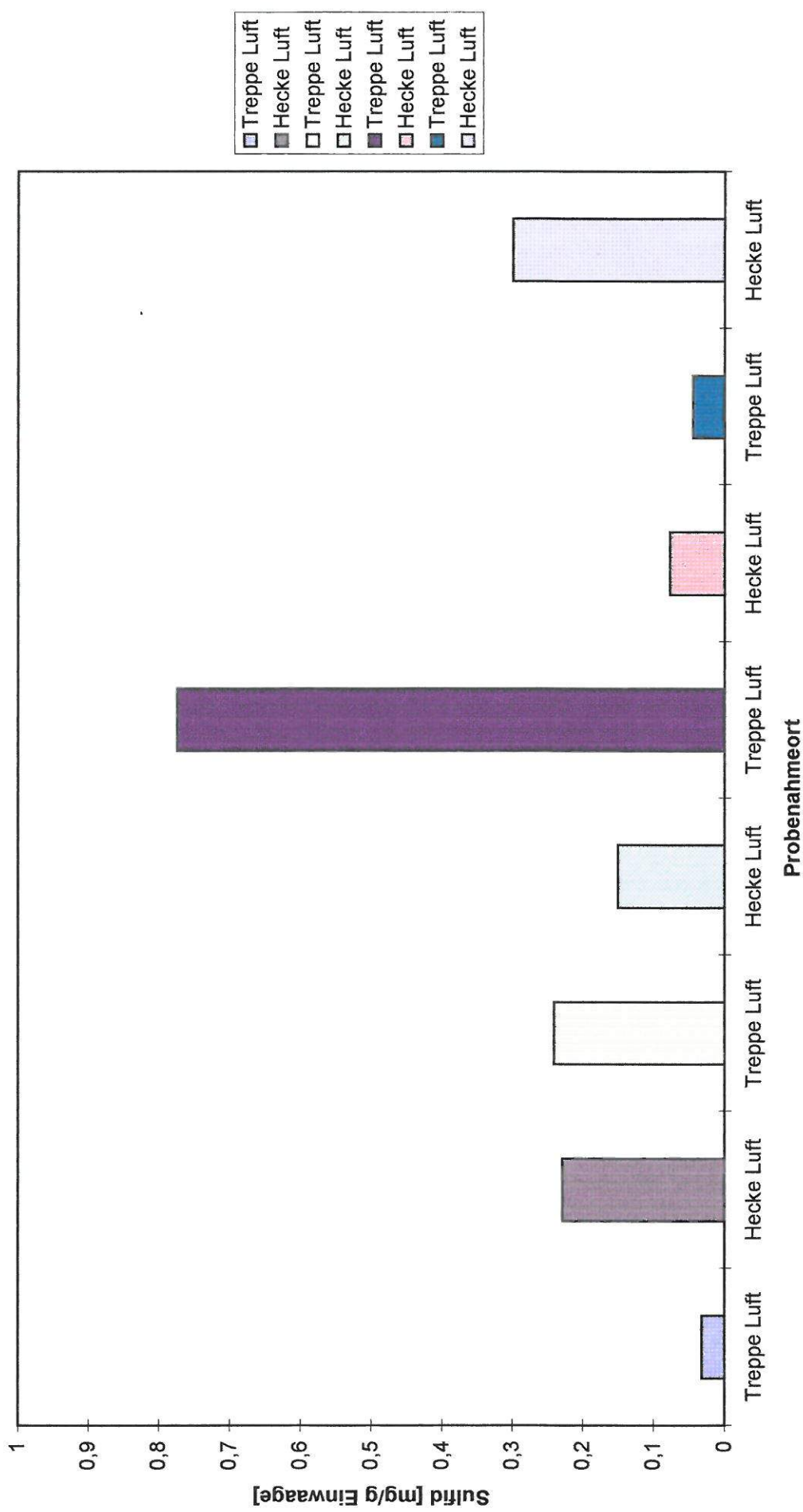


Bild 42: Sulfidgehalt in der Gasraumzielhaut (EZG Dresden Leuben)

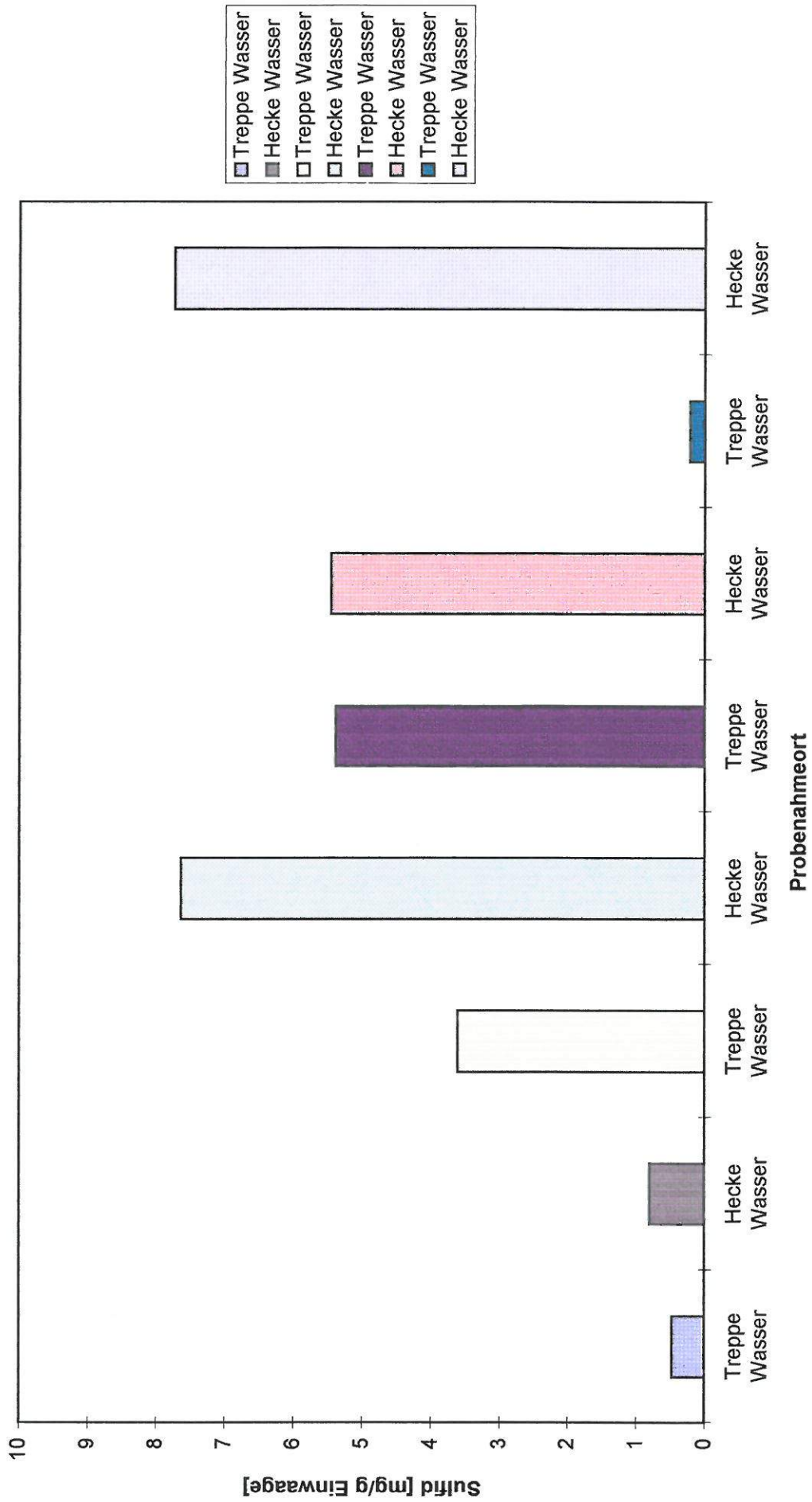


Bild 43: Sulfidgehalt in der Wassersiehlhaut (EZG Dresden Leuben)

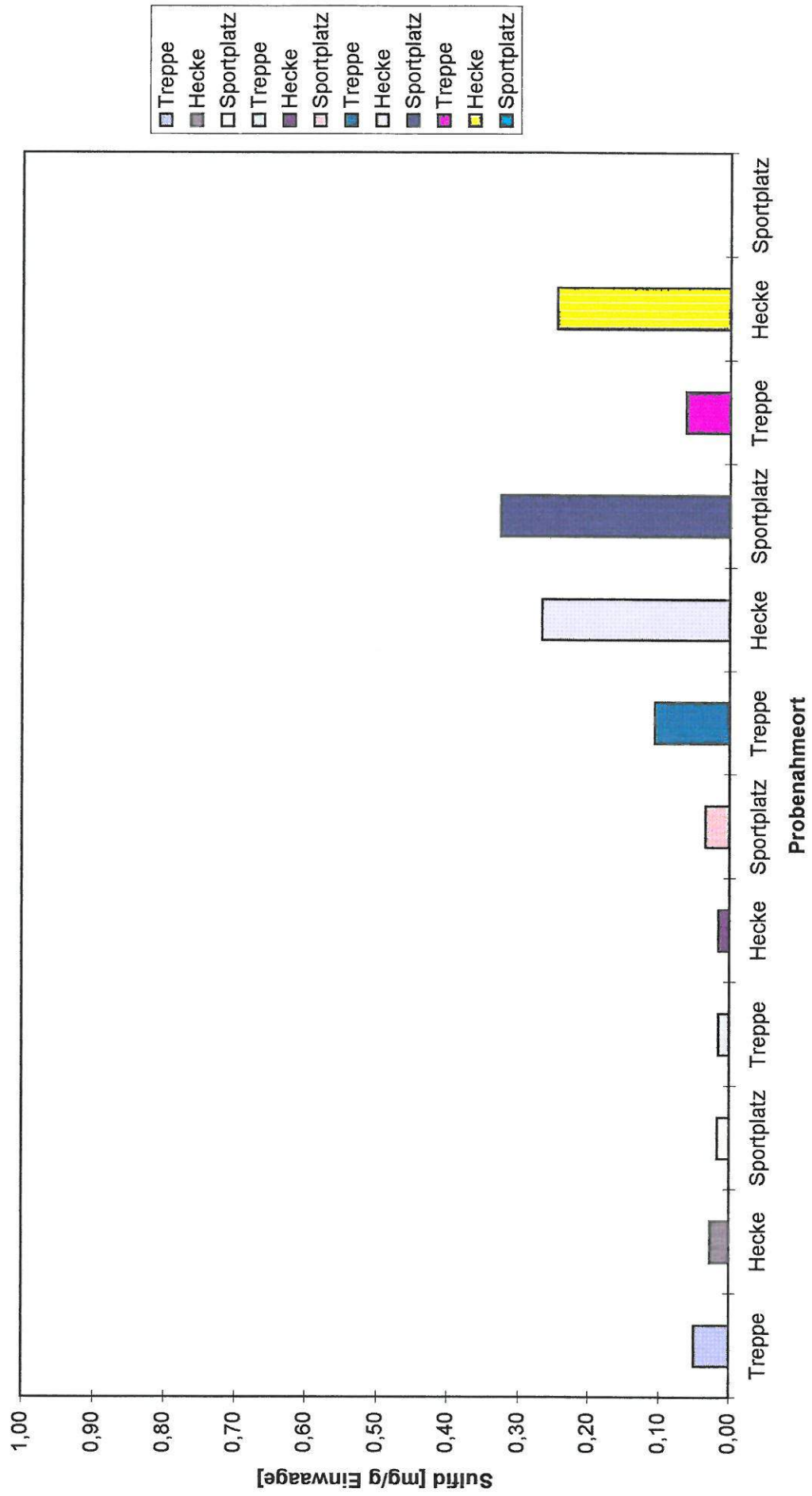


Bild 44: Sulfidgehalt im Sediment (EZG Dresden Leuben)

Zwischenspeicherung von Trockenwetterabfluß bzw. Mischwasserabfluß eine Sulfatreduktion möglich.

### 8.3. Einstauversuche

Durch die Stauraumaktivierung zu Spülzwecken sinkt die Fließgeschwindigkeit des Abwassers im Stauraum, wodurch der Sauerstoffeintrag verringert wird und es zur Sedimentation von Feststoffen kommen kann. Während der Mischwasserabflüsse kommt es im bewirtschafteten Stauraum zu einer verstärkten Ansammlung von sedimentierbaren Stoffen (Remobilisierung von Sedimenten und Sielhautabtrag). Die im Abwasser vorhandenen Mikroorganismen bewirken durch ihren Stoffwechsel eine Zehrung des im Abwasser gelösten Sauerstoffes. Durch den geringeren Sauerstoffeintrag einerseits und die höhere Substratfracht andererseits wird die Sauerstoffzehrung verstärkt. Bei entsprechend hohem Stoffwechsel der Mikroorganismen oder extrem langen Standzeiten des Abwassers kann das Abwassermilieu von aerob über anoxisch auf anaerob umschlagen. Die unter anaeroben Verhältnissen entstehenden Sulfide können vorallem durch die hohen Turbulenzen bei der Stauraumentleerung bzw. Spülung in die Kanalatmosphäre entweichen und dann in die feuchte Kanalwand des Gasraumes diffundieren. Für den Fall, daß es bei der Kanalnetzbewirtschaftung zu einer Schwefelwasserstoffbildung kommt, sind die Bereiche hoher Turbulenz besonders von der biogenen Schwefelsäurekorrosion gefährdet. **Anaerobe Verhältnisse wurden während der 4h Einstauphasen nicht erreicht.** D.h., die in den tieferen Zonen der Sielhaut und der Ablagerungen erfolgte Reduktion der Sulfate zu Sulfiden wurde während der Diffusion in Richtung Abwasser durch die aerobe Schicht der Ablagerungen und der Sielhaut durch eine Oxydation zu Sulfat rückgängig gemacht. Es konnte weder Sulfid im Abwasser noch Schwefelwasserstoff in der Kanalatmosphäre nachgewiesen werden. Die Bewirtschaftung von Trockenwetter- bzw. Mischwasserabflüssen stellt eine zeitweilige Beanspruchung dar. Deshalb können die Grenzwerte für eine dauerhafte Beanspruchung überschritten werden. Die Sulfatkonzentrationen können  $\leq 1000$  mg/l bei einem Beton (mit einem w/z  $\leq 0,50$  mit einer Wassereindringtiefe von  $\leq 3$  cm

ohne HS-Zement) und bis zu einer Sulfatkonzentration  $\leq 5000$  mg/l bei einem Beton wie vorher mit HS-Zement betragen, wobei noch ein ausreichender Betonwiderstand gegeben ist.

#### **8.4. Wertung der Ergebnisse**

Die hohe Substratfracht und die Anwesenheit aktiver Mikroorganismen in der Sielhaut und im Kanalsediment sind günstige Voraussetzungen für eine gute Sauerstoffzehrung und damit die Entstehung anaerober Verhältnisse. Infolge des guten Sauerstoffeintrages im Oberwasser (gutes Kanalgefälle) und der relativ kurzen Stauzeiten (Verringerung des Sauerstoffeintrages) können sich in einer Stauzeit von maximal 4h keine anaeroben Milieubedingungen im Abwasser bilden. Das hat zur Folge, daß in den anaeroben Zonen der Sielhaut und des Sedimentes gebildete Sulfide in den aeroben Zonen der Sielhaut und der Sedimente vor Eindringen in das Abwasser zu Sulfat oxidiert werden. D.h., es kommt zu keiner Ausbildung eines Sulfidgleichgewichtes und damit zu keiner Entstehung von molekular gelöstem Schwefelwasserstoff. Der hohe pH-Wert und die niedrigen Sulfatmengen wirken einer akuten Schwefelwasserstoffgefährdung entgegen.

***Unter Berücksichtigung der bisherigen Abwasserzusammensetzung in Dresden-Leuben und der aufgetretenen Stauzeiten von bis zu 4h führt eine Bewirtschaftung des Trockenwetterabflusses zur Kanalspülung oder bei erforderlichem Rückhalt von Trockenwetterabfluß bzw. eine Bewirtschaftung des Mischwasserabflusses am untersuchten Standort zu keiner Gefährdung durch Schwefelwasserstoff, wenn die Abwasserzusammensetzung und die hydraulischen Verhältnisse gleich bleiben.***

### **9. Einfluß der Kanalnetzbewirtschaftung des Einzugsgebietes Dresden-Leuben mit einem Drehbogen auf den Schmutzfrachttransport**

#### **9.1. Bedeutung der Schmutzfracht**

Aufgabe der Kanalisation ist die Aufnahme der im Einzugsgebiet anfallenden häuslichen und industriellen Abwässer sowie deren schadlose Ableitung. Neben dem

Schutz der Bevölkerung vor gesundheitlichen Gefahren und dem Schutz der Bauwerke vor Überflutungsschäden sollen die Abwasserströme so abgeleitet und behandelt werden, daß die Vorfluterbelastung minimal ist. Quelle der Belastung sind Direkteinleiter, Einleitungen von Regenwasserkanälen ohne Behandlung, Entlastungswassermengen aus Regenüberläufen, Entlastungswassermengen aus Klär- bzw. Beckenüberläufen der Regenklär- bzw. Regenüberlaufbecken und der Kläranlagenablauf. Je nach Art der Belastung der Vorfluter kann in hydraulische und/oder in stoffliche (chemisch, physikalisch, biologisch) Belastung unterschieden werden. Der hydraulische Stoß bewirkt infolge höherer Fließgeschwindigkeiten eine Erosion des Gewässerbettes und damit einen erhöhten Geschiebetransport. Durch die Erosion werden die Lebensräume der Makroinvertebraten zerstört.

Stofflich wird das Gewässer vor allem durch

- Schwimm-, Trüb-, Sinkstoffe,
- toxische Stoffe ( $\text{NH}_3$ ,  $\text{NO}_2$ , Schwermetalle, mineralische Öle, AOX),
- sauerstoffzehrende Stoffe,
- pathogene Keime und
- eutrophierungsrelevante Nährstoffe belastet.

Bei den Belastungen muß nach der Wirkungsweise (akute Gewässerbeeinflussung, Langzeitwirkung) unterschieden werden. Das Gewässer reagiert sofort bei der Einleitung von toxischen Stoffen, von sauerstoffzehrenden Stoffen und bei hoher hydraulischer Beanspruchung. Spätfolgen sind durch die Einleitungen von Schwermetallen und Nährstoffen feststellbar. Auf die Zusammensetzung des Abwassers kann nur über die Indirekteinleiterverordnung und -kontrolle sowie den Kanalbetrieb Einfluß genommen werden. Neben der qualitativen Abhängigkeit des Gewässers von den eingeleiteten Stoffen (Konzentration und Wirkungsweise der eingeleiteten Stoffe) wird die Gewässergüteentwicklung durch die Häufigkeit und Dauer der Belastung (quantitative Abhängigkeit) beeinflußt. Häufigkeit und Dauer der Gewässerbelastung sind von der Stärke der Niederschläge und den Bewirtschaftungsmöglichkeiten abhängig.

Für einen wirkungsvollen Gewässerschutz ist eine Bemessung der Bauwerke der Kanalisation auf Grundlage des auftretenden Abwasservolumens nicht ausreichend,



da mit dem Abwasservolumen nur die hydraulische Belastung der Gewässer genau beschrieben werden kann. Alle anderen Einflüsse von Einleitungen in die Gewässer können nur mit Hilfe der Bilanzierung der Schmutzfracht bewertet werden. Die Schmutzfracht eines Einzugsgebietes wird durch folgende Größen bestimmt:

- Verschmutzung und Menge des häuslichen und industriell-gewerblichen Abflusses inklusive Fremdwasser,
- Verschmutzung und Volumen des Oberflächenabflusses,
- Verschmutzung und Menge der erodierten Sielhaut und
- Belastung und Menge der remobilisierten Ablagerungen.

Für das Einzugsgebiet Dresden-Leuben wurde das Verschmutzungspotential des Trockenwetterabflusses, der Sielhaut und der Ablagerungen ermittelt. Des weiteren erfolgte eine Bestimmung der Verschmutzung verschiedener Mischwasserabflüsse. Die Schmutzfrachtbetrachtungen erfolgen am Beispiel des CSB.

## **9.2. Schmutzfracht des Trockenwetterabflusses**

Einflußgrößen der Schmutzfracht sind die Menge und die Konzentration der Verschmutzungsparameter. Maßgebend wird die Schmutzfracht durch die Lebensgewohnheiten der Bevölkerung bestimmt. Die zeitliche Tätigkeit des Menschen spiegelt sich im Tagesgang der Abflußganglinie wieder. Im Einzugsgebiet des Drehbogens ist ein typischer Tagesgang des Abwasser feststellbar (Bild 45). Bei der dargestellten Ganglinie handelt es sich um einen Wochentag. Maximale Abflüsse treten am Drehbogenstandort ca. um 8.00 Uhr und gegen 21.00 Uhr auf. Die Spitzenwerte liegen zwischen 120 und 140 l/s. Eine ausgeprägte Mittagsspitze im Abfluß konnte nicht registriert werden. Minimale Abflüsse treten zwischen 3.00 Uhr und 6.00 auf, wobei die Minimalwerte zwischen 25 und 40 l/s betragen. Am Wochenende treten die Abflußspitzen am Morgen deutlich später auf (ca 9.30 Uhr). Unterstellt man dem Einzugsgebiet nur häuslichen Charakter, so existieren in dem Einzugsgebiet ca. 50000 Einwohner (Tagesganglinie auf Basis eines Wasserverbrauches von 150 l/E/d). Im Diagramm 45 sind gleichzeitig die CSB-Fracht als

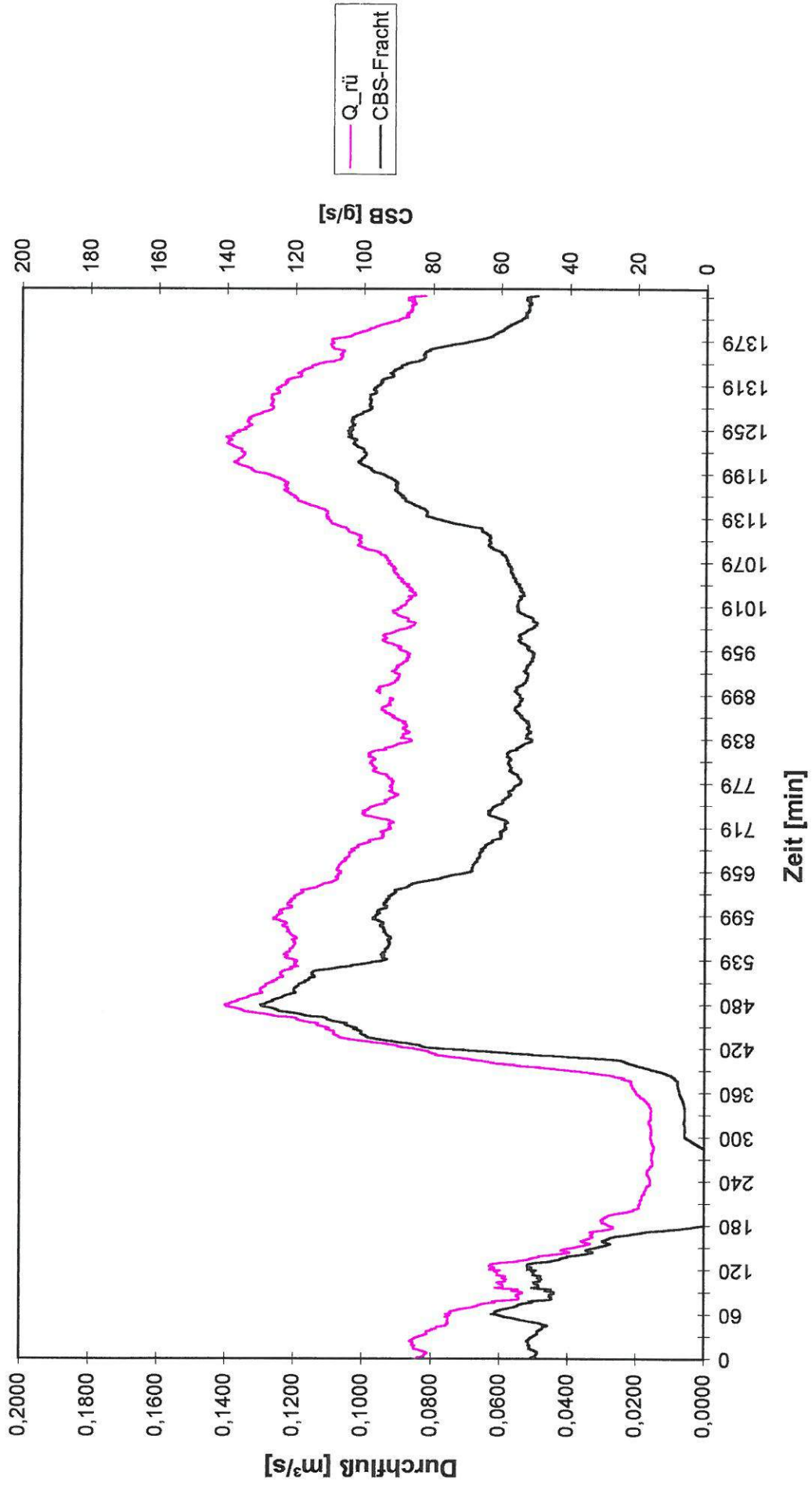


Bild 45: Tagesganglinie 07.09.1995 Dresden-Leuben Q, CSB-Fracht

Tagesganglinie dargestellt. Im Mittel fließen 60 g CSB / s ab. Als Tagesfracht kommen aus dem Einzugsgebiet 5200 kg CSB. Bezogen auf einen einwohnerspezifischen CSB von 120 g CSB/(E·d) sind im Einzugsgebiet des Drehbogens zwischen 43000 und 47000 Einwohnerwerte angeschlossen. Die bisherigen Ausführungen deuten auf einen starken häuslichen Einfluß auf die Abwasserzusammensetzung (Einwohnerberechnungen und Fehlen der Mittagsspitze) hin. Die Ausführungen in Kapitel 8.2 verweisen aber auf einen gewissen industriell-gewerblichen Einfluß. CSB-Konzentration von 600- 1700 mg/l sind für rein kommunales Abwasser untypisch. Im Tagesmittel liegt der CSB mit 590 bis 625 mg/l wiederum im Bereich von rein kommunalem Abwasser (ohne Fremdwasser). Auf Grund der Begehungen der Kanäle und der Abflußganglinien kann mit einem Fremdwasseranfall von mindestens 10 l/s gerechnet werden. Ohne Fremdwasseranteil erhöht sich die mittlere CSB-Konzentration auf 840 mg/l, welche den industriellen Einfluß und damit die erhöhten Konzentrationen bei den Stichproben bestätigen.

### **9.3. Ermittlung des Schmutzfrachtpotentiales der Sielhaut**

Zur Ermittlung des Schmutzfrachtpotentiales der Sielhaut wurde das Wachstum der Sielhaut und deren CSB-Belastung bestimmt. Die Sielhaut ist ein Biofilm an der Wandung von Abwasserkanälen, der Einschlüsse von nicht lebendem Material (z.B. Sand) enthält. Bei den in der Sielhaut vorkommenden Organismen handelt es sich vorwiegend um eine heterotrophe Gemeinschaft von Organismen. Die hauptsächlichsten Organismen sind:

- Enterobakterien, Coliforme Keime
- Aeromonas- und Acenitobacter- Keime
- Pseudomonaden,
- Thiobacillen,
- Clostriden, sulfatreduzierende Bakterien (anaerobe Gattungen, die auf anaerobes Milieu in der Sielhaut hinweisen),
- mehrere Arten niederer Pilze (Penicelius, Aspergillus u.a.) [6]

Die Sielhaut wird in submerse aerobe Sielhaut,  
submerse anoxische Sielhaut und  
Gasraumsielhaut unterschieden.

Bei den Untersuchungen zur CSB-Belastung der Sielhaut wurde Sielhaut unterhalb des Wasserspiegels und in Gasraumsielhaut unterschieden. Neben der CSB-Belastung muß bei der Bewertung der Sielhautschmutzfracht die Fähigkeit zur Schwermetallakkumulation [7] berücksichtigt werden (wurde nicht untersucht). Wichtige Einflußfaktoren für das Sielhautwachstum und damit für die Schmutzfracht sind

physikalische Einflußfaktoren:   Hydraulische Bedingungen (Wandschubspannungen)  
Material der Bewuchsoberfläche,  
Oberflächenrauigkeit der Bewuchsoberfläche  
(Morphologie),  
Temperatur und Viskosität der flüssigen Phase,

biologische Einflußfaktoren:   Spezies,  
Organismendichte im Biofilm,

chemische Einflußfaktoren:   Substrattyp,  
Substratkonzentration,  
pH-Wert in der flüssigen Phase,  
org./anorg. Zusammensetzung,  
Sauerstoffkonzentration in der flüssigen Phase,  
evtl. toxisch wirkende Stoffe in der flüssigen Phase.

Hohe Fließgeschwindigkeiten im Kanal führen unter gleichen Bedingungen zu einer geringeren Sielhautdicke. Die unterer der höheren hydraulischen Belastung gewachsene Sielhaut ist schwerer erodierbar. D.h., gute hydraulische Verhältnisse im Abwasserkanal können das Potential der Schmutzfracht durch Sielhaut für die Gewässer verringern. Weiterhin beeinflußt die Kanaloberfläche das Sielhautwachstum.

Auf rauhen Oberflächen wurde ein verstärktes Wachstum beobachtet. Die Ursachen können sein:

- Eine bessere Nährstoffversorgung infolge der Turbulenzen,
- Mikroorganismen können sich besser ansiedeln (Schutz vor hydrodynamischen Kräften),
- Erhöhung der potentiellen Bewuchsfläche.

Demzufolge ist auf einer glatten Kanaloberfläche das Schmutzfrachtpotential geringer als bei einem hydraulisch rauheren Kanal. Höhere Temperaturen führen zu größeren Umsatzraten und damit zu verstärktem Wachstum und größerem Schmutzfrachtpotential.

Der pH-Wert beeinflusst das Lebensmilieu der Mikroorganismen. Für die Entwicklung der Mikroorganismen wird ein pH-Wert-Bereich von 5- 9 angegeben.

Eine weitere wichtige Voraussetzung für das Sichelhautwachstum ist die Nährstoffversorgung. Je größer die Nährstoffversorgung für die Biomasse ist, desto größer ist die Substratumsatzrate, die maximale Netto-Biofilmproduktionsrate und damit die Biofilmdicke bzw. Biomasse.

Die ermittelten CSB-Belastungen sind im Bild 46 dargestellt. Im Mittel beträgt die Sichelhautbelastung 416 mg CSB / g TS. Im Gasraum bildete sich eine Sichelhaut von ca. 50 g TS / m<sup>2</sup> und unterhalb des Wasserspiegels ca. 260 g TS / m<sup>2</sup>. D.h., im Gasraum befinden sich im Mittel 20,8 g CSB / m<sup>2</sup> und unterhalb des Wasserspiegels 108 g CSB / m<sup>2</sup>. Die aus dem Einzugsgebiet des Drehbogens kommende CSB-Tagesfracht des Trockenwetterabflusses von ca. 5200 kg CSB / d könnte auf einer Kanalfläche von ca. 40372,6 m<sup>2</sup> bzw. einer Kanallänge von 10715,5 m (DN 1200) durch vollständige Erosion der Sichelhaut (gleiche CSB-Eigenschaften hypothetisch angenommen) verdoppelt werden. Sicher ist die Wirkung des CSB der Sichelhaut auf das Gewässer nicht so akut wie der des Trockenwetterabflusses. Aber diese fiktive Rechnung verdeutlicht den Einfluß der Sichelhaut auf die Schmutzfracht während eines Starkregens trotz seiner relativ geringen Schichtdicken.

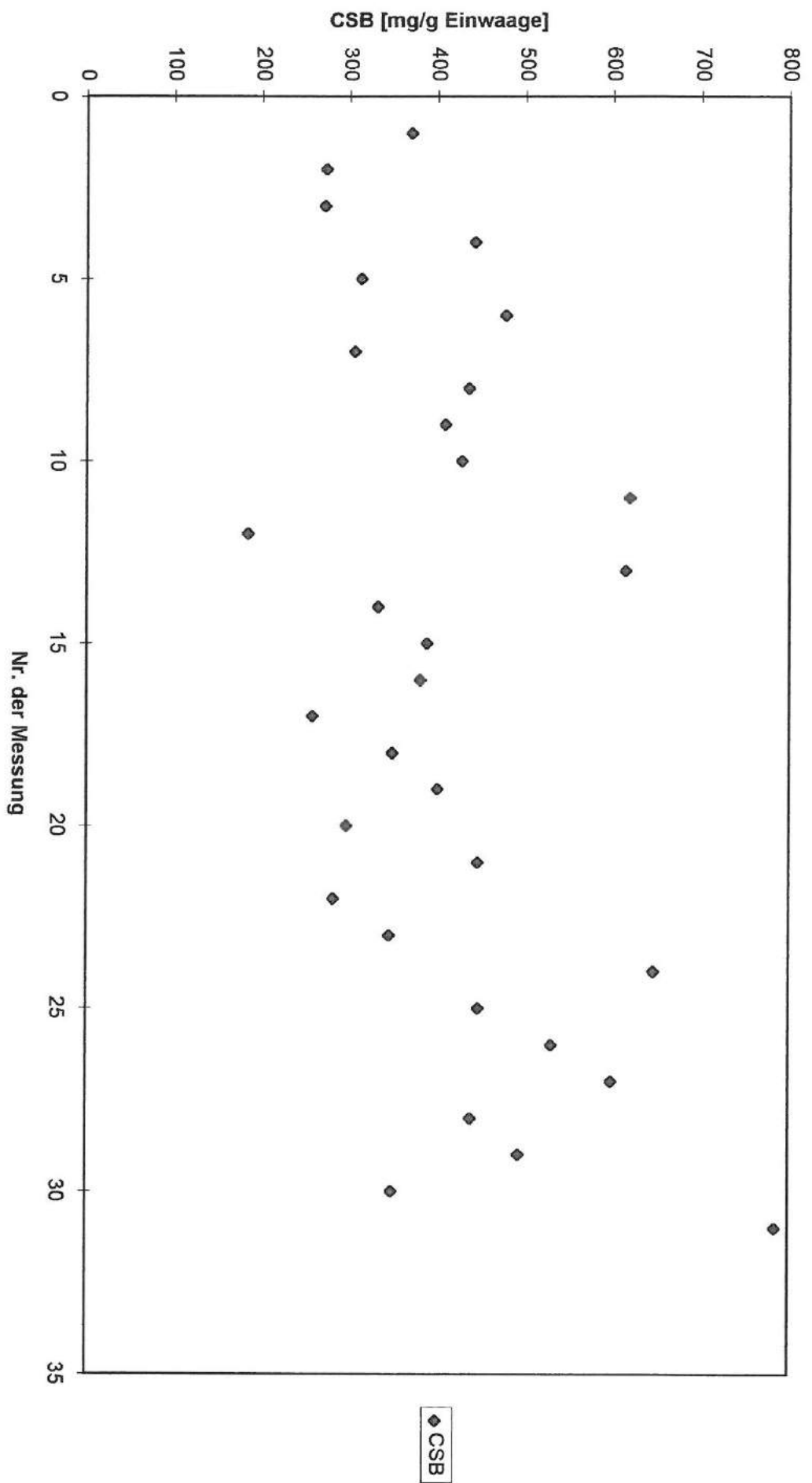


Bild 46: CSB-Belastung der Kanalsielhaut (EZG Tressden Leuben)

#### **9.4. Ablagerungen und ihr Schmutzfrachtpotential**

Die Hauptursache für das Entstehen eines Ablagerungsbettes ist die fehlende Transportkraft des Trockenwetterabflusses. Entsprechend der Tagesganglinie kann es in den Nachtstunden zu einer erhöhten Sedimentation kommen. Geringes Gefälle oder Mängel an Bauwerken der Kanalisation (Sohlaufsprünge, Fugen), die die Fließgeschwindigkeit negativ beeinflussen, können zur Ablagerungsbildung führen. Durch folgende Prozesse gelangen Feststoffe in die Kanalisation:

1. Durch Oberflächenabspülung bei Niederschlägen werden vorwiegend feine Sedimente in die Kanalisation eingetragen.
2. Baumaßnahmen bzw. Kanaleinbrüche ermöglichen den Eintrag größerer Sedimente. Das Spektrum reicht von Sand bis zu Pflastersteinen.
3. Im normalen Tagesabfluß sind ablagerungsfähige Stoffe enthalten. Es sind bis zu 6 ml/l absetzbare Stoffe im Trockenwetterabfluß enthalten [10]. Diese stammen aus sanitären Anlagen, Küchen usw..

Ausführungen zur Menge, zur Bildung und zur Korngrößenverteilung der Ablagerungen im Einzugsgebiet Dresden-Leuben sind im Punkt 7.3 enthalten. Bild 47 zeigt die im Kanalsediment gefundene CSB-Belastung. Im Mittel beträgt die CSB-Belastung 55,3 mg / g TS. Ristenpart [15] gibt CSB-Belastungen für Kanalsedimente im Bereich von 6 - 80 mg / g TS an. Die Dichte der Ablagerungen beträgt im Mittel 2530 kg/m<sup>3</sup>. Bei einer angenommenen Ablagerungshöhe von 10 cm in einem Kanal DN 1200 beträgt das CSB-Potential des Kanalsedimentes somit 6,3 kg / m Kanal.

#### **9.5. Schmutzfracht von Mischwasserabflüssen**

Die Kenntnis der auftretenden Schmutzfrachten während eines Mischwasserabflusses ermöglicht die Entwicklung von Bewirtschaftungsstrategien und damit einen besseren Gewässerschutz. Für das Einzugsgebiet Dresden-Leuben wurden

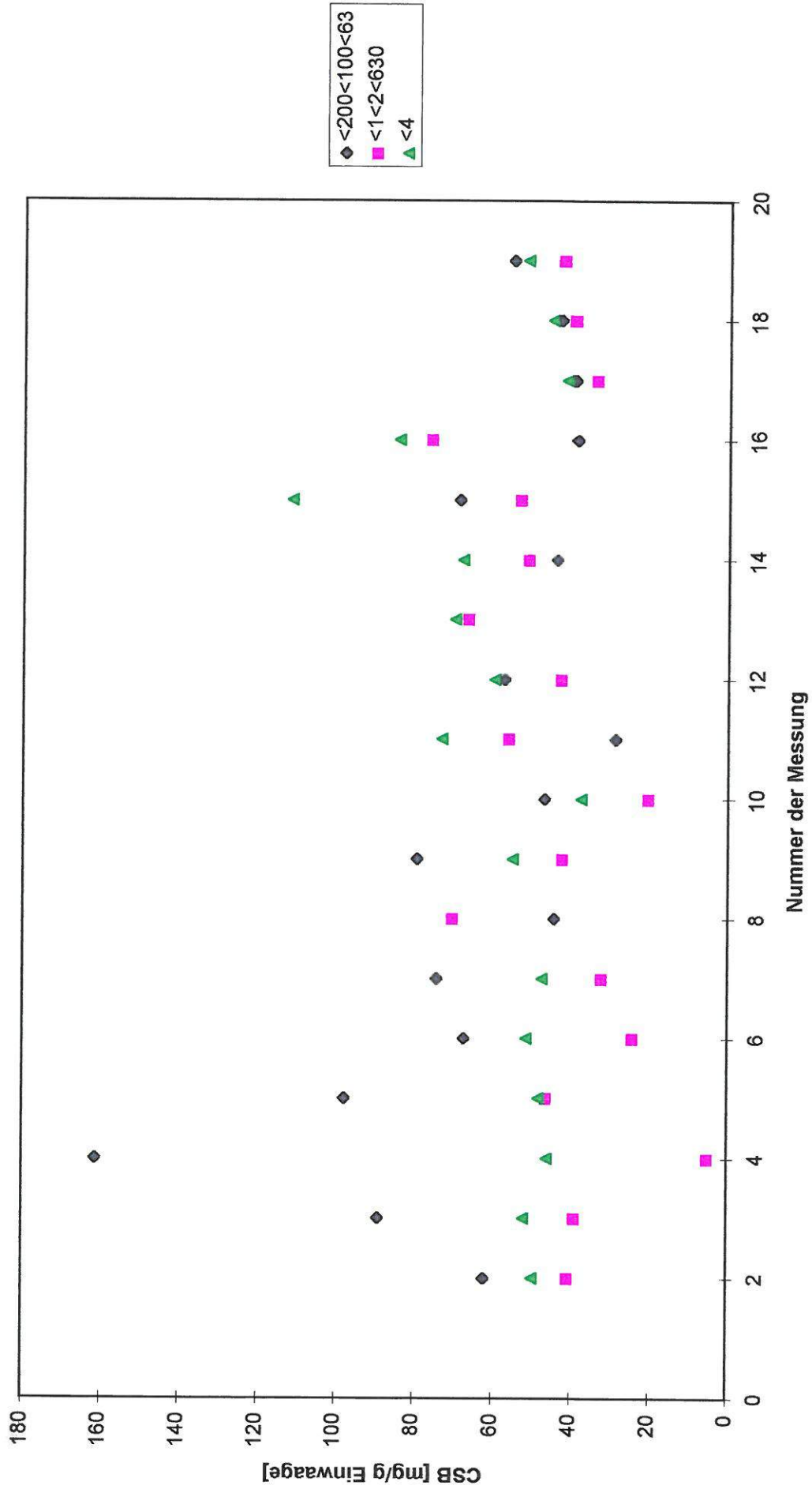


Bild 47: CSB-Belastung des Kanalsedimentes (EZG Dresden Leuben)



mehrere Mischwasserabflüsse beprobt (Bilder 48 - 51). Infolge der hohen Fließgeschwindigkeiten ist eine gute Durchmischung des CSB über den Querschnitt vorhanden. Die Frachtganglinien zeigen eine ausgeprägte Spitze am Beginn eines Mischwasserabflusses. Während des Ereignisses vom 16.08.1995 kommen 4816 kg CSB und beim Ereignis vom 14.08.1995 7019 kg CSB zum Abfluß. Obwohl das Mischwasserereignis vom 14.08.1995 den Kanal hydraulisch weniger belastet, ist die ermittelte Schmutzfracht wesentlich größer als bei dem stärkeren Mischwasserabfluß vom 16.08.1995. Die Ursache liegt in der langen vorangegangenen Trockenwetterphase, in der sich auf den Oberflächen und im Kanal ein beachtliches Schmutzfrachtpotential aufbauen konnte. Des weiteren tritt das Niederschlagsereignis vom 16.08. zusammen mit dem Nachtabfluß des Einzugsgebietes von Dresden-Leuben auf. Der einwohnerspezifische Schmutzfrachtanteil ist geringer.

#### **9.6. Schlußfolgerungen für eine Kanalnetzbewirtschaftung**

Die aus dem Einzugsgebiet des Drehbogens kommenden Mischwasserabflüsse weisen eine hohe Schmutzfracht auf. Für das Einzugsgebiet ist das Auftreten einer Schmutzfrachtspitze am Beginn der Mischwasserabflüsse typisch. Um die Gewässerbelastung durch eine Mischwasserentlastung gering zu halten, ist eine Speicherung dieser Frachtspitze notwendig. Eine Entlastung in das Gewässer sollte erst nach dem Ablauf der Frachtspitze möglich sein. Für das Einzugsgebiet Dresden-Leuben sind zwei Bewirtschaftungsstrategien denkbar.

1. Ableitung des Schmutzfrachtstoßes in das Unterwasser (Aufnahmekapazität des Unterwassers ist Voraussetzung) und anschließende Zwischenspeicherung des Mischwasserabflusses mit der Möglichkeit am Drehbogen zu entlasten.
2. Speicherung der Frachtspitze im Staubereich des Drehbogens mit der Möglichkeit, erhöhten Mischwasserzufluß weiter oberhalb im Einzugsgebiet zu entlasten.

Die Untersuchungen weisen auf den bedeutenden Einfluß der Schmutzfracht der Sielhaut und der Ablagerungen hin.

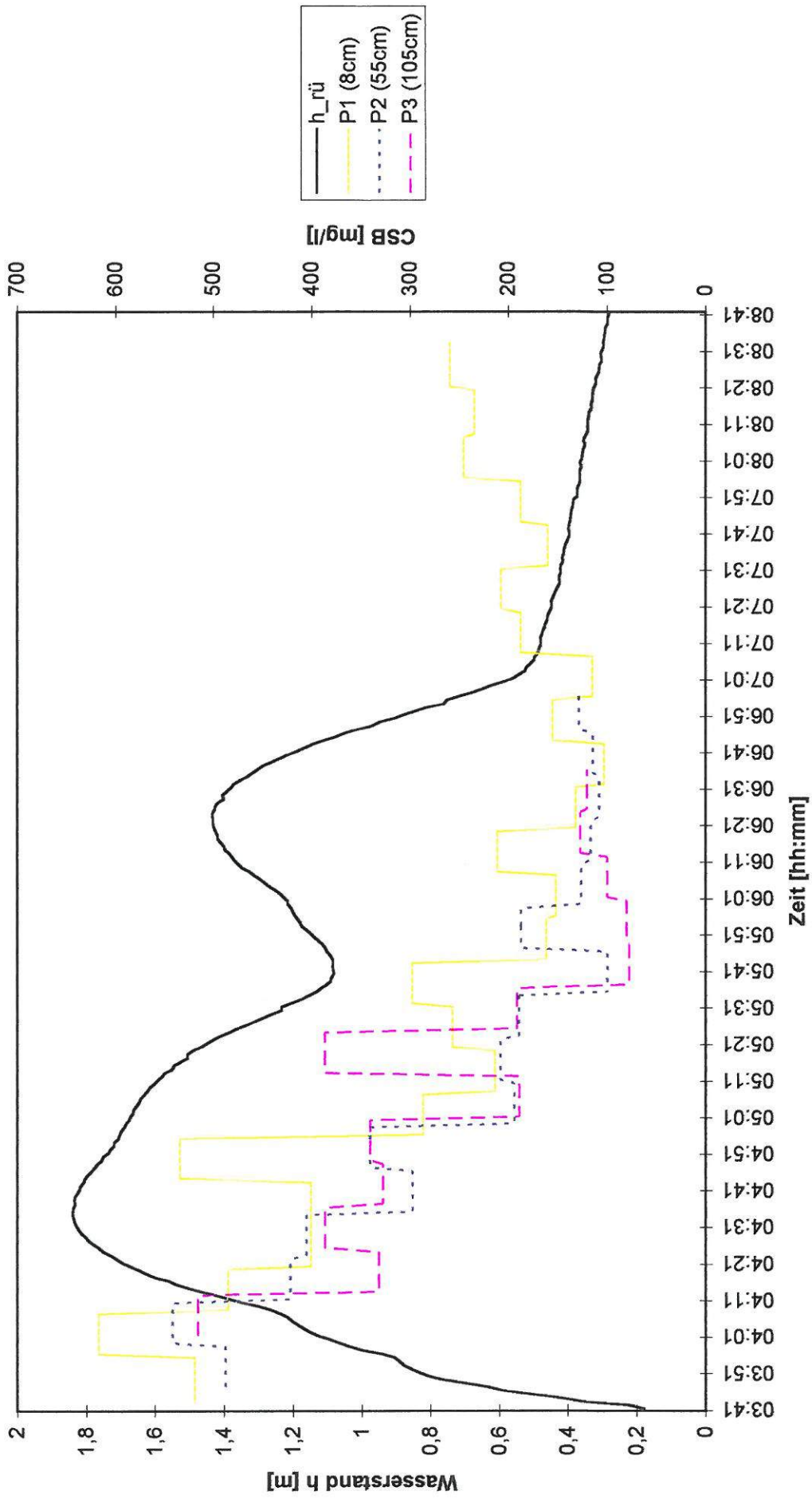


Bild 48: CSB-Schichtung Mischwasserabfluß 16.08.1995 Dresden Leuben  $h_n = 13,1$  mm

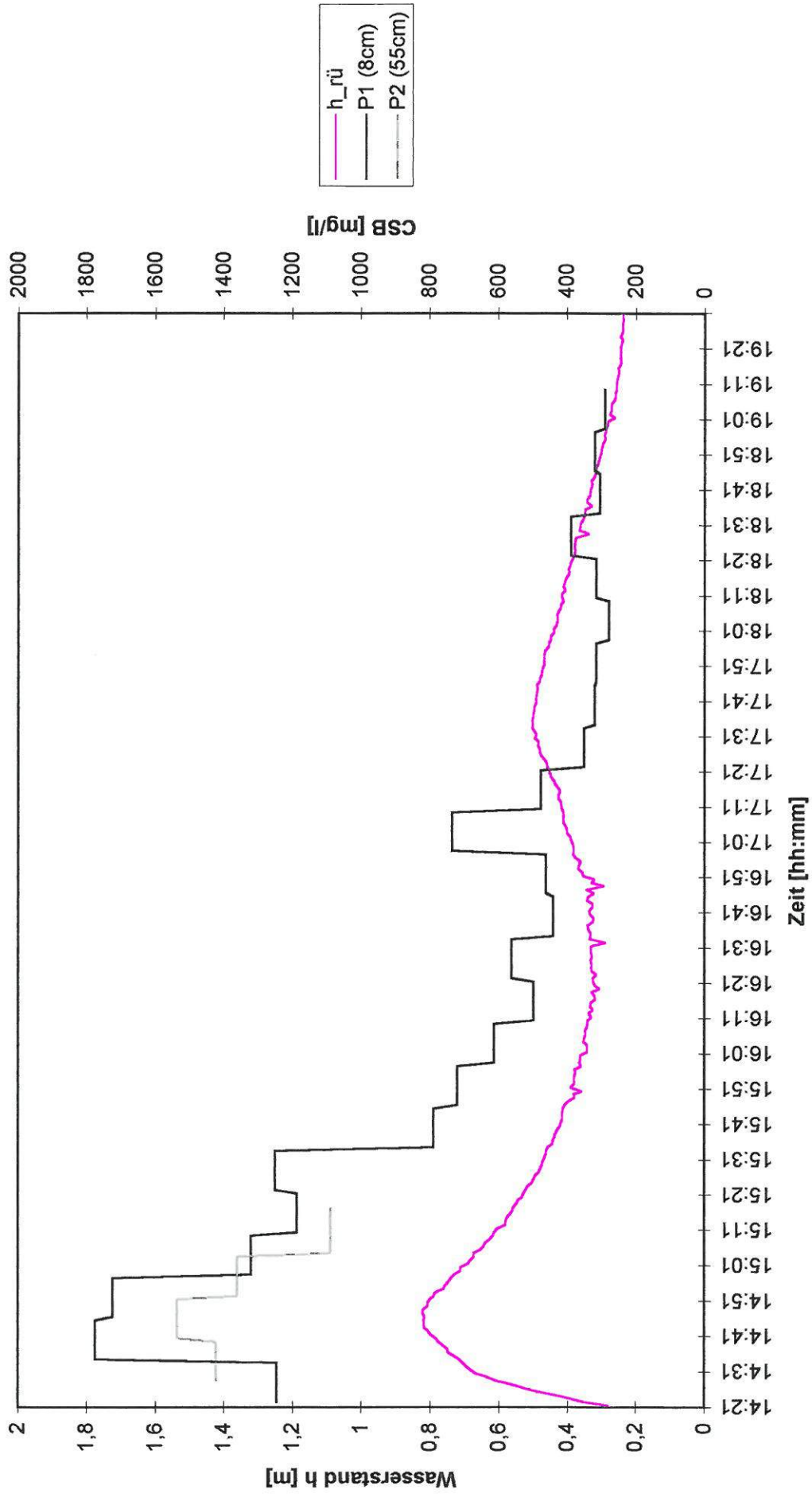


Bild 49: CSB-Schichtung Mischwasserabfluß 14.08.1995 Dresden Leuben  $h_n = 6,3$  mm

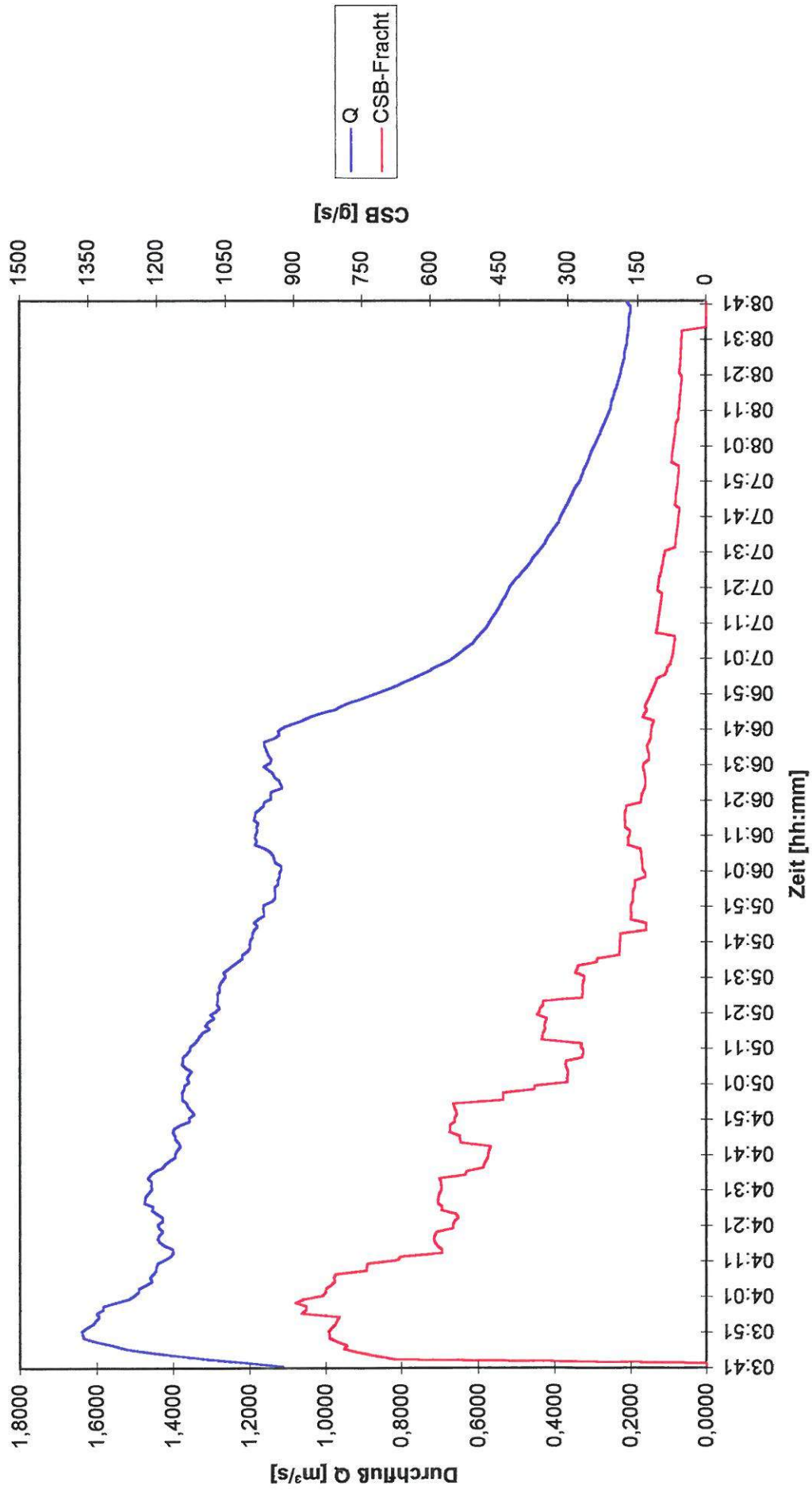


Bild 50: CSB-Fracht Mischwasserabfluß 16.08.1995 Dresden Leuben  $h_n = 13,1$  mm

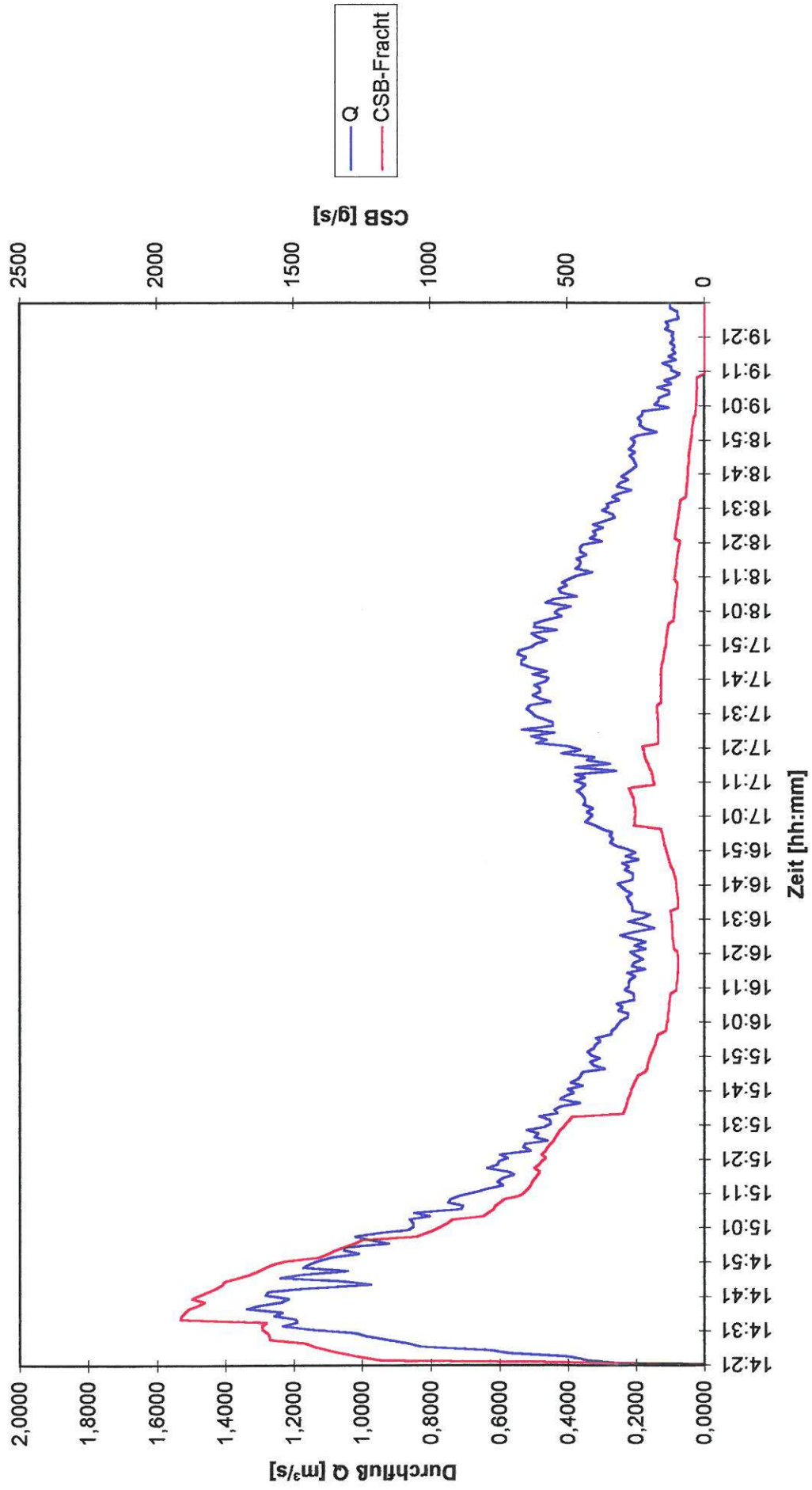


Bild 51: CSB-Fracht Mischwasserabfluß 14.08.1995 Dresden Leuben  $h_n = 6,3 \text{ mm}$

## **10. Steuerung eines Kanalnetzes**

### **10.1. Allgemeines**

Ziele der wissenschaftlich-technischen Bemühungen des Kläranlagenausbaues und der Kanalnetzplanung sind der Gewässerschutz und die sichere schadlose Ableitung des Abwassers. Zum effizienten Investitionsmitelesatz muß das Abwassersystem Kläranlage und Kanalnetz als Einheit betrachtet werden. Die Gewässerbelastungen aus Kanalnetz und Kläranlage können auf das zu schützende Gewässer emissions- bzw. immissionsbezogen betrachtet werden. Bisherige Betrachtungen werden vorrangig emissionsbezogen durchgeführt (z.B. Schmutzfrachtberechnungen nach A128). Die immissionsbezogene Betrachtung ist noch nicht Stand der Technik, obwohl es aus Sicht des Gewässers wünschenswert wäre.

Grundanliegen der emissions- bzw. immissionsbezogenen Betrachtungsweise ist es, einen optimalen Gewässerschutz zu erreichen. Dabei bilden die Reduzierung der hydraulischen Belastungsspitzen bzw. die entlastete Schmutzfracht die Schwerpunkte. Durch folgende Maßnahmen kann wirkungsvoll zur Gütesteigerung der Gewässer beigetragen werden:

- Ausbau der Kläranlage nach den gesetzlich vorgeschriebenen Reinigungsstufen nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik (Kohlenstoffabbau, Stickstoffelimination, Phosphorelimination)
- Limitierung der Einleitungen in das Kanalnetz durch Großeinleiter; Durchsetzung der Indirekteinleiterverordnung -> Forderung nach Vorreinigung beim Verursacher
- Neuerschließungen bzw. Anschluß von Direkteinleitern an das Kanalnetz und an die Kläranlage
- Behandlung von verschmutztem Regenwasser aus dem Trennsystem in Regenklärbecken
- Behandlung der kritischen Mischwasserabflüsse im Mischsystem durch

Zwischenspeichern bzw. mechanische Vorreinigung in Regenüberlaufbecken bzw. Regenrückhaltebecken

- Reduzierung der Überlaufereignisse durch Nutzung bzw. Schaffung von Speicherräumen bei notwendiger Erhöhung der Wehrschwellen
- Entsiegelung der Flächen in wenig belasteten Gebieten bzw. Stadtrandlagen durch Versickerung, Brauchwassernutzung sowie der direkten Einleitung in vorhandene Vorfluter.

Die aufgeführten Maßnahmen tragen wesentlich zu einer positiven Gewässergüteentwicklung bei. Gleichzeitig werden die Hochwassergefahr durch die Retention gemindert und die Grundwasserneubildung gefördert.

Um den Nutzen der einzelnen Elemente Kläranlage, Kanalnetz, Kanalstauraum, Regenüberlaufbecken, Regenrückhaltebecken weiter zu erhöhen, muß die logische Verknüpfung der in einem Einzugsgebiet vorkommenden Elemente erfolgen. Das gezielte steuerungstechnische Eingreifen in den Abflußvorgang des Kanalisationssystems und seiner Bauwerke wird als Kanalnetzsteuerung bezeichnet, wobei die Wirkung der Steuerungsmaßnahmen im Kanalnetz auf das Gewässer durch das Emissions- bzw. Immissionsverhalten des Gesamtsystems Kanalnetz und Kläranlage beurteilt werden muß.

## **10.2. Formen der Steuerung und Grundbegriffe**

### *Abflußsteuerung:*

Eine Steuerung beinhaltet, daß eine Aufgabengröße  $x$  durch eine Störgröße  $w$  beeinflußt wird. Diese Störgröße wirkt auf die Steuereinrichtung und verursacht eine Veränderung der Stellgröße  $u$ . Eine solche Veränderung bewirkt eine Anpassung der Aufgabengröße  $x$ . Es besteht jedoch keine Rückkopplung zwischen Aufgabengröße und Stellgröße, d.h., es erfolgt keine Kontrolle, ob das gewünschte Ziel erreicht wird (Bild 52).

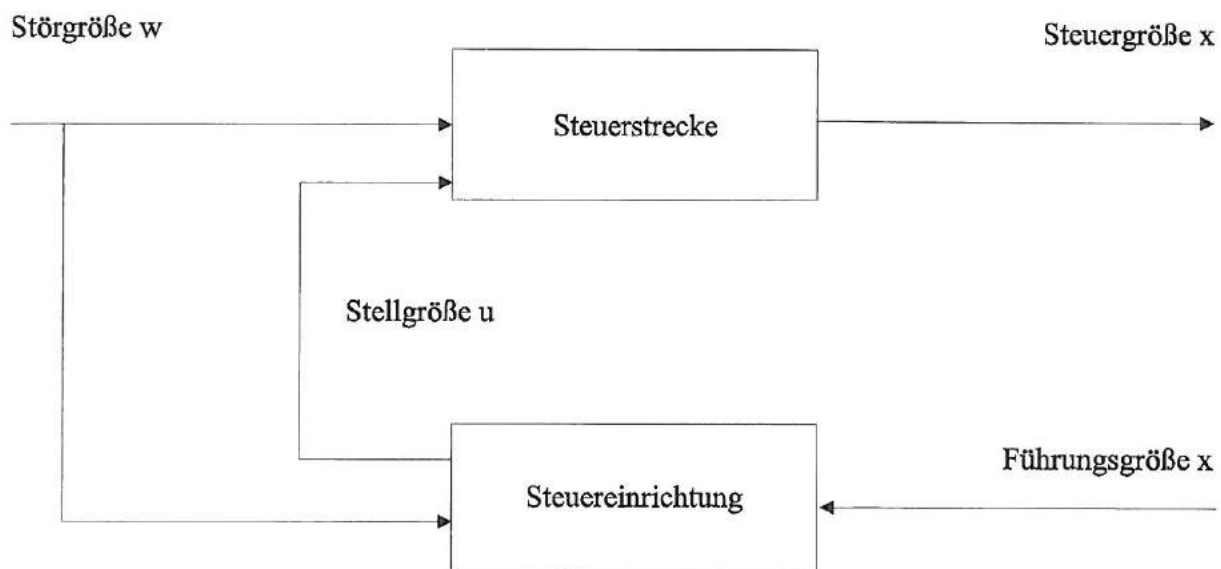


Bild 52: Schema einer Steuerung

*Abflußregelung:*

Bei einer Regelung ist dieser Kreis geschlossen. D.h. die Aufgabengröße wird ausgewertet und die Stellgröße so lange angepaßt, bis die Aufgabengröße erfüllt ist. Großer Vorteil der Regelung ist, daß sie ein sich selbst korrigierendes System ist (Bild 53).

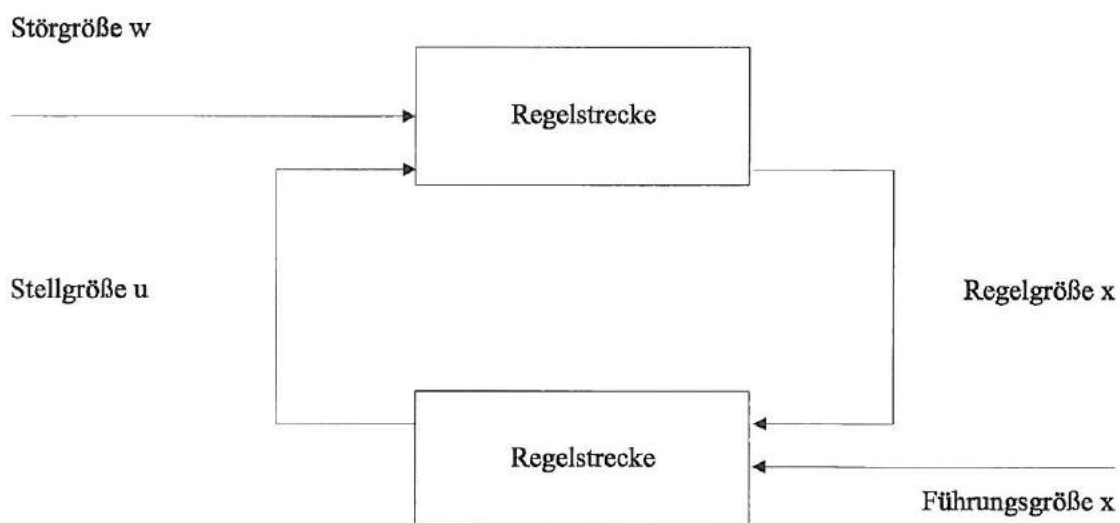


Bild 53: Schema einer Regelung



### Lokale Steuerung:

Die Sollwerte der lokalen Steuerung werden unabhängig voneinander eingestellt. D.h., es erfolgt nur eine Optimierung des jeweiligen Teileinzugsgebietes. Eine Betrachtung des Gesamteinzugsgebietes wird nicht vorgenommen. Vorteil der lokalen Steuerung ist die relativ einfache Realisierung, da nur wenige Eingangs- und Zielgrößen berücksichtigt werden müssen. Um die Wirkung der lokalen Steuerung zu erhöhen, sollten wenigsten Informationen aus der unmittelbaren Umgebung des bewirtschafteten Systems mit verarbeitet werden (Bild 54).

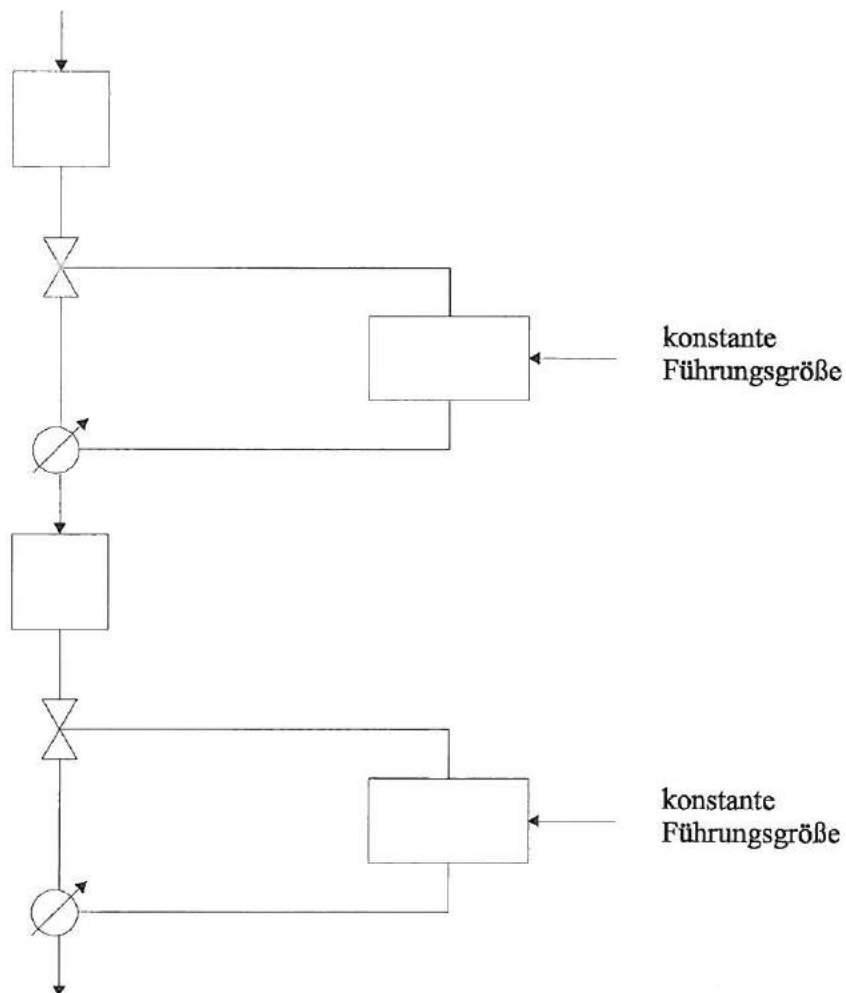


Bild 54: Schema einer lokalen Steuerung

### Verbundsteuerung:

Die Sollwerte der Teileinzugsgebiete werden nach der Auswertung des Gesamteinzugsgebieteszustandes eingestellt. Diese Form der Steuerung ist wesentlich

aufwendiger, da eine Vielzahl Eingangs- und Zielgrößen erfasst und ausgewertet werden müssen. Die Qualität der Steuerung und der erzielbare Nutzen für das Gewässer steigen.

Der Nutzen der Verbundsteuerung gegenüber einer lokalen Steuerung steigt,

- je mehr unabhängig aktivierbare Systemelemente vorhanden sind
- je ungleichmäßiger die Auslastung des Netzes ist
- je variabler die Betriebsbedingungen sind und
- je strenger die Anforderungen an das Betriebsergebnis sind.

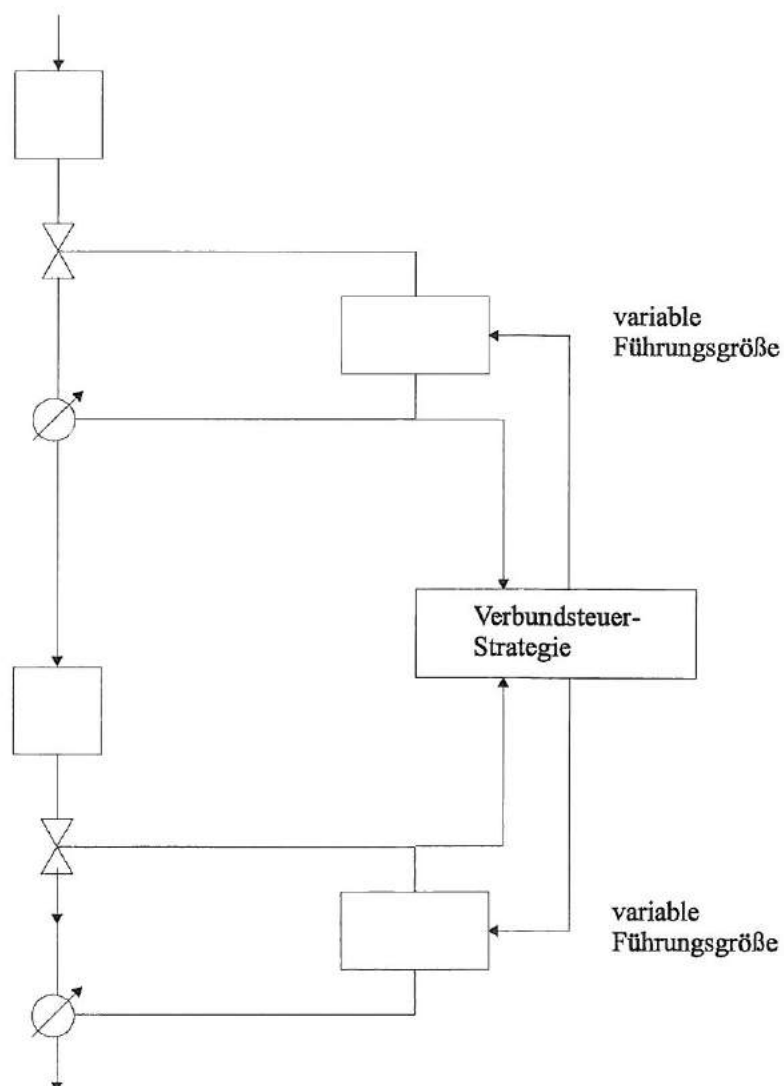


Bild 55: Schema einer Verbundsteuerung

## **11. Voraussetzung für die Umsetzung einer Kanalnetzsteuerung**

### **11.1. Allgemeines**

Zur Verwirklichung einer Kanalnetzsteuerung müssen folgende Voraussetzungen erfüllt sein:

- a) Exakte Formulierung der Steuerziele die erreicht werden sollen,
- b) Wahl eines geeigneten Standortes, bei dem sich die Zielstellungen verwirklichen lassen (Stauraumaktivierung, Vermaschung, Netzstruktur und -auslastung),
- c) Wahl des Steuerorgans, mit dem die Ziele verwirklicht werden sollen,
- d) Festlegung der Meßgröße für die Steuerung,
- e) Definition von Restriktionen,
- f) Analyse des Betriebsverhaltens des zu bewirtschaftenden Systems (Aufstellen einer Datenbasis),
- g) Erarbeitung von Steueralgorithmen,
- h) Wahl der Datenfernübertragung und Gewährleistung der Sicherheit der Meßdaten,
- i) Berücksichtigung administrativer Aspekte (rechtliche Fragen, Haftung).

### **11.2. Steuerziel**

Folgende Ziele werden durch eine Kanalnetzbewirtschaftung verfolgt:

#### *1. Senkung der Gewässerbelastung durch:*

- Regenüberlaufbecken / Rückhaltebecken,
- Stauraumbewirtschaftung,
- optimale Auslastung der Kläranlage durch Vergleichmäßigung des Abflusses,
- Reduzierung des Niederschlagsabflusses in das Kanalnetz durch dezentrale Maßnahmen,
- Minimierung der Entlastungsmengen durch Speicherung,
- Entlastung überlasteter Kanalbereiche durch Rückhalt bzw. Oberwasserentlastung,
- Vermeidung der Mehrfachspeicherung der selben Wassermengen an verschiedenen Stellen im Kanalnetz.

2. *Nutzung der aufgestauten Energie zur Remobilisierung der Ablagerungen durch Spülungen,*

3. *Probleme des Kanalnetzbetriebes:*

- Absperrung und Umleitung des Abflusses,
- Nutzung für Räumtechniken wie Stauwagen.

4. *Minimierung der Betriebskosten bei Pumpwerken in Kanalnetzen,*

5. *Einhaltung wasserrechtlicher und vertraglicher Vorgaben.*

### **11.3. Stellglieder**

Als Stellglieder bezeichnet man Elemente wie Pumpen, Schieber, Drosselklappen, hydraulisch - mechanisch arbeitende Drosselorgane, Wehre und Drehbögen. Mit Hilfe dieser Steuerorgane erfolgt die Umsetzung der Steuerziele über ein Meßwerterfassungs -, Auswerte- und Regelsystem. Als wesentliches Kriterium müssen diese Steuerorgane über Fernwirktechnik ansteuerbar sein. Für eine Kanalnetzbewirtschaftung kommen daher nur Pumpen, Schieber, Wehre und Drehbögen in Frage. Die einzelnen Stellglieder zeichnen sich durch bestimmte Kennlinien und Anforderungen an dem Einsatzstandort aus. Zur Auswahl eines Steuerorganes sollten folgende Problemstellungen herangezogen werden:

*Flexibilität der Steuerorgane,*

d.h., Reaktionen auf veränderte Ausgangs- und Zielgrößen, welche einen breiten Arbeitsbereich erfordern. Das bedeutet, nicht die Einstellung eines konstanten Zielwertes, sondern die möglichst stufenlose Regelung der Zielwerte ist anstrebenswert. Nach Dohmann/Weyand [5] können fast alle Steuerorgane vor Ort angepaßt werden, aber nur 25% über Fernwirktechnik. Die Anpassung des Sollwertes ist fast ausschließlich nur unter Trockenwetterbedingungen möglich.

*- Störanfälligkeit:*

Für die Steuerung und Bewirtschaftung ist es wichtig, daß die Steuerorgane im Praxisbetrieb sehr genau und zuverlässig funktionieren. Die Störanfälligkeit verläuft parallel zum erforderlichen Wartungsaufwand. Aus diesem Grund sollten die Stellglieder möglichst wartungsarm sein. Anderenfalls ist die Wartung durch den Netzbetrieb so zu organisieren und zu kontrollieren, daß Ausfälle vermieden werden.

*- Erkennung von Fehlverhalten:*

Wichtige Forderungen der Steuerung sind, die Kontrolle der Realisierung des angestrebten Steuerzieles und die Möglichkeit, durch eine Rückkopplung zum Stellglied so lange einzugreifen, bis das Ziel erreicht ist. Die Realisierung einer reinen Steuerung ist für die Bewirtschaftung eines Kanales ungeeignet, da der erreichte Effekt nicht mit dem Ziel verglichen wird. Durch Kombination mit einer Notabschaltung kann die Steuerung teilweise realisiert werden, ohne daß größere Schäden bei Fehlfunktionen zu erwarten sind. Aus Sicherheitsgründen sollte das Stellorgan nach Erkennen einer Fehlfunktion in einen definierten Zustand übergehen und nicht in der letzten Position verharren.

*- Örtliche Bedingungen des bestehenden Kanalnetzes und bauliche Anforderungen eines Steuerorganes (vor allem bei Nachrüstung):*

- Nutzung vorhandener Bauwerke (Regenüberläufe, Regenbecken),
- gesondertes Bauwerk (Schacht, Becken),
- Unterbringung der Fernwirktechnik. Des weiteren ist der Standort hinsichtlich des Einsatzes verschiedener Meßsysteme einzuschätzen.

*- Einsatzzweck der Stellglieder:*

- Anforderungen der Stellglieder an das Kanalnetz (Kaskadenbewirtschaftung),
- Mögliche Steuerziele und ihre Verwirklichung mit den Stellgliedern.

Nach einer Vorauswahl entsprechend der genannten Kriterien muß die eigentliche Auswahl des Stellgliedes an Hand einer Kosten-Nutzen-Rechnung erfolgen. Wichtige

Aspekte sind:

- Anschaffungskosten (Produkt-, Einbau- und Bauwerkskosten),
- Betriebskosten (Energie, Reparatur und Wartung),
- Realisierung vorgegebener Steuerziele und ihr ökonomischer Nutzen,
- Lebensdauer / Abschreibung.

#### **11.4. Meßgrößen**

Zur Durchführung eines Steuervorganges muß entsprechend dem Steuerziel die zu steuernde bzw. regelnde Größe überwacht werden. Um die Steuerung effektiver zu gestalten, müssen alle Größen, die die zu steuernde bzw. zu regelnde Größe beeinflussen, mit registriert werden. In der Kanalnetzsteuerung soll allgemein der Kanalabfluß so verändert werden, daß der maximale Nutzen für das anliegende Gewässer entsteht. Dieses erfolgt durch eine gezielte Ausnutzung der vorhandenen Speicherräume durch Aktivierung (Aufstau) oder Umleiten bei einem vermaschten Kanalnetz in noch kapazitätsfreie Sammler. Bei der Stauraumbewirtschaftung, die zu einer Gewässerentlastung führt, muß das Abflußverhalten des bewirtschafteten Kanalnetzes ebenfalls überwacht werden. Die Stauraumaktivierung und die Gewährleistung des Entwässerungskomforts sind zwei konkurrierende Ziele. Das heißt, durch eine übertriebene Stauraumbewirtschaftung und damit Anhebung der Rückstauenebenen kann die zweite Aufgabe des Kanalnetzes, die gefahrlose Ableitung des Abwassers versagen und es kann zu Überflutungen auf Straßen und Kellerüberschwemmungen führen. Andererseits ist zu berücksichtigen, daß bei zu tief liegenden Rückstauenebenen trotz ausreichender Sammlerdimension nicht genügend Stauraum aktiviert werden kann. Bei der Umsetzung der Kanalnetzsteuerung muß eine Optimierung unter Berücksichtigung dieser beiden grundlegenden Ziele erfolgen. D.h., für das zu bewirtschaftende Kanalnetz ist die Funktionsgleichung zu finden, bei der der maximale Kanalstauraum unter Gewährleistung einer ausreichenden Überflutungssicherheit aktiviert wird. Daraus können die beiden wesentlichen, den Systemzustand beschreibenden Meßgrößen zur Verwirklichung einer Kanalnetzsteuerung abgeleitet werden:

### 1. *Der Abfluß zur Realisierung der minimalen Gewässerbelastung*

(Eventuell kann die mengenmäßige Schmutzfrachtbelastung der Gewässer durch qualitative Messungen ergänzt werden.)

### 2. *Der Wasserstand zur Überwachung der maximal zulässigen Rückstauenebene*

Wesentlichen Einfluß auf das Abflußgeschehen im Kanalnetz hat der auftretende Niederschlag. Entsprechend der Oberflächenbeschaffenheit errechnet sich der in die Kanalisation fließende Abfluß aus dem fallenden Niederschlag und den Parametern der Oberfläche (Muldenverlußt, Bodenklasse, Befestigung, Vorereignis). Die meßtechnische Erfassung des Oberflächenabflusses ist schwierig, so daß durch eine geeignete Modellierung des Einzugsgebietes der in die Kanalisation fließende Abfluß berechnet werden muß. Der Niederschlag als bestimmende Größe muß überwacht und registriert werden. Zur Niederschlagsregistrierung werden folgende Geräte eingesetzt:

- Regenschreiber nach Schwimmerprinzip:

Die Niederschlagsregistrierung erfolgt auf einem Meßstreifen. Auf Grund des fehlenden elektrischen Ausgangs für die Datenverarbeitung und der erhöhten Fehlerquelle durch die Mechanik gelangen diese Geräte immer weniger zum Einsatz.

- Tropfer:

Der Niederschlag wird im Tropfer umgeformt. Die Intensität ist proportional zur Tropfenzahl. Positiv ist bei dieser Meßtechnik der elektrische Datenausgang und die sehr feine Auflösung. Probleme gibt es bei Verschmutzung und Veränderung der Oberflächenspannung des Regenwassers und damit verbundenem anderen Tropfverhalten. Starkregen können zum Versagen des Tropfers führen.

- Regenschreiber nach dem Wippenprinzip:

Die Kippbewegungen der Wippe entsprechen einer bestimmten Niederschlagsintensität. Die Auflösung ist gegenüber dem Tropfer größer, aber bei Starkregen sind diese Regenschreiber betriebssicherer.

- Regenschreiber kombiniert als Tropfer und Wippe:

Diese kombinierten Geräte vereinen die Vorteile beider Systeme. Es kann eine Plausibilitätskontrolle vorgenommen bzw. der Betrieb überwacht werden.

- Radar:

Gegenüber bisherigen Geräten weist das Radar den Vorteil auf, daß es nicht punktförmig, sondern flächig mißt. Dies führt zu einer wesentlich besseren Beschreibung des Niederschlagsgeschehens. Die Bedeutung der Güte der Ausgangsdaten für eine Oberflächenabflußmodellierung macht nachfolgendes Beispiel deutlich. Mit dem Radar können Auflösungen von 300, 600 bzw 900 m<sup>2</sup> realisiert werden. Bei der punktuellen Messung hat die registrierende Fläche eine Größe von 200 cm<sup>2</sup> und in Sonderfällen von 500 cm<sup>2</sup>. Dieser Meßwert wird auf ein Einzugsgebiet von mehreren km<sup>2</sup> Größe extrapoliert. Diese fiktive Rechnung verdeutlicht, welche Unwägbarkeiten bei einer punktuellen Niederschlagsmessung auftreten können. Diese sind nur durch ein dichtes Regenschreibernetz zu kompensieren. Obgleich teurer, ist die Radarmessung für eine Kanalnetzsteuerung empfehlenswerter. Schilling [5] gibt für den Einsatz des Radargerätes eine Einzugsgebietsgröße von 100 bis 1000 km<sup>2</sup> an.

### **Meßgeräte zur Erfassung des Systemzustandes im Kanalnetz:**

#### **a) Wasserstandmeßgeräte**

- Grenzwertgeber
- Schwimmer
- elektromechanisches Lot
- kapazitive Messung
- Druckmessung (Druckmeßdose, Lufteinperlverfahren)
- Laufzeitmessung (Ultraschallmeßgeräte)

Grenzwertgeber, Schwimmer, elektromechanisches Lot und kapazitive Messung sind nur eingeschränkt einsetzbar. Zum einen lassen sich nur stark begrenzte Steuerziele realisieren (Ein /Aus) und zum anderen muß bei den mechanisch arbeitenden Systemen mit einem hohen Wartungsaufwand gerechnet werden, so daß der



Dauereinsatz nicht empfehlenswert ist. Weiterhin ist die Genauigkeit dieser Geräte begrenzt.

Im Praxiseinsatz bewährt haben sich die Verfahren mit der Laufzeit und Druckmessung. Die Meßgenauigkeit ist ausreichend und der Wartungsaufwand verhältnismäßig gering, wobei die berührungslosen Verfahren Vorteile besitzen. Entsprechend den Einbaubedingungen sind die Meßverfahren auszuwählen.

#### b) Durchflußmessung

In der Praxis ist die Genauigkeit der Durchflußmessung nicht zufriedenstellend. Häufig befinden sich Ablagerungen im Kanal, und es kann bei entsprechenden Abflußverhältnissen zu Rückstau kommen. Hier versagen die meisten Meßverfahren. Die Genauigkeit der Durchflußermittlung nach Manning beträgt 10 - 20% und die des Venturis bei 10% (Ablagerungsfreiheit und Rückstaufreiheit vorausgesetzt.) Deshalb sollte die Durchflußbestimmung in jedem Fall mit einer Geschwindigkeitsmessung kontrolliert werden.

Das größte Problem der verschiedenen Meßverfahren besteht in der möglichst genauen Beschreibung der Querschnittsverteilung der Fließgeschwindigkeit. Die besten Ergebnisse lassen sich mit dem Druckrohr-IDM erreichen. Der Meßfehler liegt bei 0,5 - 1%. Nachteilig sind die erhöhten Kosten, die für die Dükerung erforderlich sind. Bei größeren Profilen muß auf andere Meßverfahren ausgewichen werden.

#### -Eintauch MID (Magnetisch-Induktive-Durchflußmessung):

Diese Methode ist als Dauermeßstelle nicht geeignet, da sich viele Anhaftungen bilden können und dadurch Fehlmessungen entstehen.

#### -Ultraschall - Dopplermessung:

Mit diesem Verfahren wird die örtliche Geschwindigkeit eines Feststoffteilchens erfaßt, die im allgemeinen mit der Fließgeschwindigkeit des Abwassers identisch ist. Bei der Durchflußberechnung muß dann diese örtliche Fließgeschwindigkeit auf eine mittlere Fließgeschwindigkeit extrapoliert werden, wodurch gegebenenfalls der größte Fehler entsteht.

Ultraschall-Laufzeitmessung:

Statt punktueller Messung erfolgt die Messung in einer Meßebe. Bessere Ergebnisse lassen sich mit Teilfüllung-MID bestimmen, wobei 3 Sensoren in verschiedenen Ebenen angeordnet sind.

Die Meßgenauigkeit der Ultraschall-Messung ist geringer als die der MID. Der Wartungsaufwand dieser Systeme hält sich in Grenzen, da sie dem Strömungsprofil gut angepaßt sind.

### **11.5. Datenübertragung und -sicherheit**

Meßwerte liegen z.B. als elektrisches Signal 4-20 mA vor. Neben Vor-Ort-Anzeigen können die Daten als Ganglinie oder Counter aufgezeichnet werden. Vom Meßgerät müssen die Eingangsdaten zum Ausgabegerät übertragen werden, damit die Steuerstrategien erkannt und ausgelöst werden können und so das Steuerziel erreicht wird. Zur Datenübertragung auf einen Zentralrechner stehen folgende Übertragungswege zur Verfügung:

- Betriebseigene Fernmeldenetze,
- Standleitungen der Telekom,
- digitalnutzbare Anschlüsse im öffentlichen Direktnetz,
- öffentliches Fernsprechnet,
- öffentliches Datexnetz,
- öffentliches Temexnetz..

Die Auswahl des Netzes sollte nach folgenden Kriterien erfolgen:

- Zuverlässigkeit,
- Kosten (Investition, Betriebskosten),
- Verfügbarkeit,
- Zulässigkeit.

Besonders wichtig für eine funktionierende Steuerung sind die real gewonnenen

Meßdaten, da sie die Algorithmen auslösen. Daher sind hohe Anforderungen an die Güte und Plausibilität der Meßgeräte zu stellen. Es sind geeignete Maßnahmen zur Meßwertkontrolle einzuleiten, so daß durch fehlerhafte Messung falsche Steuerstrategien vermieden werden.

Weiterhin muß die Datenübertragung vom Meßgerät zum Zentralrechner stets gewährleistet sein. D.h., im Havariefall sollte eine andere Datenleitung die Übertragung vollziehen.

### **11.6. Restriktionen**

Zur Verwirklichung der formulierten Steuerziele sind bestimmte Vorgaben zu machen, die die Grenzen der Steuerung beschreiben. Solche Zwänge ergeben sich u.a. aus der Gewährleistung der schadlosen Abwasserableitung durch das Einhalten einer maximal zulässigen Rückstauenebene.

Die Bewirtschaftung des Abflusses und damit alle Maßnahmen, die den Gewässerschutz betreffen, erfordern die Formulierung von minimalen und maximalen Abflußzuständen (Grenzen des Sollabflusses zum Unterwasser, zulässige Überfallhöhe und Entlastungsmengen an den Regenüberläufen) sowie bei einer qualitativen Bewirtschaftung die Vorgabe von Grenzwerten für eine zulässige Entlastung.

Aus betrieblicher Sicht sind zum Schutz von Personal Abbruchkriterien bzw. Zulassungskriterien zu bestimmen, wenn eine Erhöhung des Abflusses zum Unterwasser (Spülung, Entleerung von zwischengespeichertem Mischwasser) oder Einstau eines Kanalstauraumes erfolgen kann.

### **11.7. Datenbasis**

Grundlage der Steuerung ist neben den gewünschten Steuerzielen und den Restriktionen eine genaue Kenntnis des Abfluß- und Überstauverhaltens des zu bewirtschaftenden Kanalnetzes.

Zur Umsetzung der verschiedenen Steuerziele müssen die entsprechenden

Ganglinien für jedes Steuerziel, die zur Erkennung des Steuerzieles (Start Steueralgorithmus) und zum Abschluß des Steuervorganges führen, (Abbruch bzw. Steuerziel erreicht) von dem bewirtschafteten Kanalnetz aufgenommen werden:

- a) Die Aufnahme des Trockenwetterabflusses zur Erkennung der Bewirtschaftung von Niederschlagsabflüssen vor allem bei Schneeschmelze.
- b) Die Aufnahme von Stauganglinien für die Trockenwetterspülung zur Erkennung von Niederschlagsabflüssen.
- c) Die Aufnahme von Stauganglinien zum Absperrern eines Kanalabschnittes und zur Umleitung bei vermaschten Kanalnetzen.
- d) Die Dokumentation von Niederschlags-Abfluß-Verhalten des Einzugsgebietes zur Prognose der Abflußwellen mit Modellberechnungen.
- e) Die Erfassung der Mengen- und Schmutzfrachtganglinien bei einer Bewirtschaftung von Niederschlagsabflüssen.
- f) Die Aufnahme von Speicherkennlinien (Füllzeit, Entleerungszeit, Verhalten bei Regenabflüssen)

## **11.8. Methoden zur Realisierung der Steuerung eines Kanalnetzes - Entwicklung eines Steueralgorithmus**

### **11.8.1. Allgemeines**

Die Entwicklung eines Steueralgorithmus ist die Voraussetzung zur Realisierung eines Steuerzieles. Als erstes muß der Algorithmus aus den Eingangsgrößen die Problemstellung erkennen und das Steuerziel definieren. Anschließend werden Restriktionen und die Datenbasis, die das Netzverhalten widerspiegelt, verarbeitet und die Stellgrößen so verändert, daß das Steuerziel erreicht wird. Der Zeitraum von der Definition des Steuerzieles bis zu seiner Erfüllung muß mit einem Steueralgorithmus überwacht werden, um auf sich ändernde Eingangsgrößen reagieren zu können. Die Steueralgorithmen können heuristisch oder durch Optimierung entwickelt werden.

### **11.8.2. Heuristische Verfahren**

Bei dem heuristischen Verfahren werden sinnvoll erscheinende Annahmen getroffen, die zur Lösung der Steueraufgabe führen sollen. Der subjektive Einfluß ist sehr hoch, so daß zwei einzelne Bearbeiter durchaus zu verschiedenen Ergebnissen kommen können.

#### **a) Probiervverfahren:**

Durch subjektives Probieren wird der Steuervorgang durchgeführt. Die Qualität ist vor allem von den Erfahrungen des Betriebspersonals abhängig. Diese sind auf andere Personen schwer übertragbar. Positiv kann die Vor-Ort-Kontrolle sein. Dem gegenüber können Vorsicht oder Wagemut sich nachteilig auf die gewünschten Steuerergebnisse auswirken.

#### **b) Entscheidungsmatrizen:**

Eine Entscheidungsmatrix ist die Zusammenstellung von Steuerungseingriffen für alle möglichen Kombinationen der Zustandsvariablen. Die Auswertung der Matrix ist ein Algorithmus, ihre Aufstellung erfolgt jedoch heuristisch. Um alle Systemzustände zu erfassen, sind erhebliche Entwicklungsarbeiten erforderlich.

#### **c) Entscheidungsbäume:**

Typische Systemzustände und Belastungen werden klassifiziert und zusammengefaßt. Diese Kriterien lassen sich mit geringerem Aufwand speichern, als es für die Entscheidungsmatrix erforderlich ist. Der Entwicklungsaufwand ist hoch.

### **11.8.3. Optimierungsverfahren**

Die Zielfunktion der Steuerung wird zusätzlich um den Parameter Zeit ergänzt. Das grundlegende Optimierungsproblem befaßt sich mit dem Maximum bzw Minimum einer Zielfunktion  $f$  von Entscheidungsvariablen  $y$  mit den einzustellenden Randbedingungen  $g_i$ . Folgende Randbedingungen sind einzuhalten bzw. zu erfassen:

a) Anfangsbedingungen:

Sie beschreiben den Ist-Zustand des Systems vor dem auslösenden Steuerereignis.

b) Zustandsbedingungen:

Durch sie erfolgt eine Überwachung des bewirtschafteten Systems, so daß Grenzzustände nicht überschritten werden können.

c) Steuerungsrandbedingungen:

Sie beschreiben die Grenzen des Steuerorgans, in denen eine Steuerung erfolgen kann. Außerhalb dieser Bedingungen versagt die Steuerung.

d) Systemdynamik:

Die bei der Optimierung verwendeten Vorhersagemodelle für Niederschlag und Abfluß müssen die real auftretenden Prozesse gut beschreiben. Es sind dahingehend Vereinfachungen zu treffen, daß die Rechenzeit verkürzt und der Vorhersagezeitraum vergrößert wird.

e) Endbedingungen:

Definition des angestrebten Zustandes des Systems nach Ende des Steuerungszeitraumes.

f) Nichtnegativitätsbedingung:

Alle Entscheidungsvariablen müssen wahr oder falsch, on oder off oder  $\geq 0$  sein.

Verschiedene Optimierungsverfahren werden von Harboe [4] dargestellt.

## 12. Das Regelsystem des Drehbogens in Dresden-Leuben

### 12.1. Allgemeines

Im Frühjahr 1995 hat die DWA GmbH Dresden einen Entwurf zur Entwässerungskonzeption Dresdens vorgestellt. Darin enthalten sind Aspekte des Kläranlagenausbaues und der Kanalnetzsanierung. Die zukünftige Regenwasserbehandlung sieht sowohl den Bau von Regenbecken und Stauraumkanälen sowie die Aktivierung bereits vorhanden Kanalstauraumes vor. Langfristig ist in Dresden eine Verbundsteuerung anzustreben. Da die meisten Systeme zur Zeit jedoch nicht existieren, empfiehlt sich für das Einzugsgebiet Dresden-Leuben momentan die Umsetzung einer lokalen Steuerung, die dann später in eine Verbundsteuerung integriert werden sollte.

### 12.2. Schema der Steuerung am Drehbogen Dresden-Leuben

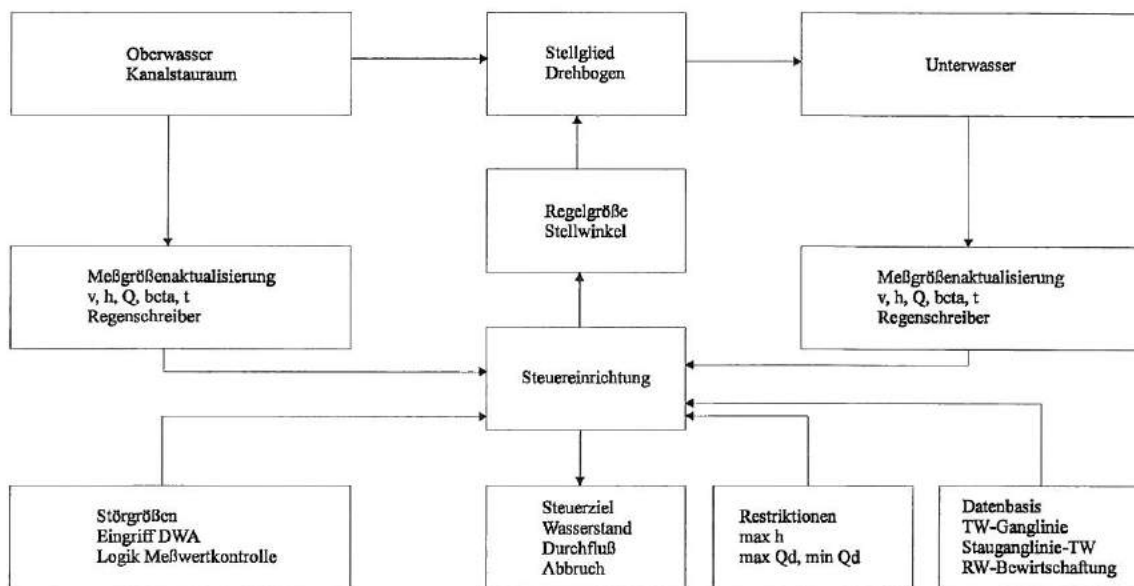


Bild 56: Steuerungsschema am Drehbogen Dresden-Leuben

### **12.3. Steuerziele für das Einzugsgebiet Dresden-Leuben**

Für das Einzugsgebiet Dresden-Leuben können zunächst folgende Steuerziele definiert werden:

- a) Senkung der Gewässerbelastung durch Stauraumbewirtschaftung und damit optimale Auslastung der Kläranlage durch Vergleichmäßigung des Abflusses sowie Entlastung von überlasteten Kanalbereichen durch Zwischenspeicherung und Abschlag verdünnten Abwassers in die Vorfluter,
- b) Nutzung zur Kanalreinigung mit Spülung,
- c) Lösung betrieblicher Aufgaben, wie Nutzung der Schwallwelle zum Vortrieb des Stauwagens und Absperren des Abflusses zum Unterwasser (nur eingeschränkt möglich, da der Drehbogen kein Verschlußorgan ist),
- d) Einhaltung wasserrechtlicher Vorgaben.

Nicht verwirklicht werden kann eine Umleitung des Abflusses, da keine Vermaschung zu Nachbareinzugsgebieten besteht. Ob diese gebaut werden kann und soll, muß beim Übergang von der lokalen Steuerung zur Verbundsteuerung geprüft werden.

### **12.4. Input für die Steuerung**

Als Eingangsgrößen im Einzugsgebiet selbst sind 2 Regenschreiber, eine Wasserstandsmessung und eine Geschwindigkeitsmessung vorhanden. Anhand dieser Meßgrößen können Prognosen getroffen werden und der aktuelle Abflußzustand im System überwacht werden. Momentan eingesetzte Meßsysteme sind Regenschreiber nach dem Wippenprinzip der Firma Thies, Ultraschall-Echolote Hydro-Ranger der Firma Nivus zur Wasserstandsmessung und ein Ultraschall-Dopplersensor DEK-Ex der Firma Nivus zur Geschwindigkeitsmessung. In der 1,5-jährigen Projektdauer haben diese Geräte ihre Betriebssicherheit unter Beweis



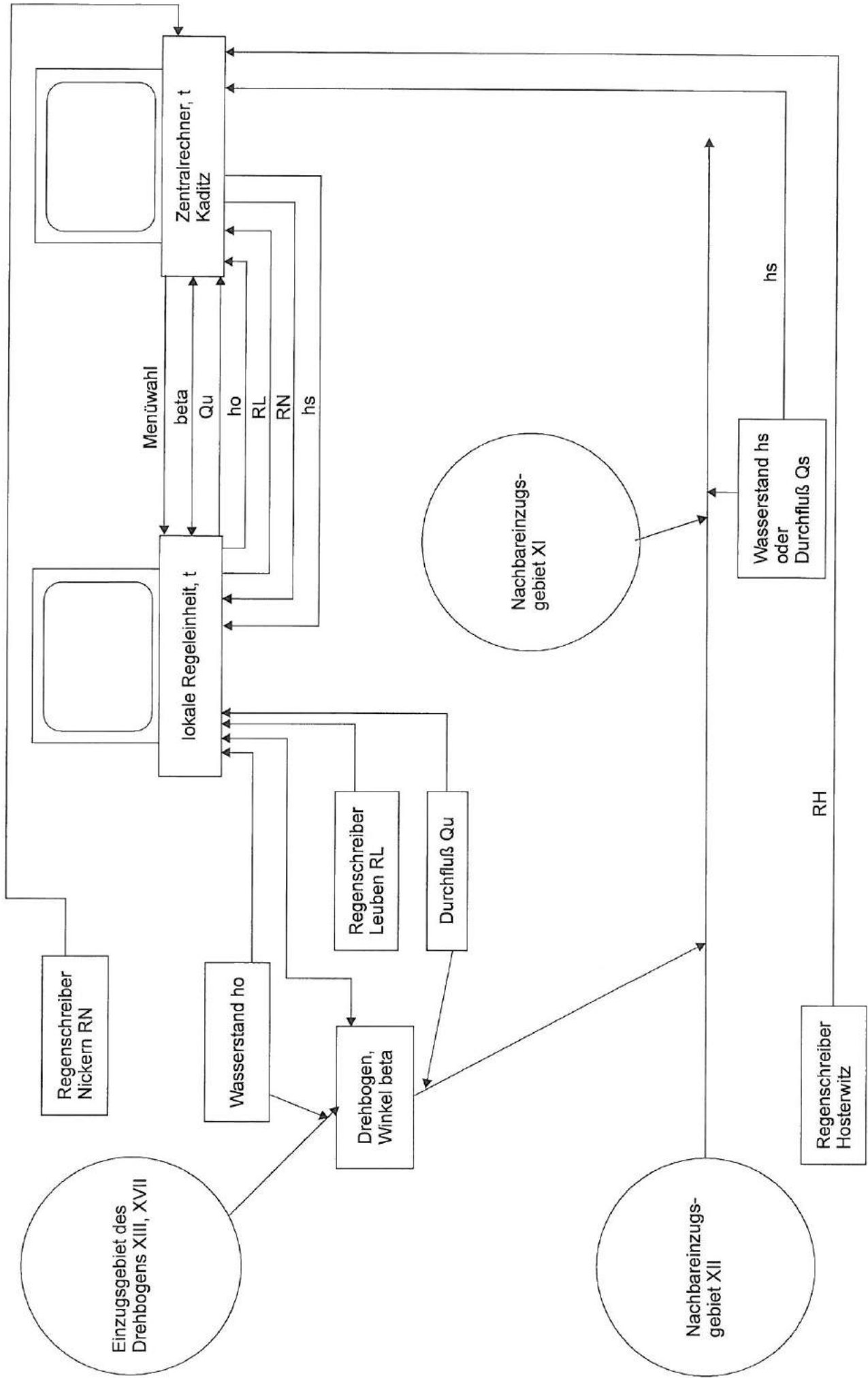


Bild 57: Meßeinrichtungen zur lokalen Steuerung des Drehbogens in Dresden-Leuben

gestellt, wobei auch andere Gerätetypen einsetzbar sind. Alle Meßgeräte verfügen über elektrische Ausgänge und können somit auf einen Rechner übertragen werden. Um Fehlimpulse auszublenden, sollte als kleinstes Intervall 1 Minute überwacht werden, wobei die Meßwerte als 1-minütiges Gleitmittel zu verarbeiten sind. Theoretisch ist eine Durchflußsteuerung über den Oberwasserstand möglich. Dieses trifft jedoch nur für den Fall zu, daß im Drehbogen ein vollkommener Überfall stattfindet. Die Praxismessungen zeigten, daß es bei sehr lang anhaltenden Niederschlägen sowie extremen Starkregen zu Rückstauerscheinungen aus dem Unterwasser kommen kann. Um auch für diesen Fall eine exakte Steuerung des Abflusses vornehmen zu können, muß die Fließgeschwindigkeit mit gemessen werden. Die Durchflußmessung kann sowohl im Oberwasser als auch im Unterwasser erfolgen. Für eine Umsetzung der Regelung ist die Unterwassermeßstelle vorteilhafter, da die Zielgröße (Abfluß in das Unterwasser) direkt kontrolliert werden kann. Die Meßgeräte sollten im strömenden Bereich installiert werden. In diesem Fall kann der Standort der Wasserstandsmessung im Oberwasser beibehalten werden. Wird eine Durchflußmessung und -regelung von der Oberwasserseite aus gewünscht, müssen die Meßgeräte (Wasserstand, Geschwindigkeit) weiter stromauf installiert werden, um auch bei kleinen Zuflüssen verwertbare Meßwerte zu erhalten. Des weiteren müssen die Meßgeräte außerhalb des Bereiches der Rückströmungen installiert werden. Der jetzige Standort der Wasserstandsmessung im Oberwasser wird dann überflüssig. Die aufgenommene Datenbasis kann über das Sohlgefälle angeglichen werden. Bei der oberwasserseitigen Meßwerterfassung kommt erschwerend hinzu, daß bei der Regelung des Unterwasserabflusses am Regenüberlauf entlastete Wassermengen berücksichtigt werden müssen. Um die lokale Steuerung effektiver zu gestalten, sollte ein Regenschreiber und eine Wasserstands- bzw. Durchflußmeßstelle aus dem Nachbareinzugsgebiet mit ausgewertet werden.

## 12.5. Restriktionen

Durch die Bewirtschaftung sind dem Kanalnetz bestimmte Grenzen gesetzt:

- Überwachung der Rückstauenebene, so daß es zu keiner Keller- oder Straßenüberflutung kommen kann. Dieses wurde an 8 Stellen des Systems mit teilweise Wasserstandsmessungen und Kontrolleisten durchgeführt. Die momentan maximal zulässige Stauhöhe am Drehbogen beträgt 2,57 m.
- Vermeiden des Anspringens des Hebers; dazu darf die maximale Stauhöhe vor dem Drehbogen 2,87 m nicht überschreiten, wobei der Drehbogen um 90° angehoben ist. Bild 19 im Abschnitt 6.4. stellt die Abhängigkeit der möglichen Heberwirkung von der Neigung des Drehbogens dar.
- Freigabe vor Spül- und Stauvorgängen zum Schutz des abwassertechnischen Personals, sofern dieses sich in der Kanalisation befindet. Dazu ist die Definition von Abbruchkriterien notwendig.
- Vorgabe von Sollabflüssen für eine Regenwasserbewirtschaftung und Vermeidung von Überlastungen im Unterwasser.
- Erfassung von Regelgrenzen des Drehbogens (Regelbereich 0-90°) und Anpassung der Regenüberläufe auf die gewünschten Steuerziele (z.B. Einhaltung der maximalen oder minimalen Sollabflüsse in das Unterwasser).

## 12.6. Datenbasis des zu bewirtschaftenden Kanalnetzes

In Auswertung der Datenbasis kann der Steueralgorithmus das Erreichen des jeweiligen Steuerzieles überwachen und bei Erkennen von Störgrößen reagieren und das Steuerverhalten so verändern, daß das Steuerziel erreicht wird oder es zum Abbruch des Steuervorganges kommt. Folgende Datenbasis ist für eine Bewirtschaftung des Einzugsgebietes Dresden - Leuben erforderlich:

- Trockenwetterganglinie (Bild 58, 59)
- Stauganglinie bei Trockenwetter (Bild 60, 61)
- Auswertung des Niederschlag-Abflußgeschehens (Bild 62-63) (Regen und dazugehörige Abflußganglinien, Korrelation des Regens aus Nachbarstationen)
- Aufnahme und Auswertung von Bewirtschaftungsganglinien bei Regenwetter (quantitativ und qualitativ) (Bild 48 -51)

## **12.7. Realisierung von Steuerzielen in Dresden-Leuben**

### *Spülung:*

Als erstes soll in Dresden die Nutzung des Drehbogens zur Kanalnetzspülung verwirklicht werden. Dabei kann prinzipiell in eine Intensivspülung (20-30 x pro Woche) und in eine Erhaltungsreinigung (5-10 x pro Woche) unterschieden werden.

Mit der Intensivspülung soll die 700 m lange Unterwasserstrecke grundgereinigt werden. Nach erfolgter Grundreinigung kann die Spülanzahl reduziert werden, da eventuelle neue Ablagerungen nicht so verfestigt sind und auch nicht in dem Umfang auftreten werden. Die Spülzyklenzahlen stellen erste Anhaltspunkte dar. Anhand der praktischen Erfahrungen sind diese möglicherweise zu ändern.

Bild 64 zeigt den prinzipiellen Ablauf des Spülalgorithmus.

### *Regenwasserbewirtschaftung:*

Eine Regenwasserbewirtschaftung soll erst nach Abschluß der Schmutzfrachtberechnungen für die Stadt Dresden vorgenommen werden. Bis zu diesem Zeitpunkt ist es wichtig, eine möglichst umfangreiche Aussage über das Niederschlag-Abfluß-Verhalten des Einzugsgebietes zu bekommen. Kernaussagen müssen sich auf die Bewirtschaftungswürdigkeit der Regenereignisse beziehen. D.h., es muß eine Definition erfolgen bis zu welcher Stärke kleine Ereignisse nicht bewirtschaftet werden brauchen, ab welcher Größe die Niederschlagsabflüsse nicht mehr bewirtschaftbar sind und wie die Niederschlagsabflüsse zu bewirtschaften sind.

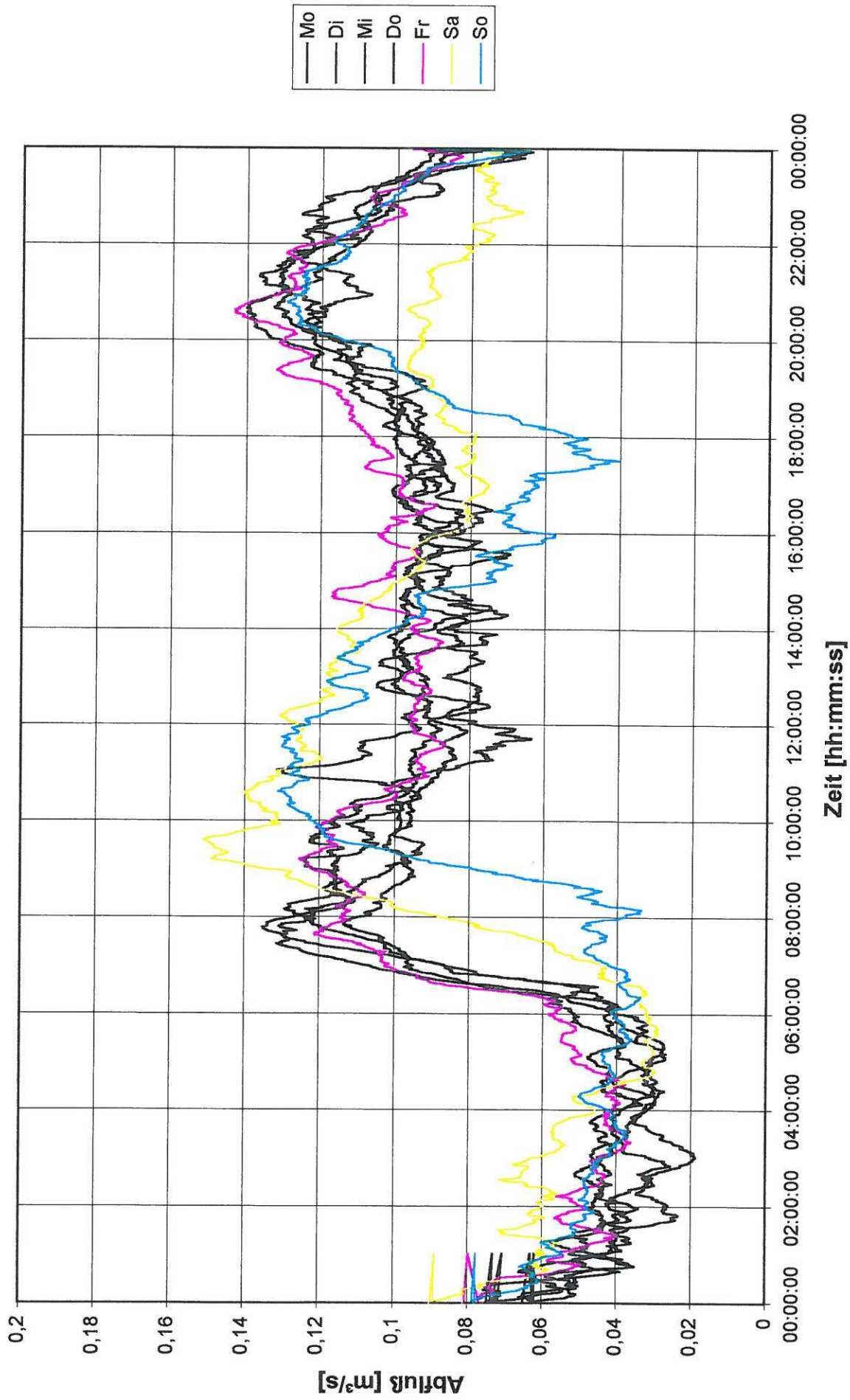


Bild 58: Abflußganglinien am RÜ KA Leuben (Trockenwetter)

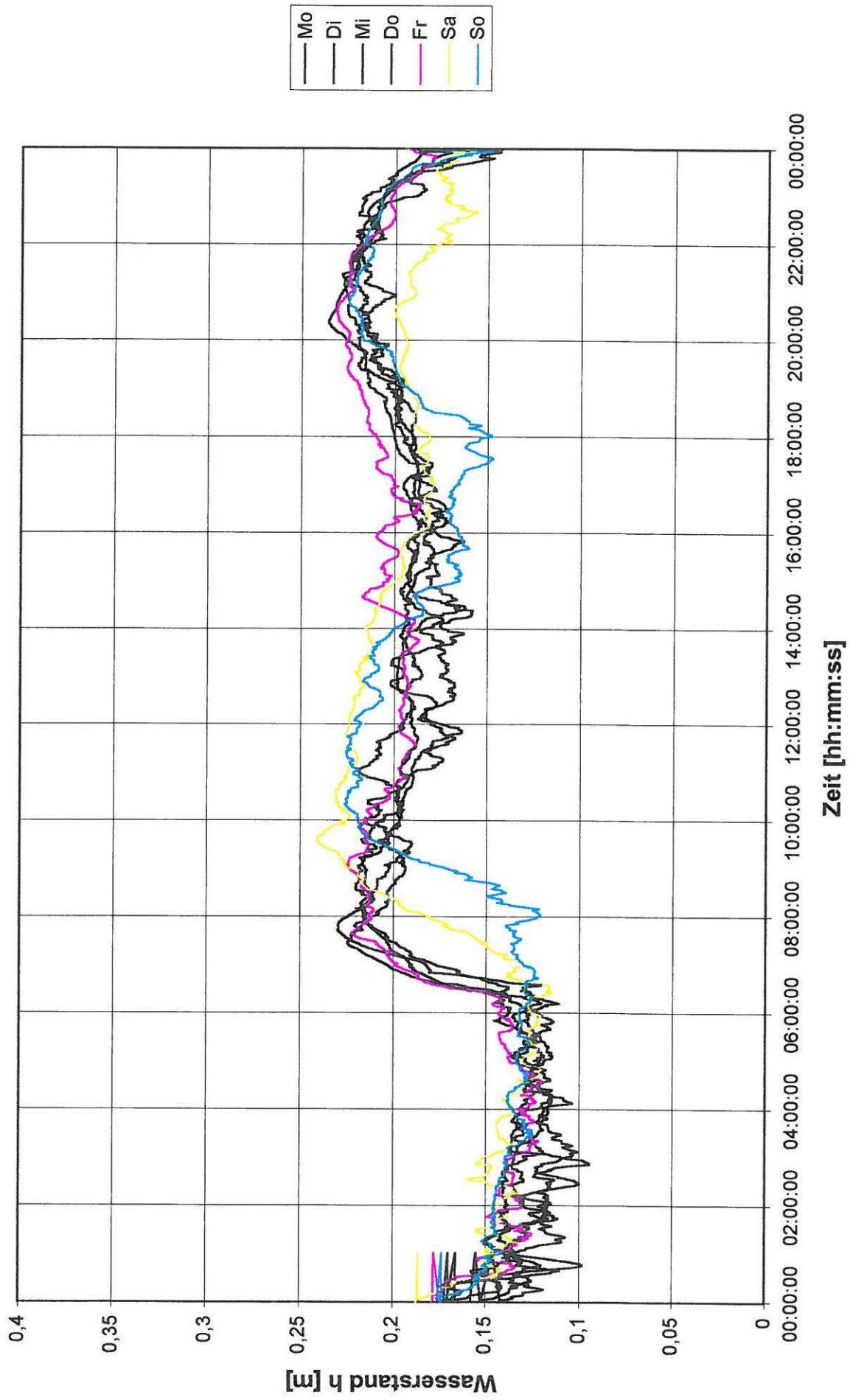


Bild 59: Wasserstandsganglinien am RÜ KA Leuben (Trockenwetter)

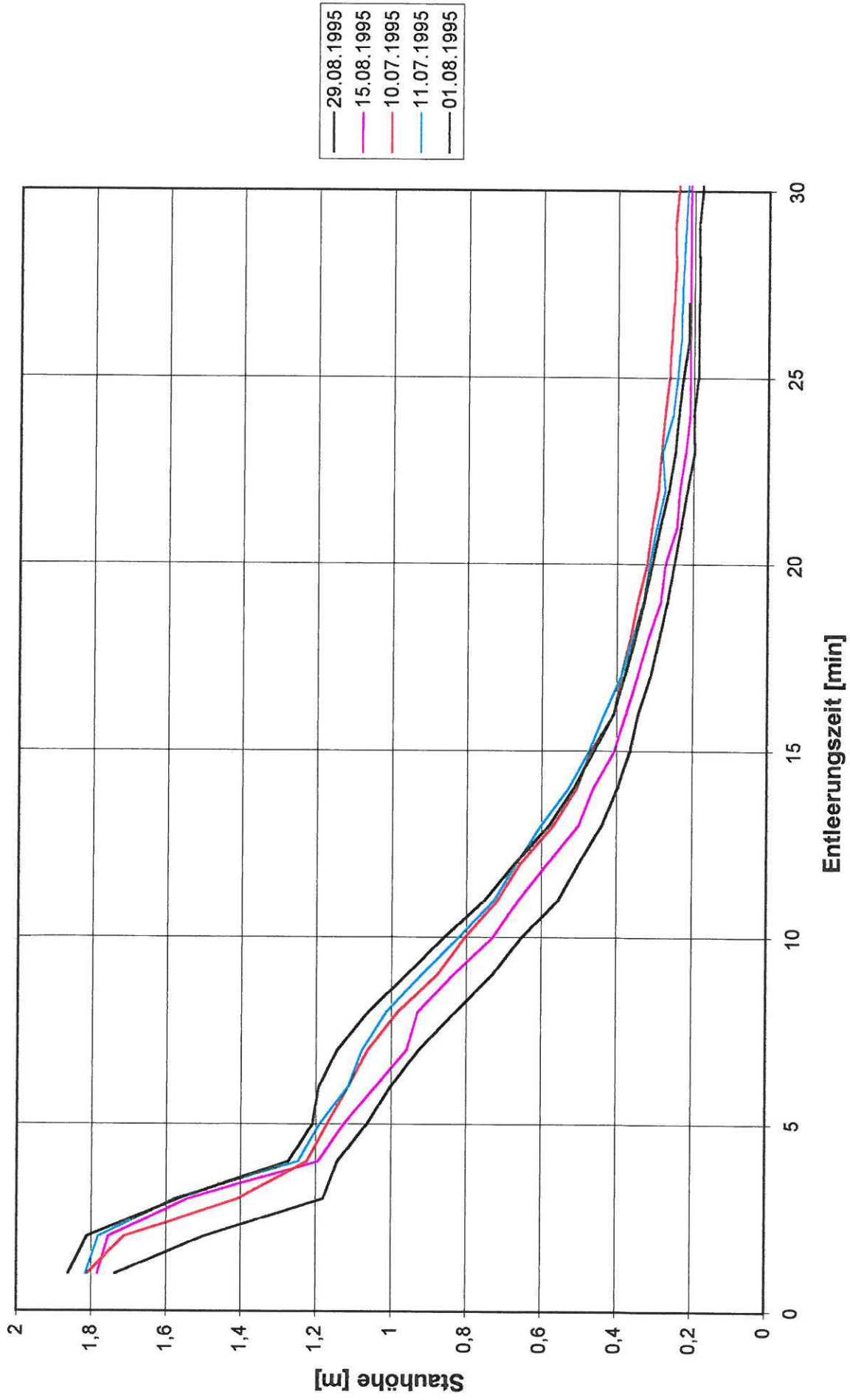


Bild 60: Verlauf des Wasserstandes am RÜ KA Leuben während der Entleerung des mit Trockenwetterabfluß aktivierten Kanalstauraumes

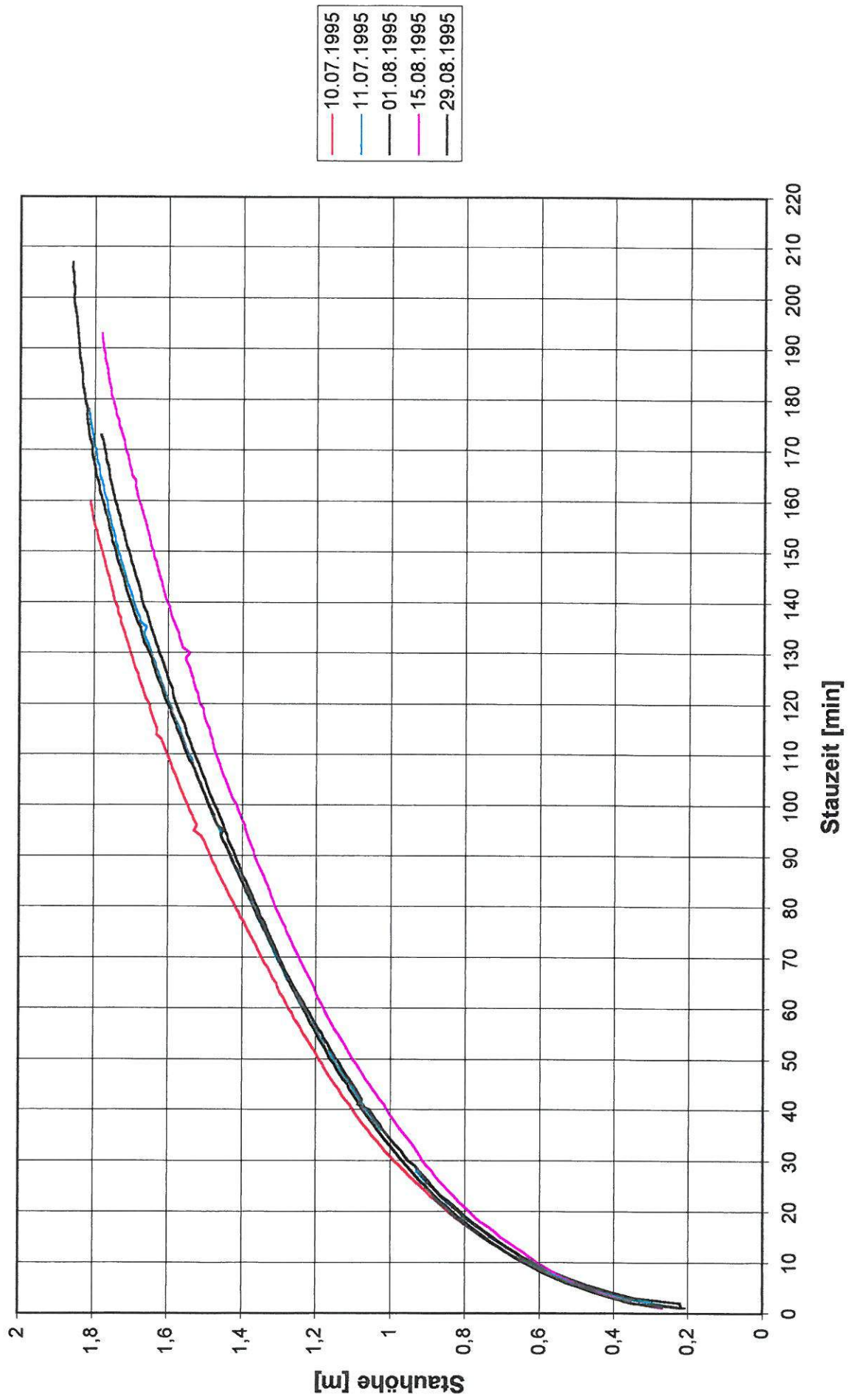


Bild 61: Verlauf des Wasserstandes am RÜ KA Leuben bei Trockenwettereinstant



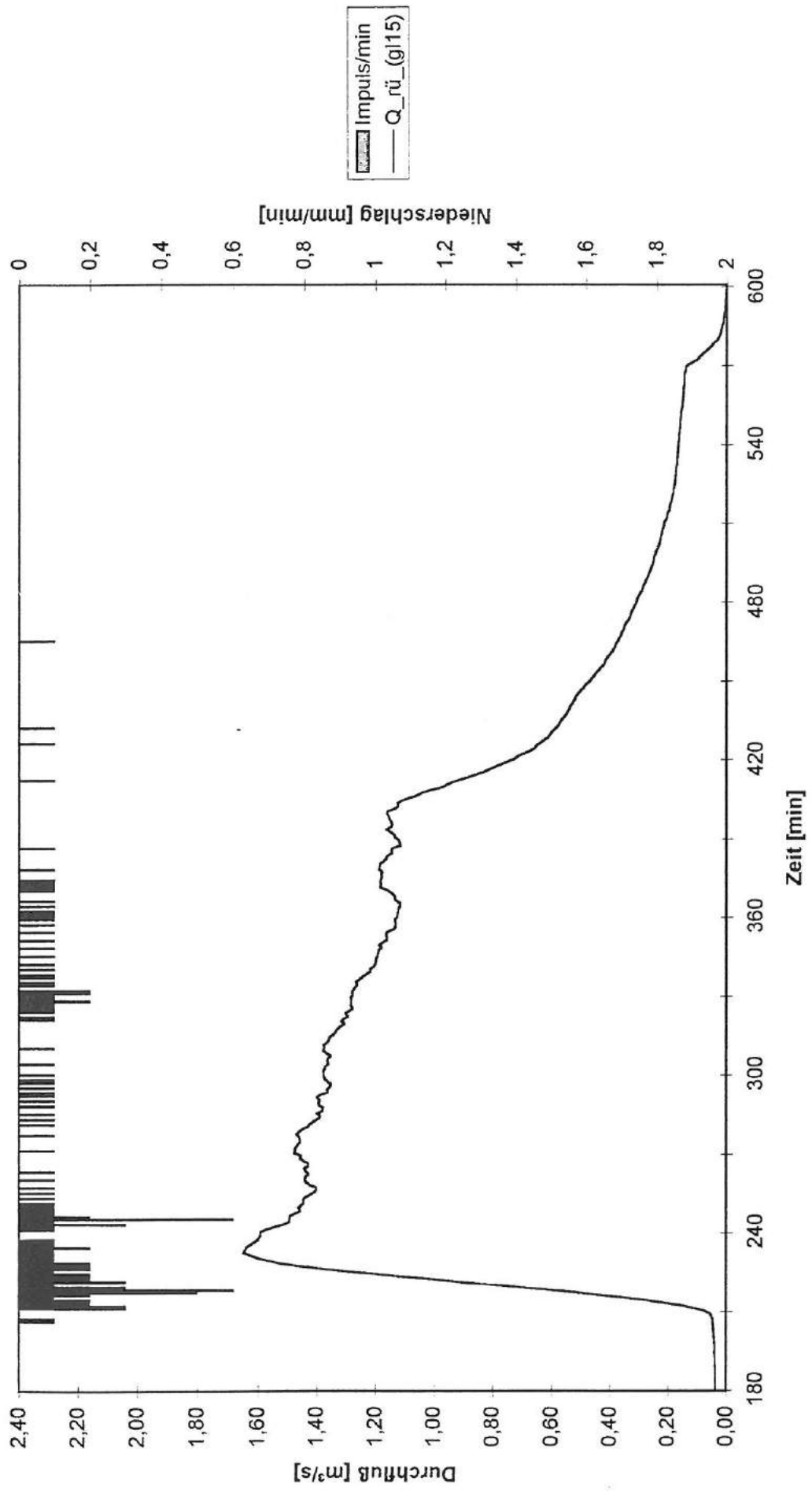


Bild 62: Niederschlag-Abflußgeschehen Dresden Leuben 16.08.1995 hn = 13,1 mm

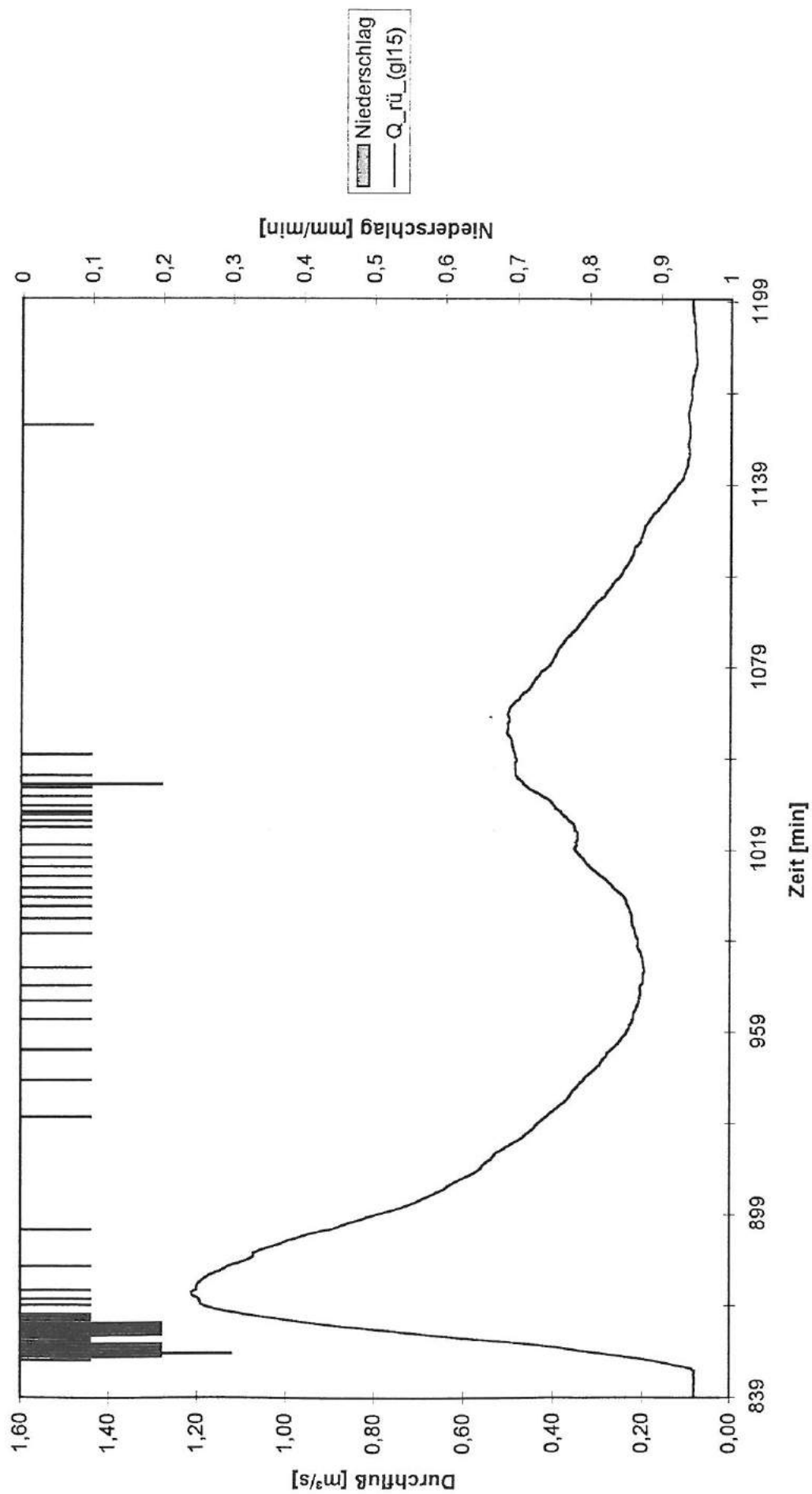


Bild 63: Niederschlag-Abflußgeschehen Dresden-Leuben 14.08.1995 hn = 6,3 mm

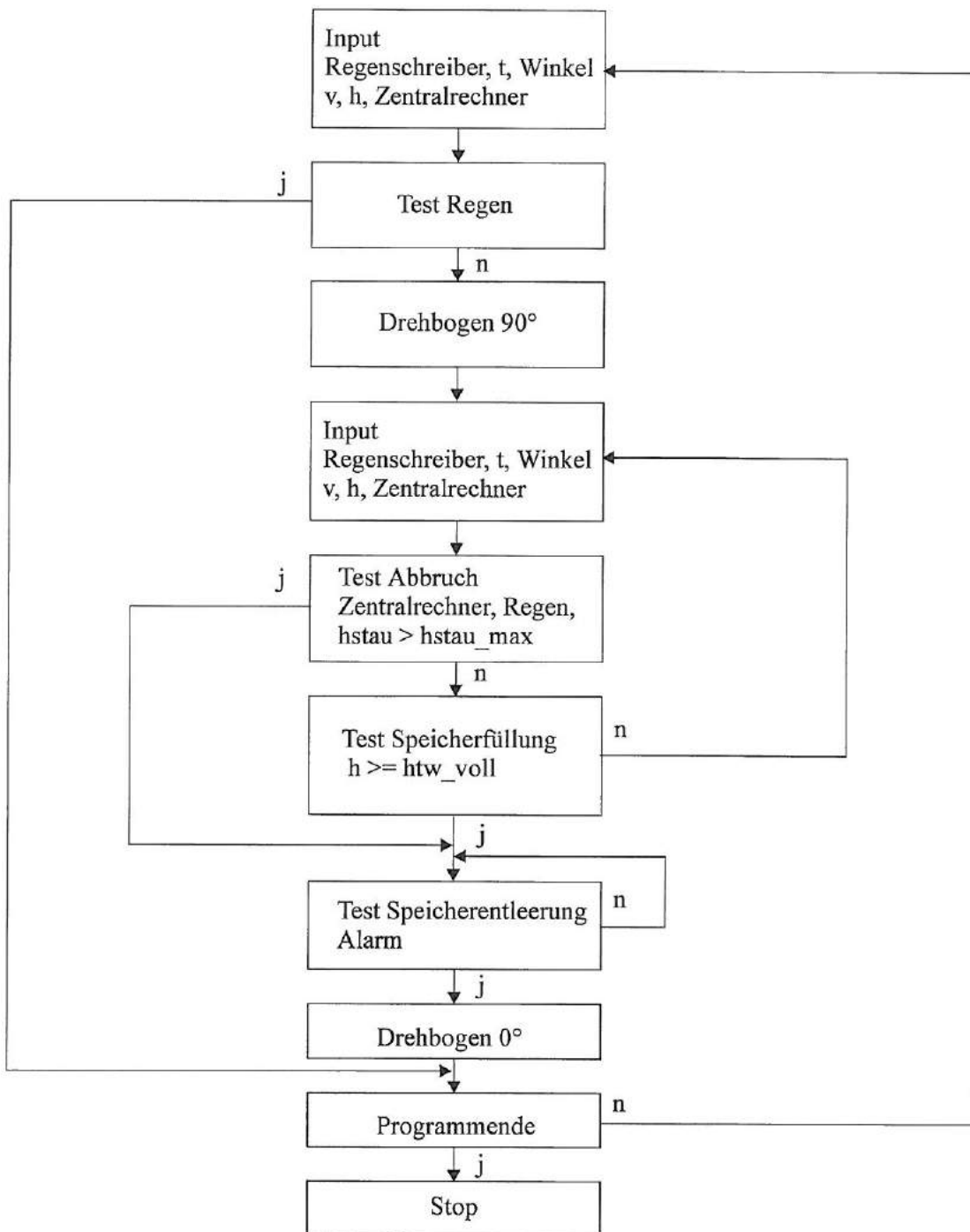


Bild 64: Einsatz des Drehbogens zur Kanalnetzspülung

Mögliche Bewirtschaftungsformen für das Einzugsgebiet Dresden-Leuben:

- Bewirtschaftung unter Einhaltung eines vorgegebenen Sollabflusses (const. oder variabel)(Bild 65)
- voller Rückhalt des im Oberwasser auftretenden Niederschlagsabflusses bis das Speichervolumen gefüllt ist und anschließende Ableitung in das Unterwasser evtl. mit auftretender Entlastung in die Vorfluter (Bild 66)
- Nach der Ableitung der Belastungsspitze (über Mengenummessung) in das Unterwasser wird das weniger verschmutzte Abwasser im Stauraum gespeichert und durch die Erhöhung der Rückstauenebene gezielt entlastet (Bild 67)
- Bewirtschaftung nach der Abwasserqualität durch Online-Messung (Bild 67)
- Rückhalt des aus dem Oberwasser kommenden Trockenwetterabflusses zur Entlastung benachbarter Einzugsgebiete (Bild 68)

*Absperrung des Abflusses zum Unterwasser:*

Diese Aufgabe kann nur eingeschränkt erfüllt werden, da der Drehbogen kein Verschlussorgan ist. Die Zeitdauer für den abflußlosen Rückhalt ist demnach eine Funktion der Überhöhung des Drehbogens und dem dadurch nutzbaren Speichervolumen sowie des Trockenwetterzuflusses aus dem Einzugsgebiet. Besteht eine Vermaschung des Kanalnetzes, kann der Abfluß evtl. umgeleitet werden, so daß die Dauer der Absperrung unabhängig von dem vorhandenen Abfluß wird.

*Nutzung des Drehbogens zum Betrieb des Stauwagens im Abfangsammler:*

Hierzu sind bisher noch keine Untersuchungen durchgeführt worden, es ist aber denkbar, daß die durch eine Spülung erzeugte Schwallwelle für den Antrieb des Stauwagens genutzt werden kann und somit eine schnellere Reinigung des Abfangsammlers erfolgt. Dazu müssen die zulässigen Absenkkennlinien des Drehbogens und die damit verbunden maximalen Schwallwellen (Form, Geschwindigkeit) bestimmt werden. Des weiteren muß die Anlaufzeit des Stauwagens und das Intervall für seine Unterstützung durch Schwallwellen ermittelt werden. Die Reichweite der Unterstützung durch eine Schwallwelle muß ebenfalls erst aufgenommen werden.

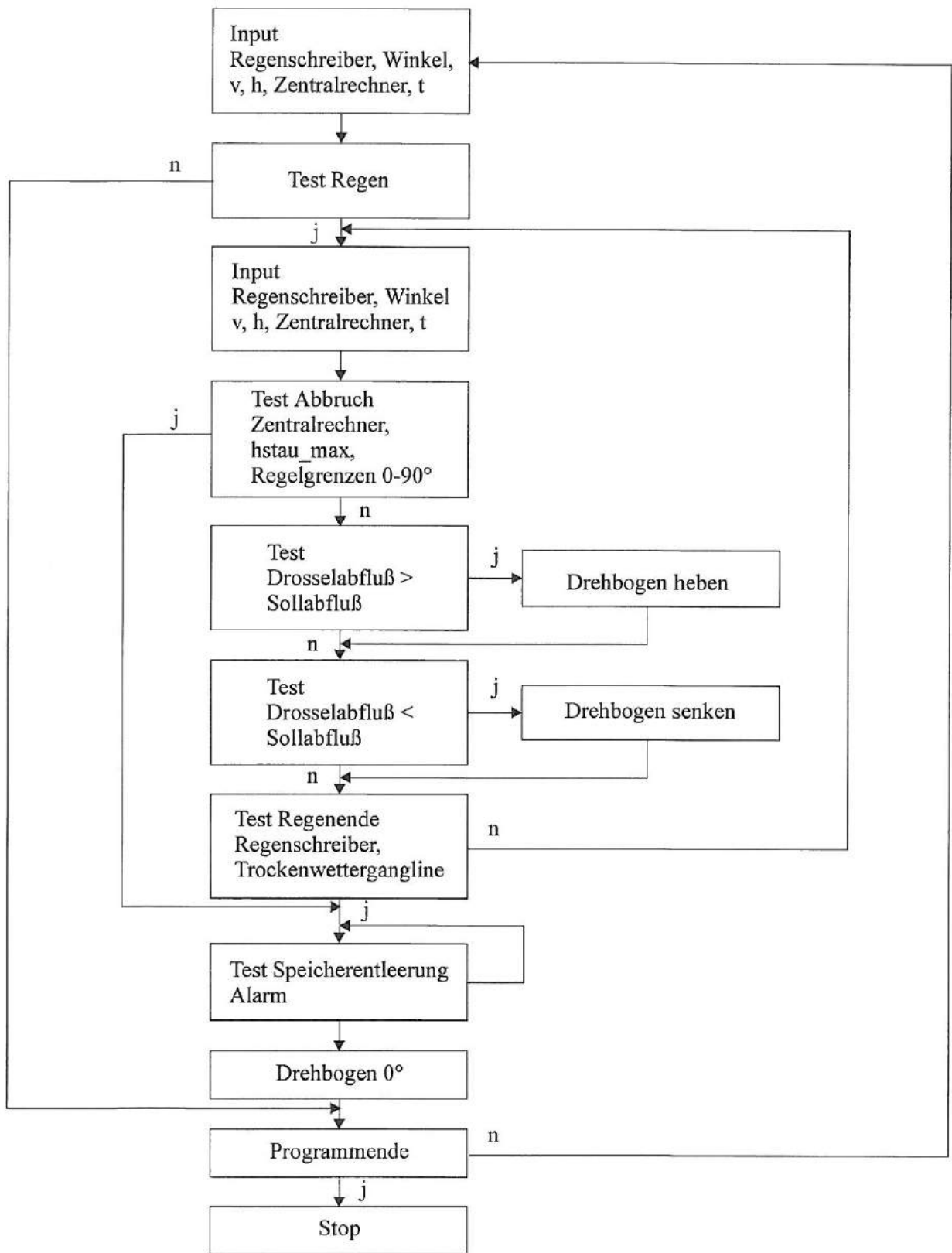


Bild 65: Bewirtschaftung von Drosselabflüssen (const. oder variabel)

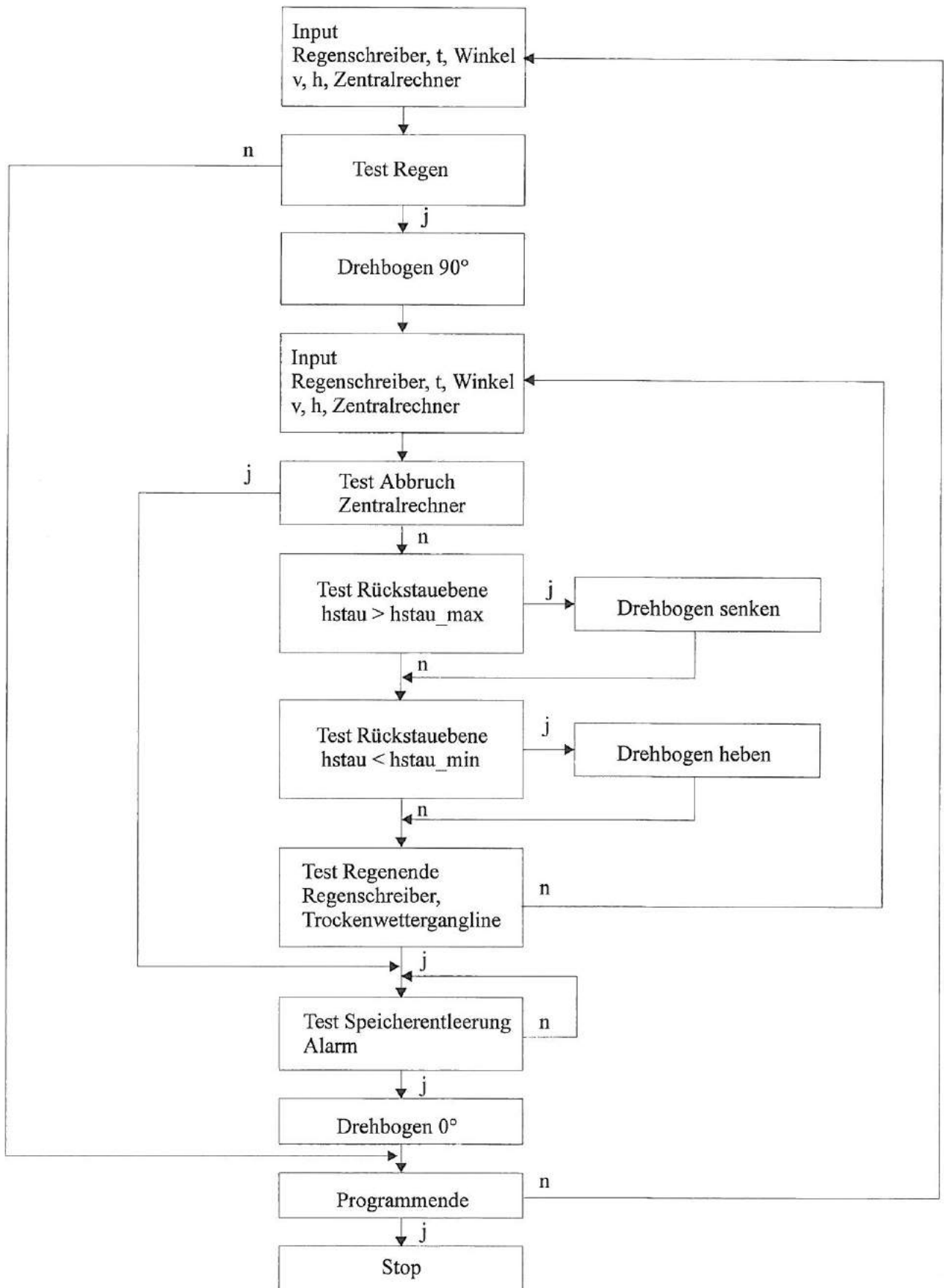


Bild 66: maximale Speicherung des Mischwasserabflusses

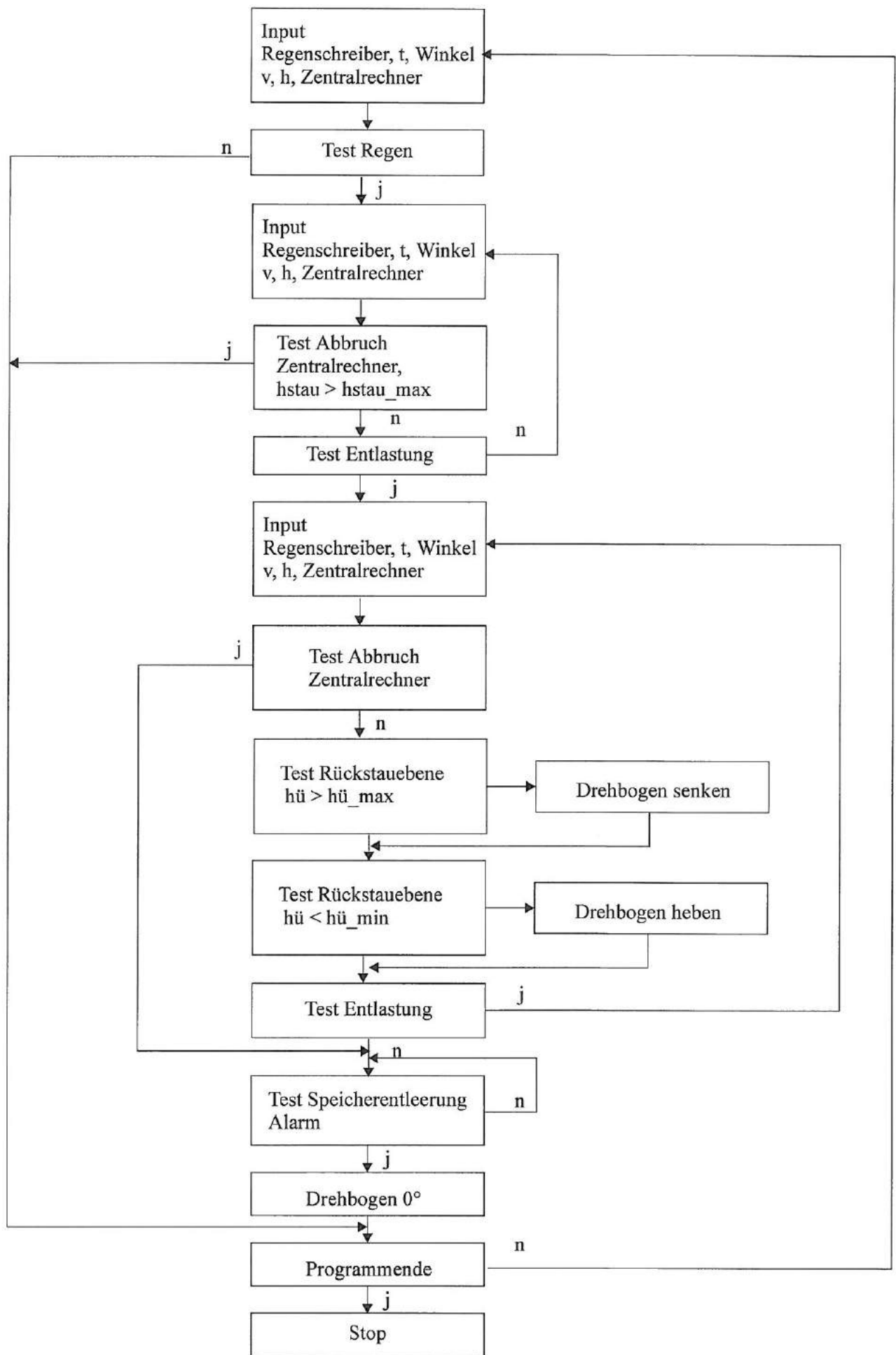


Bild 67: Bewirtschaftung von Mischwasserabflüssen nach Ganglinienauswertung

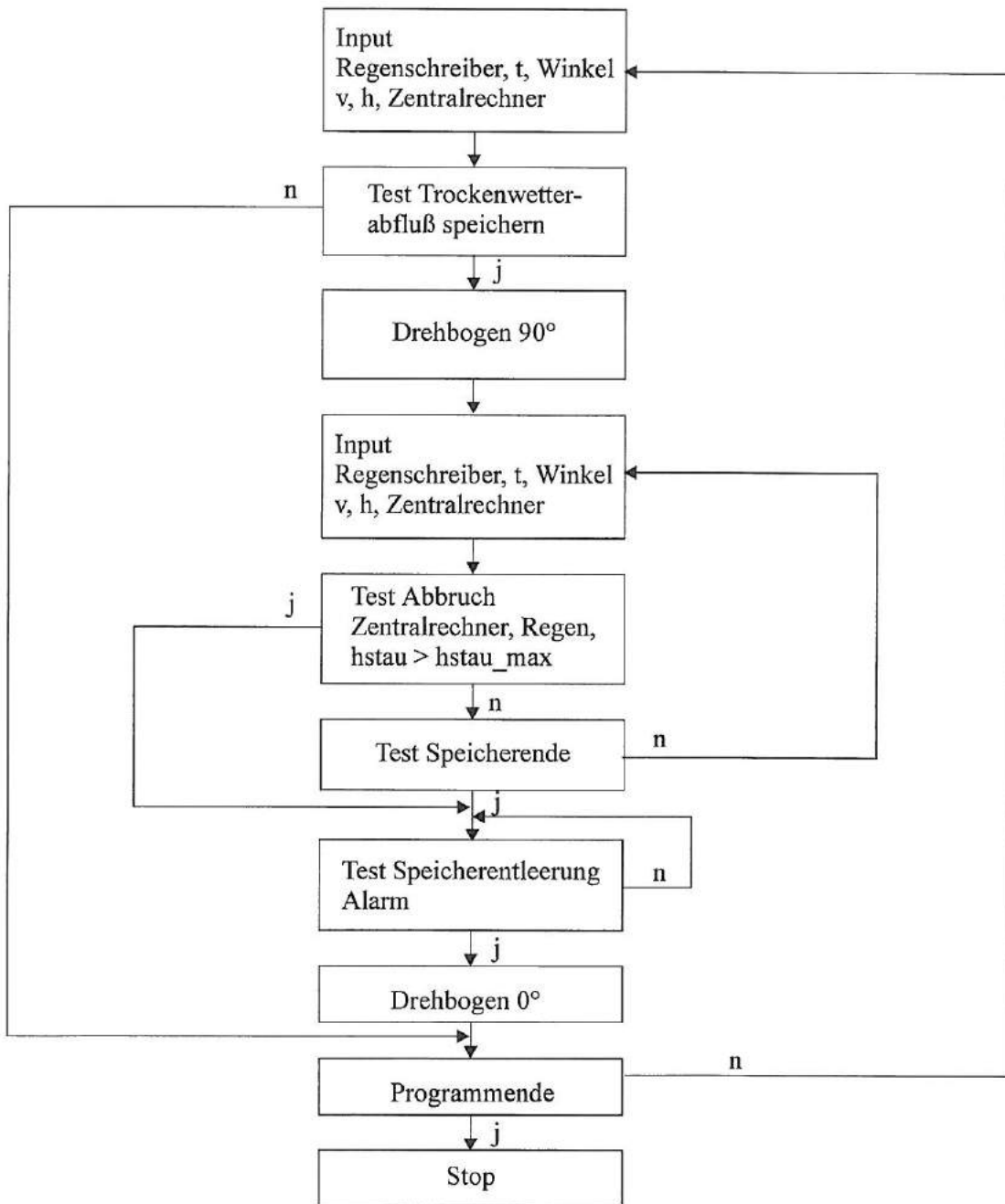


Bild 68: Speicherung des Trockenwetterabflusses bei Regen in Nachbareinzugsgebieten



## **12.8. Weiterführende Aufgaben für die Steuerung mit dem Drehbogen in Dresden Leuben**

Zunächst kann das Steuerungsziel Spülung (Intensiv- und Intervallspülung) als lokale Steuerungsmaßnahme verwirklicht werden. Seitens der DWA Dresden GmbH sind Schmutzfrachtberechnungen für die Stadt in Auftrag gegeben. Sobald die Restriktionen hinsichtlich der Regenwasserbewirtschaftung definiert werden können, sollte die Regenwasserbewirtschaftung in Dresden-Leuben verwirklicht werden.

Zur Aktualisierung und qualitativen Verbesserung der Datenbasis des Einzugsgebietes sind die Meßdaten aus dem Einzugsgebiet Dresden-Leuben weiterhin auszuwerten. Fehlende Ganglinien insbesondere für die Bewirtschaftung des Mischwasserabflusses müssen neu erstellt werden.

Langfristig muß die lokale Steuerung des Entwässerungssystems in Dresden-Leuben in eine Verbundsteuerung der Stadt Dresden integriert werden.

## **13. Beurteilung der Zuverlässigkeit des Drehbogens nach 1,5 - jährigem Versuchsbetrieb**

Im Rahmen des Versuchsbetriebes wurden alle technischen Anlagenteile des Drehbogens hinsichtlich ihrer Betriebssicherheit überprüft.

Alle Anlagenteile haben nach einjährigem Betrieb ohne Störungen oder Schäden gearbeitet.

Die Dichtheit der Flanschverbindungen des Drehbogens mit den Torsionskompensatoren und die Flanschverbindungen der Torsionskompensatoren mit den Anschlußflanschen im Zu- und Ablauf wurde nachgewiesen (Druckprobe 2 bar).

Im gesamten Betriebszeitraum haben sich die Torsionskompensatoren als elastisches Verbindungsteil zwischen Drehbogen und Kanalzulauf und -ablauf sehr gut bewährt. Visuell gibt es keinerlei Anzeichen von Elastizitätsverlusten oder

Materialproblemen. Die Torsionskompensatoren wurden bei jedem Drehbogenhub oder Absenken des Drehbogens maximal um  $45^\circ$  plus und  $45^\circ$  minus auf Torsion beansprucht. An der Innenwandung der Torsionskompensatoren gibt es keine Beschädigung (Bild 69).



Bild 69: Innenwand des Torsionskompensators

Der Antrieb des Drehbogens erfolgt über einen Elektromotor mit Drehzahluntersetzung über ein Getriebe. Im Betriebszeitraum sind keinerlei Störungen oder Unzulänglichkeiten aufgetreten.

Die Steuerung des Drehbogens erfolgt zur Zeit manuell über ein Steuerpult. Der Drehbogen kann nach Vorwahl automatisch auf jeden Anstellwinkel zwischen  $0^\circ$  und  $90^\circ$  angehoben oder abgesenkt werden. Für Notbetrieb ist eine Handsteuerung vorhanden. Als Mangel zeigte sich, daß bei mehrmaliger Betätigung des Drehbogens eine Verstellung des Anstellwinkels im Steuerprogramm auftrat. Durch den Einsatz eines doppelt abgeschirmten Kabels konnte die Verstellung des Anstellwinkels ausgeschlossen werden.

## 14. Zusammenfassung und Ausblick

- Der Drehbogens ist zur Stauraumbewirtschaftung eines Kanalnetzes geeignet. Erste Bewirtschaftungsziele wurden an der Pilotanlage in Dresden-Leuben umgesetzt. Abflußlos lassen sich an dem untersuchten Standort ca. 720 m<sup>3</sup> Stauraum aktivieren. Durch eine Steigerung der Sollabflüsse können bei  $Q_d = Q_t$  ca. 1000 - 1200 m<sup>3</sup> und bei  $2 Q_s + Q_f$  ca. 1500 m<sup>3</sup> aktiviert werden. Eine vollständige Aktivierung des für eine Regenwasserbehandlung erforderlichen Volumens des Einzugsgebietes ist allerdings nicht möglich, dazu ist ein zu großes Gefälle vorhanden. Die Prämissen für den gewählten Standort lagen insbesondere bei den unter Punkt 3. beschriebenen Kriterien. Das erzielbare Stauvolumen ist eine Funktion des Kanalnetzes (Gefälle, Nennweite, Regenüberläufe, Rückstauerebenen) und der Überhöhung des Drehbogens. Der Einbauort muß nach den Steuerungszielen (Drehbogen ist kein Verschlußorgan) und nach den Anforderungen des Drehbogens (großes Bauwerk) sorgfältig ausgewählt werden. Eine Regelung des Abflusses in das Unterwasser erfolgt mit Hilfe der Überfallfunktion (vollkommener Überfall) bzw. durch eine Messung des im Unterwasser eingestellten Abflusses.
- Neben der Stauraumaktivierung wurde die Eignung des Drehbogens zur Reinigung einer an den Drehbogen im Unterwasser anschließenden Kanalstrecke nachgewiesen. Über die endgültige Reichweite der Spülwirkung kann noch keine Aussage getroffen werden, da die Remobilisierungsprozesse infolge des kurzzeitigen Schubspannungsmaximums langwierige Prozesse darstellen. Die bisher durch die Spülung erzielten Ergebnisse zeigen, daß der Drehbogen auf einer begrenzten Kanalstrecke zur Grundreinigung eingesetzt werden kann. Bisher wurde die erste Kanalstrecke (62 m) nach dem Drehbogen vollständig von den Ablagerungen befreit. In den beiden nächsten Kanalstrecken (282,5 m) wurde das anfangs geschlossene Ablagerungsprofil so stark erodiert, daß nur noch Ablagerungsinseln vorhanden sind. Im Oberwasser des Drehbogens wurden keine Ablagerungen infolge Stauraumbewirtschaftung beobachtet.

- Im Einzugsgebiet Dresden Leuben können bei Regenwetter beachtliche Schmutzfrachten im Kanalabfluß entstehen. Bei den beprobten Mischwasserabflüssen wurde eine Frachtspitze am Beginn der Ereignisse nachgewiesen. Diese hohe Belastung muß durch Bewirtschaftungsmaßnahmen im Kanalnetz zwischengespeichert und zeitlich verzögert der Kläranlage zugeleitet werden.
- Für den Standort Dresden Leuben wurde nachgewiesen, daß durch die Bewirtschaftung des Kanalnetzes unter den derzeitigen Bedingungen keine Schwefelwasserstoffgefährdung besteht.
- Die maschinentechnische Ausstattung des Drehbogens wies in dem einjährigen Versuchsbetrieb keine Mängel auf.
- Während der Versuchsdauer stellte der Drehbogen sein gutes Betriebsverhalten unter Beweis. Anhaftungen, wie sie bei querschnittsverengenden Steuerorganen auftreten, waren nicht zu beobachten.
- Die Torsionskompensatoren gewährleisteten die Verbindung vom starren Kanal zum beweglichen Drehbogen. Im betrachteten Zeitraum gab es keine Probleme mit Ermüdung, Verschleiß und Undichtigkeit. Über das Langzeitverhalten können keine Aussagen getroffen werden.
- Die Anlagenkonfiguration des Drehbogens (außerhalb des Naßbereiches liegende Anlagenteile) trägt wirkungsvoll zur Humanisierung der Arbeit in der Kanalisation bei.

## 15. Literatur

- [1] ATV- Arbeitsgruppe 1.2.4.  
Leitfaden Abflußsteuerung (Planung, Entwurf und Betrieb)  
GFA, 1991, St. Augustin
- [2] ATV  
A110 - Richtlinien für die hydraulische Dimensionierung und den Leistungsnachweis  
von Abwasserkanälen und -leitungen
- [3] ATV  
A 128 - Richtlinien für die Bemessung und Gestaltung von Regen-  
entlastungsanlagen in Mischwasserkanälen
- [4] DFG  
Steuerung in der Wasserwirtschaft  
VCH, 1992, Weinheim
- [5] Dohmann, M., Weyand, M.  
Analyse und Klassifizierung lokaler Steuereinrichtungen in Kanalisationen  
Institut für Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen  
Schriftenreihe Gewässerschutz-Wasser-Abwasser Bd. 117, Aachen 1990
- [6] Duddridge, J.; Kent, C.; Laws, J.  
Effect of surface shear stress on the attachment of pseudomonas fluorescens to  
stainless steel under defined flow conditions  
Biotechnology and Bioengineering, Bd. 24 1982

- [7] Gutekunst, Brigitte  
Sielhautuntersuchungen zur Einkreisung schwermetallhaltiger Einleitungen  
Institut für Siedlungswasserwirtschaft Universität Karlsruhe  
Band 49 ; Karlsruhe 1988
- [8] Hosoi, Y.; Murakami, H.  
Effect of the fluid velocity on the biofilm development  
Water Forum 1986
- [9] Harboe, R.  
Optimaler Betrieb wasserwirtschaftlicher Verbundsysteme mit Speichern und  
anderen Anlagen, Schriftenreihe Hydrologie/ Wasserwirtschaft, Ruhr Universität  
Bochum, Nr. 5, 1985
- [10] Lehr- und Handbuch Abwassertechnik Bd.III  
2.Auflage Verlag von Wilhelm Ernst u. Sohn, Berlin
- [11] Lohse  
Schwefelverbindungen in Abwasserleitungen unter besonderer Berücksichtigung  
der biogenen Schwefelsäurekorrosion; Veröffentlichungen des Institutes für  
Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik der Universität Hannover, Heft 71,  
1986
- [12] Macke, E.  
Mitteilungen aus dem Leichtwissenschaftlichen Institut der TU Braunschweig;  
Heft 69 / 1980; Braunschweig
- [13] Preißler, Bollrich  
Technische Hydromechanik /1, 2., bearbeitete Auflage, VEB Verlag für Bauwesen  
Berlin 1985

- [14] Reiff, Helmut  
Wachstum und Abtrag der Sielhaut in Mischwasserkanälen;"Wasser-Abwasser-  
Abfall"-Schriftenreihe des Fachgebietes Siedlungswasserwirtschaft Universität-  
Gesamthochschule Kassel, Heft 9; Herausgeber: Peter Wolf, Kassel 1992
- [15] E. Ristenpart  
Feststoffe in der Mischkanalisation Vorkommen, Bewegung und Verschmutzungs-  
potential; Stadtentwässerung und Gewässerschutz Bd.11;  
Hrsg.: Prof. Dr.-Ing. F. Sieker
- [16] W. Schilling  
Operationelle Stadtentwässerung  
Konzeptionen zur Abflußsteuerung und Speicherbewirtschaftung in Entwässerungs-  
systemen, R. Oldenbourg Verlag München Wien 1990
- [17] Schmitt, Ferdinand  
Einfluß von Ablagerungen auf den Betrieb von Abwasserkanälen  
Veröffentlichungen des Institutes für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik  
Hannover; Heft 82,Hannover 1992
- [18] Siebert  
Technische Beschreibung des Drehbogens, interne Informationen des Kupczik  
Ingenieurbüros Hamburg
- [19] Thistlethwayte, D.K.B.  
Sulfide in Abwasserleitungen - Ursachen, Auswirkungen, Gegenmaßnahmen  
Sydney 1972  
Beton- Verlag GmbH 1979
- [20] Weyand, Michael  
Kanalnetzbewirtschaftung - ein Mittel zur Optimierung der Abwasserentsorgung  
Schriftenreihe Gewässerschutz - Wasser - Abwasser - Heft 132, Aachen 1992