



Information

Nr. 3

**Abflusssteuerung von Abwasserkanälen
und -leitungen durch Drehbogentechnik**

Modellversuche und Betriebsergebnisse

**2. Auflage
Januar 2000**

Arbeitskreis Nr. 6
Grabenloses Bauen
Kanalisation, betriebstechnische Auswirkungen

NO DIG – warum Gräben aufreißen, wenn es bessere Lösungen gibt!

Abflusssteuerung von Abwasserkanälen und -leitungen durch Drehbogentechnik

Modellversuche und Betriebsergebnisse

Januar 2000

INHALT

1	Allgemeines	3
2	Betriebszustände von Abwasserkanälen und –leitungen	4
3	Energienutzung akkumulierter Abwassermassen	4
4	Die Drehbogentechnik	5
5	Modelluntersuchungen	6
6	Einsatz des Drehbogens im Abwasserkanalnetz in Dresden	8
7	Ergebnisse der durchgeföhrten Untersuchungen	10
7.1	Stauraumbewirtschaftung	10
7.2	Stauspülung	10
7.3	Biogene Vorgänge	11
7.4	Betriebssicherheit	11
	Wirtschaftlichkeitsbetrachtung, am Beispiel der Drehbogenanlage in Dresden- Leuben	13
	Mitglieder im GSTT-Arbeitskreis 6	15

1 Allgemeines

Aus den seit Jahren durchgeführten Untersuchungen und Beobachtungen betriebs-technischer Abläufe von Abwasserkanalisationen ist deutlich geworden, dass aus humaner, hygienischer, ökologischer und ökonomischer Sicht die derzeitige Betriebspraxis überarbeitet und den gewonnenen Erkenntnissen angepasst werden muss.

Der GSTT-Arbeitskreis 6 befasst sich mit Fragen betrieblicher Belange der Abwasserableitung.

Das Abflussverhalten in Mischwasserkanälen wurde dabei im Zusammenwirken einer völlig neu entwickelten Steuertechnik im umfangreichen Laborversuchen wissenschaftlich sowie im Betrieb praxisorientiert untersucht.

Unterstützt haben dieses Vorhaben die Deutsche Bundesstiftung Umwelt, Osnabrück und die Landeshauptstadt Dresden. Die wissenschaftlichen Aufgaben wurden von der TU-Dresden gemeinsam mit dem Ideenträger und Konstrukteur, Dipl.-Ing. G. Kupczik, Hamburg, durchgeführt.

Die Arbeiten zu diesem umfangreichen Thema begannen 1989 und werden im Herbst 1995 abgeschlossen sein.

Mit der Drehbogentechnik ausgerüstete Abwassernetze haben unter anderem folgende Vorteile:

- intermittierender Ableitbetrieb (Freispiegelleitung/Druckleitung)
- Nutzung des aufgestauten Abwassers zur Kanalreinigung durch Schwallspülung (keine punktuelle Belastung der Kanalwandung durch Hochdruckspülung)
- Optimale Stauraumnutzung
- Überstausicherung
- Betriebszuverlässigkeit
- Verhinderung der biogenen Korrosion
- Humanisierung der Betriebs- und Wartungsarbeiten
- Verbesserung des Gewässerschutzes unter Beibehaltung des Entwässerungskomforts bei Eingrenzung des juristischen Entscheidungsrahmens

Bei einer Ganzheitsbetrachtung wird deutlich, dass bei Abwasserkanälen und -leitungen, die in grabenloser Bauweise erstellt wurden, außerdem folgende Vorteile zugunsten der Drehbogentechnik erreicht werden:

- Nutzung der Pressbaugrube auch als Drehbogenkammer
- größere, preislich fast unabhängige Bautiefen und damit größere Überstauhöhen.

2 Betriebszustände von Abwasserkanälen und -leitungen

Die Betriebszustände in Abwasserkanälen werden durch außerordentlich diskontinuierlichem Eintrag geprägt, der die Betriebsabfolgen unberechenbar macht. Da dies auch für die Staukapazität zutrifft, bleibt dem Planer nur der Weg, Kapazitäten vorzusehen, die in der Lage sind, auch größere Eintragsmengen aufzunehmen.

Folglich wird das Aufnahmevermögen so groß ausgelegt, dass bei Trockenwetterabfluss oder Normalregenereignissen allgemein nur eine Teilfüllung erreicht wird. Die dadurch eintretende verringerte Fließgeschwindigkeit erhöht den Sedimentationsprozess und vermindert damit die Staukapazität. Kommt es darüber hinaus zur Bildung von Ablagerungsbänken an beliebiger Stelle, wird der Sedimentationsprozess im oberstromigen Kanal intensiviert.

Die Bildung von Ablagerungen ist im allgemeinen unvermeidbar. Wenn über einen längeren Zeitraum ein Verfestigungsprozess eintritt, können auch gelegentlich auftretende hohe Niederschlagsereignisse die Ablagerungen nicht gänzlich lösen und austragen. Es kommt im Verlauf längerer Zeitperioden zu einer Art Ablagerungswachstum.

Abwasser ist eine äußerst heterogene Substanz. Durch die vielfältigen Inhaltsstoffe von der Textilfaser bis hin zum großvolumigen Gegenstand, ist es ein Transportmedium. Untersuchungen ergaben, dass ca. 30 % der Haushaltsabfälle durch die Abwasserkanalisation transportiert werden.

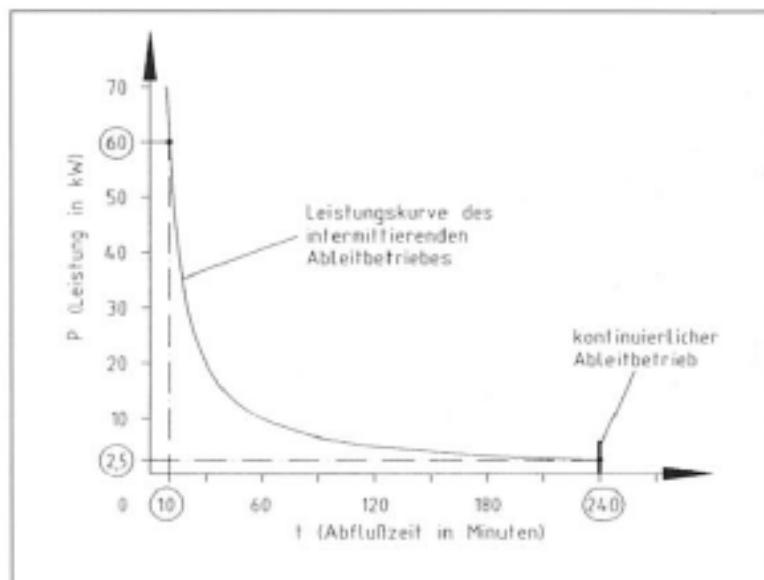
3 Energienutzung akkumulierter Abwassermassen

Energiepotentiale finden sich in Abwassermassen eines Sammlers in ausreichender Menge.

Beispiel:

Bei einer Stauhöhe von $h = 2 \text{ m}$ und der Annahme, dass innerhalb von 4 h eine Abwassermenge von $Q = 2000 \text{ m}^3$ akkumuliert wird, ergibt sich ein Energiepotential von $W = 10 \text{ kWh}$. Lässt man diese Energie bei dem intermittierenden Ableitbetrieb in einem Zeitraum von $t = 10 \text{ min}$ wirken, so ergibt sich eine hydraulische Leistung von 60 kW , die somit den ca. 24fachen Wert des bisher praktizierten kontinuierlichen Abwasserableitbetriebes von $2,5 \text{ kW}$ erreicht (Bild 1).

Voraussetzung zur Nutzung dieses hydraulischen Potentials sind geeignete Steuerorgane, deren Funktion nicht auf Drosselsteuerung (z. B. Schieber) basieren darf.

*Bild 1*

Leistungsverteilung bei unterschiedlichen Betriebsabläufen im Abwasserkanal

4 Die Drehbogentechnik

Die Entwicklungsgrundlage der Drehbogensteuertechnik ist, den verfügbaren Stauraum zu aktivieren und unter Einbeziehung des Energiepotentials akkumulierter Abwassermassen gesteuerte Spüleffekte zu erzielen.

Dafür wird in den Abwasserkanal ein bogenförmiger Kanalabschnitt installiert, der um die Mittelachse jeweils um 90° verschwenkt werden kann. Im aufgerichteten Zustand bewirkt der Bogen eine Stauschwelle, deren Höhe stufenlos bis zum konstruktiv vorgegebenen Maß einstellbar ist und auf diese Weise den obenstromigen Kanal staut. Die mögliche Bogenhöhe ist begrenzt durch die maximal zulässige Stauhöhe.

Ein unzulässiger Überstau tritt nicht ein, weil der Abflussquerschnitt in jeder Winkelstellung des Drehbogens erhalten bleibt (Bild 2).

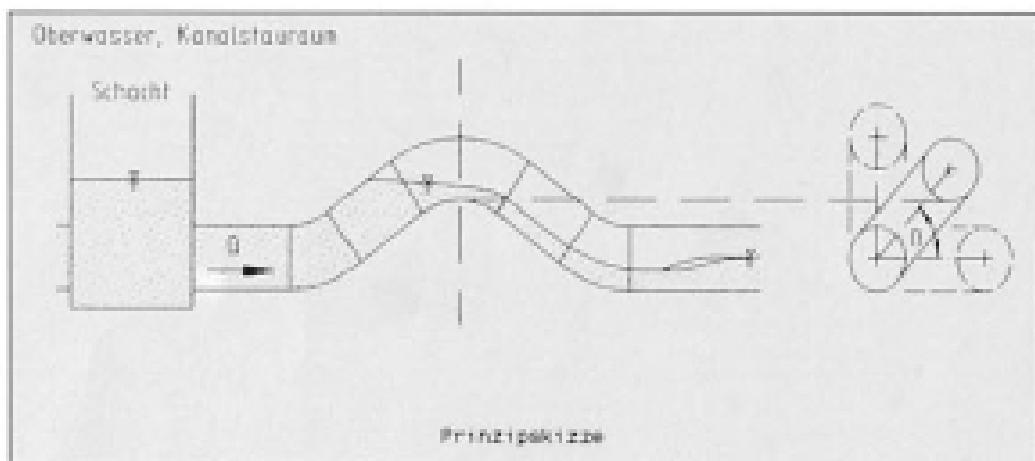


Bild 2: Prinzipskizze des Drehbogens

Die konstruktive Besonderheit des Drehbogens liegt darin, dass sämtliche Antriebs-elemente außerhalb des Abwasserflusses angeordnet sind. Der einfache Aufbau der Drehbogenanlage macht das System wartungsfrei, überschaubar und zuverlässig. Die Voraussetzungen für einen störungsfreien Automatisationsbetrieb sind gegeben.

5 Modelluntersuchungen

Im Rahmen der ersten Phase der Praxiserprobung wurden die hydraulischen Modelluntersuchungen des Drehbogens im Hubert-Engels-Laboratorium am Institut für Wasserbau und Technische Hydromechanik der Technischen Universität Dresden im Zeitraum von Juni 1992 bis Mai 1993 durchgeführt.

Der Versuchsstand war für den Betrieb mit Reinwasser konzipiert worden, da vorerst die hydraulischen drehbogentypischen Strömungssituationen wissenschaftlich aufgearbeitet werden mussten.

Es wurde ein 30 m langes, aus Acrylglas gefertigtes Modell einer Abwasserleitung (DN 200, Kreisprofil) errichtet, wobei ein Sohlgefälle von 1% gewählt wurde.

Der Drehbogen der Modellanlage (Bild 3) besteht aus 45°- und einem 90°-Krümmer, wobei $r_k/d = 1,5$ beträgt. Zwischen den Krümmern sind gerade Rohrstücke anordnet, wodurch eine Überhöhung $\tilde{U} = 380$ mm erzielt wird. Die Verbindung des Drehbogens mit der festen Leitung erfolgt über zwei Stopfbuchsen, die keine Kräfte übertragen.

Der Drehbogen wird über ein Schneckengetriebe durch einen Gleichstrommotor mit einer wählbaren Geschwindigkeit angetrieben.

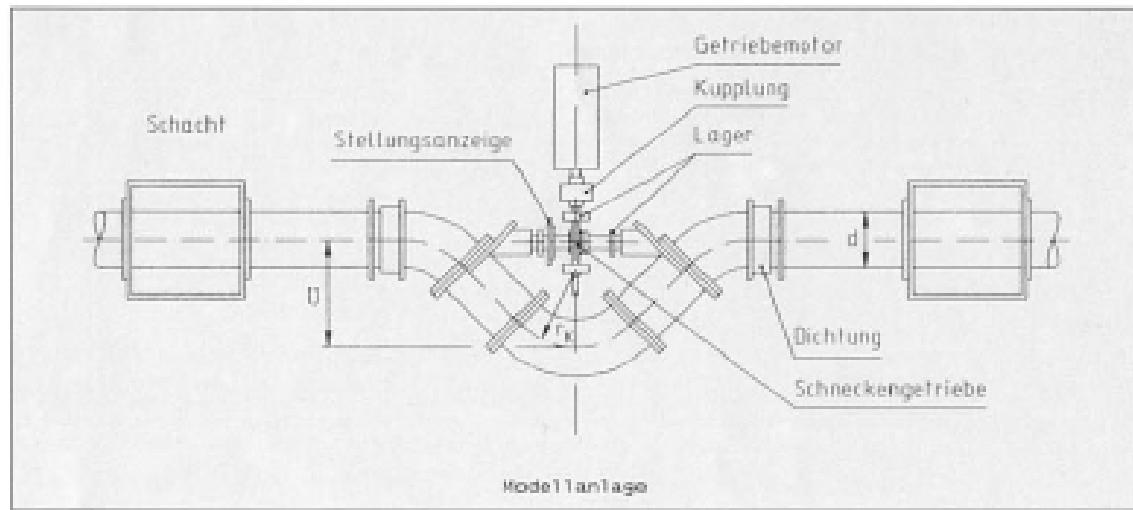


Bild 3: Modellanlage

Unmittelbar vor und nach dem Drehbogen sowie am Anfang und am Ende des Versuchsstandes wurden Schächte angeordnet. Die Wasserversorgung der Modellanlage erfolgte direkt mit einer drehzahlgeregelten Pumpe (Umlaufwassermenge $Q_{\max} = 200 \text{ m}^3/\text{h}$).

Die Untersuchungen wurden im Einzelnen

- zum lokalen Verlustbeiwert des Drehbogens in horizontaler Stellung
- zur Überfallströmung im angehobenen Drehbogen
- zur Wirkung des Drehbogens als Heberleitung und deren Vermeidung
- zur Energieumwandlung in der Strömung nach dem Drehbogen und
- zu instationären Strömungsprozessen, insbesondere bei schnellem Absenken des Bogens zwecks Schwallspülung durchgeführt.

Bei den Versuchen trat hinter dem Drehbogen eine interessante Strömungsform, die Spiralströmung, auf. Für die Überfallströmung in einem Rohrkrümmer wurden erstmalig experimentelle Ergebnisse erzielt, die zur Aufstellung einer neuen Überfallformel führten.

Die hydraulischen Erscheinungen im Drehbogen bei stationärem Betrieb sind Bild 4 zu entnehmen.

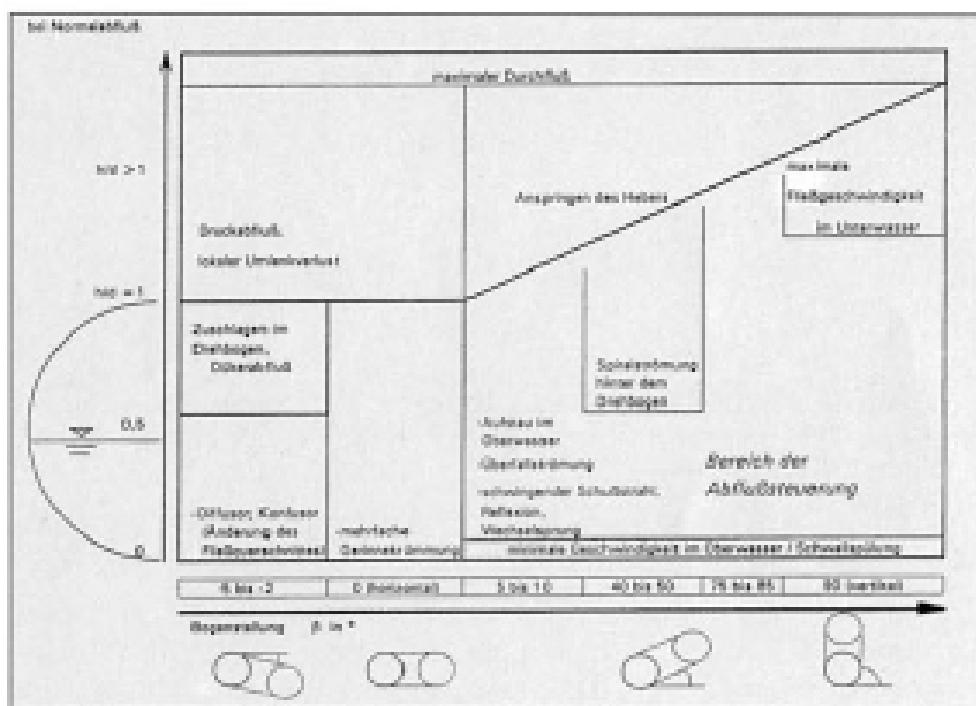


Bild 4: Übersicht der hydraulischen Erscheinungen

In der einjährigen Untersuchungsphase konnte nachgewiesen werden, dass der Drehbogen aufgrund seiner hydraulischen Wirkungsweise als Steuerorgan geeignet ist. Er besitzt gegenüber bekannter Steuertechniken eine Anzahl neuer und für den Einsatz in Abwasser-Ableitsystemen, insbesondere für Freispiegelleitungen positiver Eigenschaften.

Wie das Vergleichsdiagramm der Abflusslinien für Drehbogen und Flachschieber (Bild 5) zeigt, ist bei der Drehbogentechnik die Abflusscharakteristik unabhängig von der Drehbogenstellung (β).

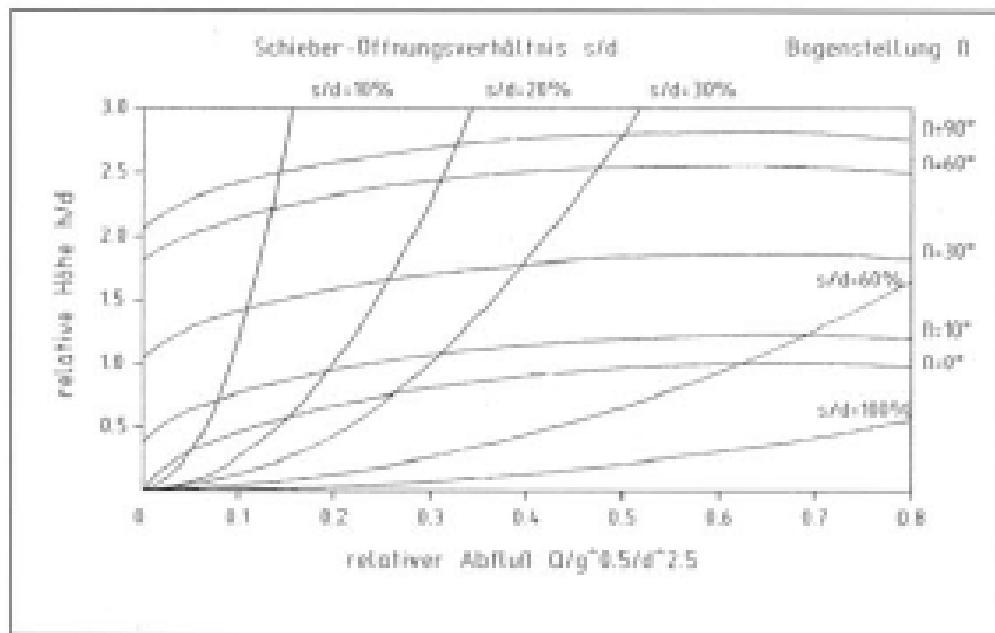


Bild 5: Vergleich der Abflusscharakteristik von Drehbogen und Flachschieber

Das schnelle Absenken des Drehbogens verursacht eine hohe Geschwindigkeit und eine Turbulenz der Strömung, welche in Abwasserleitungen für Reinigungszwecke nach dem Prinzip der Schwallspülung genutzt werden können.

6 Einsatz des Drehbogens im Abwasserkanalnetz in Dresden

Aufgrund der hydraulischen Modelluntersuchungen in das Teileinzugsgebiet des Stadtteiles Leuben im Jahr 1993/94 in einer Bauzeit von sechs Monaten die erste Drehbogenanlage in ein Abwassernetz installiert. Es befindet sich in einem etwa 14 km² großen Siedlungsgebiet und umfasst etwa 450 ha reine Einzugsgebietsfläche. Das vermaschte Abwassernetz hat eine Gesamtlänge von ca. 46 km und eine Gefälle von 1:800 bis 1:1200.

Im Einzugsgebiet befinden sich im wesentlichen parzellierte Gartenanlagen mit Dauerbewohnung in Einzelhäusern und Wohnbebauung mit städtischem Charakter. Weiterhin sind an das Netz Produktionsbetriebe der Lebensmittelindustrie (Margarineefabrik/Molkerei) und weitere kleinere Industriebetriebe angeschlossen.

Das zu entwässernde Teileinzugsgebiet besitzt Haupt- und Nebensammler und mündet in den Dresdener Anfangsammler, der parallel zur Elbe die Abwasserfrachten über ca. 12 km zum Klärwerk Kaditz leitet. Weiterhin hat der betrachtete Teilbereich Überlaufeinrichtungen in einen Zufluss der Elbe, den Lockwitzbach.

Technische Daten der Drehbogenanlage Leuben

Durchmesser	1200 mm
Überhöhung	1800 mm (150 %)
Antriebsleistung	2,5 kW
Kraftübertragung	Ritzelwelle/Quadrant
Stellbereich	0 – 90°, stufenlos regelbar
Stellzeit	2 – 15 min
Dichtung	Torsionskompensatoren
Hauptabmessung der Drehbogenkammer	L B H
	----- ----- -----
	11,4 m 6,0 m 5,5 m

An der in Bild 6 gezeigten Anlage und in dem dazugehörigen Abwassernetz wurden umfangreiche wissenschaftliche und betriebstechnische Untersuchungen über einen Zeitraum von 13 Monaten (1994/95) durch das Institut für Siedlungs- und Industrie- wasserwirtschaft der TU-Dresden durchgeführt.

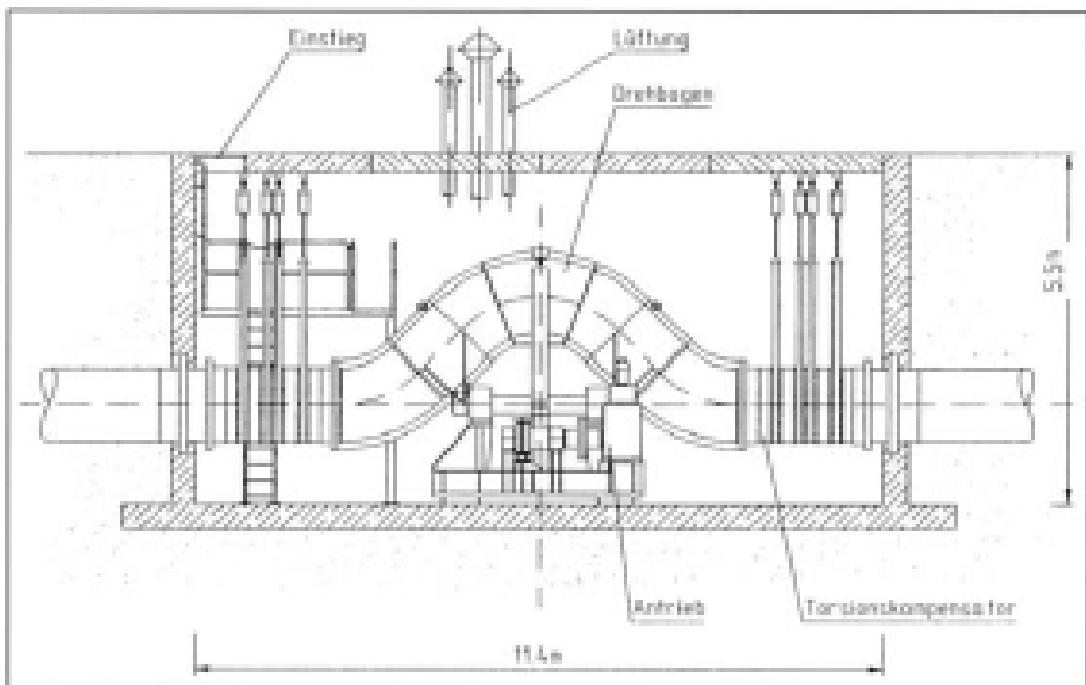


Bild 6: Längsschnitt Drehbogenanlage Leuben

7 Ergebnisse der durchgeführten Untersuchungen

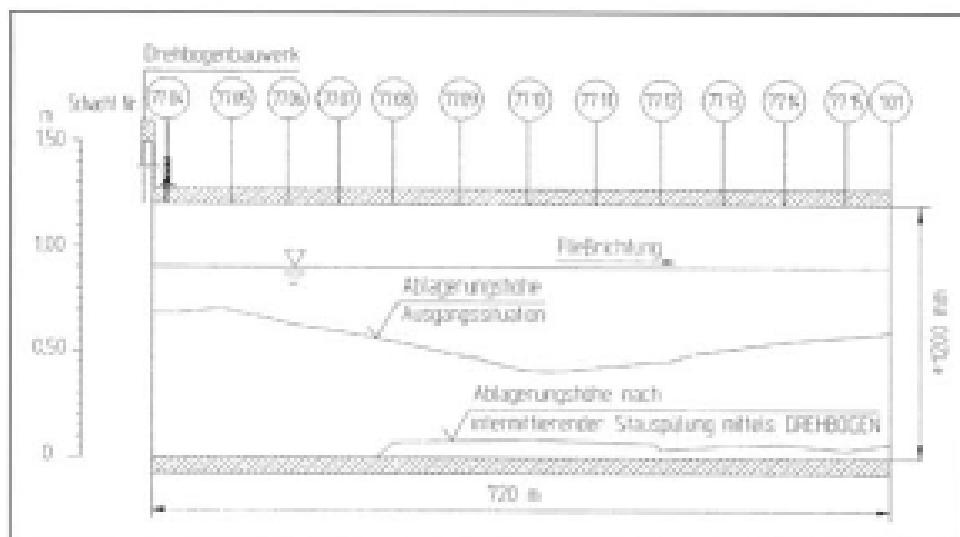
7.1 Stauraumbewirtschaftung

Die ursprüngliche Planung am Standort der Drehbogenanlage in Dresden-Leuben sah ein Rückhaltebecken vor, dessen Kapazität etwa 4000 m³ betragen sollte. Da der Drehbogen aufgrund seiner sicheren Staueigenschaften auch die Überstausicherung übernehmen konnte, wurde auf ein Rückhaltebecken verzichtet. Die angenommenen bzw. berechneten Volumenkapazitäten stimmen mit den praktischen Ergebnissen überein.

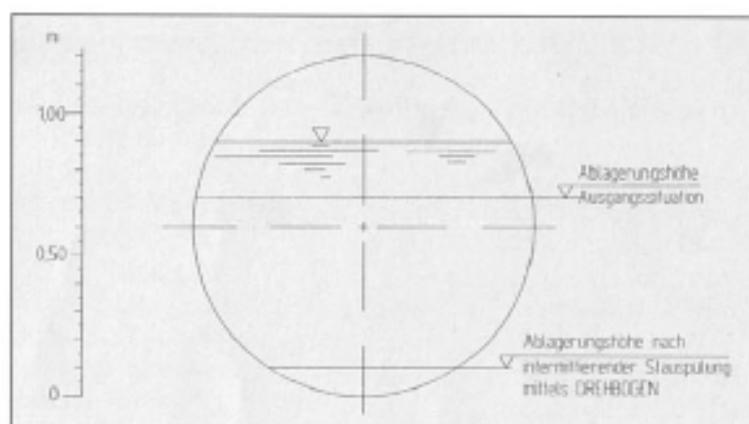
Bei Einsatz der Drehbogentechnik kann auf die Einplanung von Rückhaltebeckenkapazitäten, wenn nicht gänzlich, so doch zumindest auf einen hohen Anteil, verzichtet werden.

7.2 Stauspülung

Der seit April 1994 laufende Betrieb der Drehbogenanlage in Dresden-Leuben ergab folgende Ergebnisse (Bilder 7 und 8).



Bilder 7: Vergleich von Ablagerungshöhen



Bilder 8: Vergleich Querschnittseinengung

Mit dem durch die Drehbogentechnik möglich gewordenen intermittierenden Abflussbetrieb wurde der ursprünglich zu 60 % mit Ablagerungen gefüllte Abwasserkanal DN 1200 weitgehend sohlenfrei gereinigt. Auch die Ablagerungsbänke konnten auf diese Weise abgetragen werden, so dass letztendlich im Laufe eines Zeitraumes von zwei bis fünf Monaten das gesamte Netzvolumen für die Stauraumnutzung aktivierbar wird.

Die Wirkung des intermittierenden Abflussbetriebes konnte auf einer Strecke von 2500 m unterhalb des Drehbogens beobachtet werden.

Die erzielten Austragsgeschwindigkeiten, deren Wirkung im Ober- wie im Unterstrom gleich ist, ergaben den dreifachen Wert üblicher Schleppgeschwindigkeiten.

7.3 Biogene Vorgänge

- Bei einer mittleren Sauerstoffzehrung von $0,4 \text{ mg O}_2/\text{l} \cdot \text{h}$ und einem Sauerstoffgehalt von im Mittel 1,5 bis 2,0 mg/l im frischen Abwasser (Temperaturen $< 20^\circ\text{C}$ vorausgesetzt), ist selbst bei Frachtspitzen bis 2000 mg BSB₅/l eine Stauzeit von drei Stunden, ohne anoxische Zustände zu erreichen, am Standort Dresden-Leuben möglich.
- Mit der biogenen Schwefelsäure-Korrosion ist in Leuben nicht zu rechnen. Dazu sind stabile anaerobe Zustände im Kanal nötig, die sich bei der empfohlenen Betriebsweise nicht einstellen können.

7.4 Betriebssicherheit

Im Rahmen des Probetriebes der Drehbogenanlage in Dresden-Leuben wurden alle technischen Anlagenteile hinsichtlich ihrer Betriebssicherheit geprüft.

Alle Anlagenteile haben während des bisherigen 18monatigen Betriebes ohne Störungen gearbeitet.

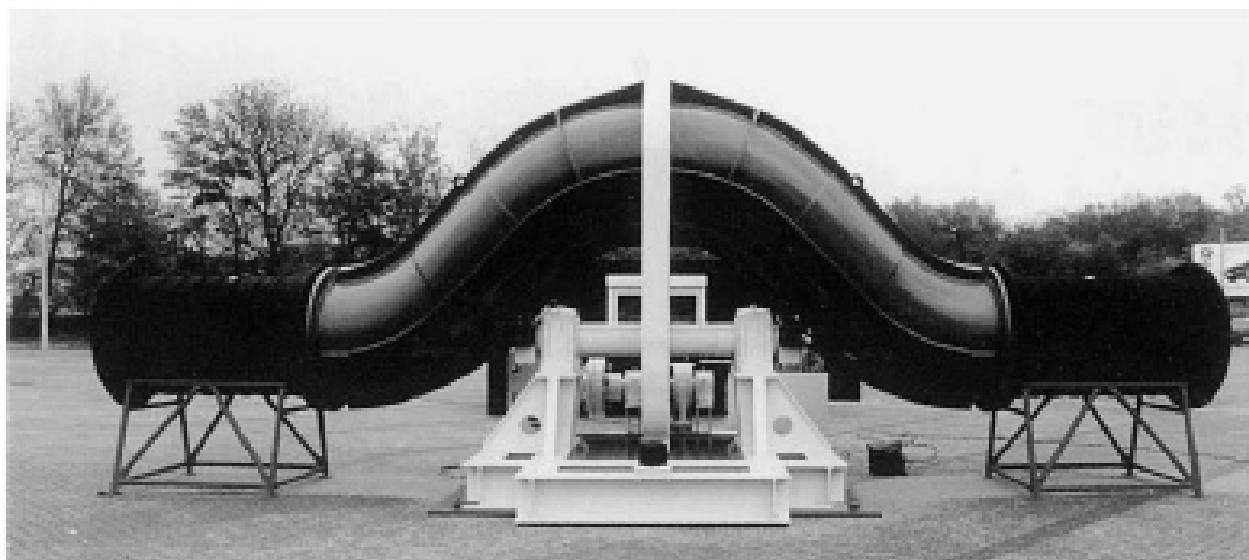


Bild 9: Drehbogen Dresden-Leuben vor Einbau

Im Einzelnen kann folgende Aussage getroffen werden:

- Torsionskompensatoren/Dichtungselemente

Im gesamten Betriebszeitraum haben sich die Torsionskompensatoren – eine Neu-entwicklung – als elastisches Verbindungsteil zwischen Drehbogen und Kanalzu- und -ablauf sehr gut bewährt. Dabei wurden besonders die Torsionselastizität und Torsi- onsfestigkeit beurteilt. Visuell gibt es keinerlei Anzeichen von Elastizitätsverlusten oder Materialproblemen. Verschleißmerkmale sind nicht festgestellt worden.

Der Betriebsraum ist gas- und wasserdicht.

- Antrieb

Aufgrund der Bauart sind alle für die Steuerung erforderlichen Antriebselemente au- ßerhalb des Abwasserflusses untergebracht. Der Antrieb des Drehbogens erfolgt über einen Getriebemotor. Die Hub- und Absenkzeit von 0° auf 90° (stufenlos regel- bar) beträgt 2,5 Minuten.

Im Betriebszeitraum sind ebenfalls keinerlei Störungen oder Anomalien aufgetreten.

- Impulssteuerung

Die Steuerung des Drehbogens ist in einer gekapselten Sicherheitszone des Bau- werkes untergebracht. Über ein EDV-Programm ist eine stufenlose Regelung gege- ben. Der Drehbogen kann nach Vorwahl auf jeden beliebigen Anstellwinkel zwischen 0° und 90° angehoben oder abgesenkt werden. Im Bedarfsfall ist eine fehlerfrei wirkende Handsteuerung vorhanden. Die vorhandene Steueranlage arbeitet störungs- frei. Sie ist auf Automatikbetrieb erweiterbar, der durch externe Signale angesteuert werden kann.

Wirtschaftlichkeitsbetrachtung, am Beispiel der Drehbogenanlage in Dresden-Leuben

Investitionskostenvergleich

Baukosten eines geplanten Rückhaltebeckens für das Teileinzugsgebiet Dresden-Leuben, mit einer Staukapazität von 4000 m³ bei spezifischen Baukosten von 2000 DM/m³

8 000 000 DM

Einbau der Drehbogenanlagen DN 1200/Ü = 1,8 m, einschließlich Ingenieurbauwerk
2 500 000 DM

Ersparnis an Investitionskosten bei Einbau einer Drehbogenanlage

5 500 000 DM

Den Investitionskosten sind im Einzelfall die Kapitalbeschaffungskosten hinzurechnen. Darüber hinaus ist auch der Abschreibungswert (AfA) individuell zu betrachten. Insofern kann sich die o. a. Ersparnis verdoppeln.

Betriebskostenvergleich, jährlich

Betriebskosten der geplanten Rückhaltebeckenanlage mit einer Staukapazität von 4000 m³, bei angenommenen spezifischen Kosten von 15 DM/m³ · a, (Personalkosten zur Wartung und Reinigung sowie Strom- und Spülwasserkosten).

60 000 DM/a

Substanzerhaltung der Rückhaltebeckenanlage (1 % der Investitionskosten)
80 000 DM/a

Inspektions- und Substanzerhaltungskosten für das Kanalnetz des Teileinzugsgebietes Dresden-Leuben bei geplantem Einbau der Rückhaltebeckenanlage
210 000 DM/a

Kanalreinigungskosten vor der Baumaßnahme sowie bei geplantem Einbau der Rückhaltebeckenanlage

110 000 DM/a

Gesamter betriebstechnischer Aufwand mit Rückhaltebecken nach bisherigem Stand der Technik für das Teikanalnetz Dresden-Leuben

460 000 DM/a

Betriebskosten der Drehbogenanlage (Personalkosten für Wartung und Stromkosten)
32 000 DM/a

Substanzerhaltungskosten der Drehbogenanlage (1,5 % der Investitionskosten)
37 500 DM/a

Investitions- und Substanzerhaltungskosten für das Kanalnetz des Teileinzugsgebietes Dresden-Leuben bei intermittierendem Betrieb mit der Drehbogenanlage

Durch Reaktivierung des ursprünglichen Leistungsquerschnittes ist ein störungsfreier Betrieb gewährleistet. Aufgrund der Intensivbelüftung und des Wascheffektes der Kanalwandungen verringert sich die biogene Korrosion und damit verlängert sich die Lebensdauer von allen Bauelementen des Kanalnetzes.

Es entfallen die bei Drosselsteuerung durch Staustöße verursachten Schäden am Bauwerk und an den Einbauten.

Es wird geschätzt, dass die Inspektions- und Unterhaltungskosten für das Kanalnetz beim Drehbogenbetrieb höchstens 80 % der ursprünglichen Kosten erreichen, d. h. $0,8 \times 210\,000 \text{ DM/a}$

168 000 DM/a

Aufgrund des intermittierenden Betriebes mit der Drehbogenanlage entfallen die Kanalreinigungskosten vollständig.

Gesamter betriebstechnischer Aufwand mit der Drehbogentechnik für das Teikanalnetz Dresden-Leuben

237 500 DM/a

Jährliche Kostenreduzierung der Betriebskosten einschließlich Substanzerhaltungskosten $460\,000 \text{ DM/a} - 237\,500 \text{ DM/a}$

222 500 DM/a

Mitglieder im GSTT-Arbeitskreis 6

Dr. Detlef Aigner, Dresden

Matthias Barth, Dresden

Carsten Cherubim, Dresden

Jerzy Kass, Hamburg

Günter Kupczik, Hamburg
(Obmann AK 6)

Prof. Klaus Lützner, Dresden

Johannes Pohl, Dresden

Dr. Andreas Schirmer, Dresden

Reiner Wiesinger, Dresden



GERMAN SOCIETY FOR TRENCHLESS TECHNOLOGY E.V.

Deutsche Gesellschaft für grabenloses Bauen und Instandhalten von Leitungen e.V.

Messedamm 22, D – 14055 Berlin
Tel.: +49 (0)30 3038-2143, Fax: 49 (0)30 3038-2079
E-Mail: info@gstt.de, Internet: <http://www.gstt.de>