



Merkblatt Nr. 1.8/4

Stand: 08.2000

alte Nummer: 1.9-4

Ansprechpartner: Referat 24

Hausanschrift: Lazarettstraße 67
80636 München

Telefon: (089) 92 14-01
Telefax: (089) 92 14-14 35
Internet: <http://www.bayern.de/lfw>
E-Mail: poststelle@lfw.bayern.de

Spülvorgänge in Fernleitungen und Auswahl geeigneter Regel- und Verschlussorgane

Anlagen:

1. Diagramm „Druckverluste und Druckverlustbeiwerte“ der Fa. Erhard
2. Diagramm „Druckverluste und Druckverlustbeiwerte“ der Fa. VAG-Armaturen GmbH

1	AUFGABENSTELLUNG	2
2	RECHNERISCHE UNTERSUCHUNG DES SPÜLVORGANGES	2
2.1	Randbedingungen	2
2.2	Zuordnung der Nennweiten Hauptleitung/Spülleitung	3
2.3	Berechnungsgang	3
2.4	Berechnungsbeispiel	6
3	HINWEISE FÜR DIE PLANUNG UND DEN BETRIEB	7
3.1	Auswahl der Absperr- und Regelarmatur in der Spülung	7
3.2	Verringerung der Nennweite der Armatur	7
3.3	Schließzeiten	8
3.4	Fallweiser Einbau der Armatur	8
3.5	Überwachung der Wassermenge	9



1 AUFGABENSTELLUNG

Bei Fern-, Transport-, Zubringerleitungen und dergleichen sind in der Regel an geeigneten Stellen Möglichkeiten zum Spülen der Leitungen vorzusehen (Ortsnetze und Versorgungsleitungen werden i. a. über Hydranten gespült). Derartige Leitungsspülungen mit Ableitung der Spülwässer sind regelmäßig vor der erstmaligen Inbetriebnahme der Leitung erforderlich, in gewissen Zeitabständen oder bei bestimmten Erfordernissen aber auch im laufenden Betrieb. Sogenannte Spülschächte mit Spülleitung und Auslaufbauwerk sind dafür die gebräuchlichen Anlagen.

Im DVGW-Arbeitsblatt W 355 Kleinbauwerke der Wasserversorgung - Leitungsschächte - sind für diese Bauwerke und Einrichtungen Vorschläge enthalten. U. a. ist unter Ziff. 4.2.1 festgelegt, dass, um eine wirksame Spülung zu erreichen, in der Hauptleitung die Geschwindigkeit mindestens 1,5 m/s, besser 2,0 bis 3,0 m/s, betragen soll und dass die Spülleitung so zu bemessen ist, dass bei der jeweils vorhandenen Druckhöhe eine Geschwindigkeit von 10 m/s nicht überschritten wird.

Auf Veranlassung des Bayer. Landesamtes für Wasserwirtschaft (LfW) hat der Lehrstuhl für Hydraulik und Gewässerkunde der Technischen Universität München Vorschläge für die Berechnung und Bemessung der Spülleitungen und für die Auswahl und den Einsatz geeigneter Regel- und Absperrarmaturen in der Spülleitung auf der Grundlage vorstehender Bedingungen erarbeitet, die nachfolgend zusammengefasst wiedergegeben werden.

2 RECHNERISCHE UNTERSUCHUNG DES SPÜLVORGANGES

2.1 Randbedingungen

Als Anhaltspunkte für mögliche Berechnungen wurden für die Hauptleitung und die Spülleitung etwa folgende Grenzwerte festgelegt:

Hauptleitung: Länge 2 bis 10 km (Spülabschnitt)
Durchmesser DN 400 bis DN 700
Druck 5 bis 10 bar
Geschwindigkeit 2 m/s



Spülleitung: Länge 20 bis 50 m
Geschwindigkeit 10 m/s

2.2 Zuordnung der Nennweiten Hauptleitung/Spülleitung

In folgender Tabelle sind für den o. g. Bereich der Nennweiten der Hauptleitung unter Einhaltung der Randbedingungen die Nennweiten für die Spülleitungen zugeordnet. Es bedeuten dabei

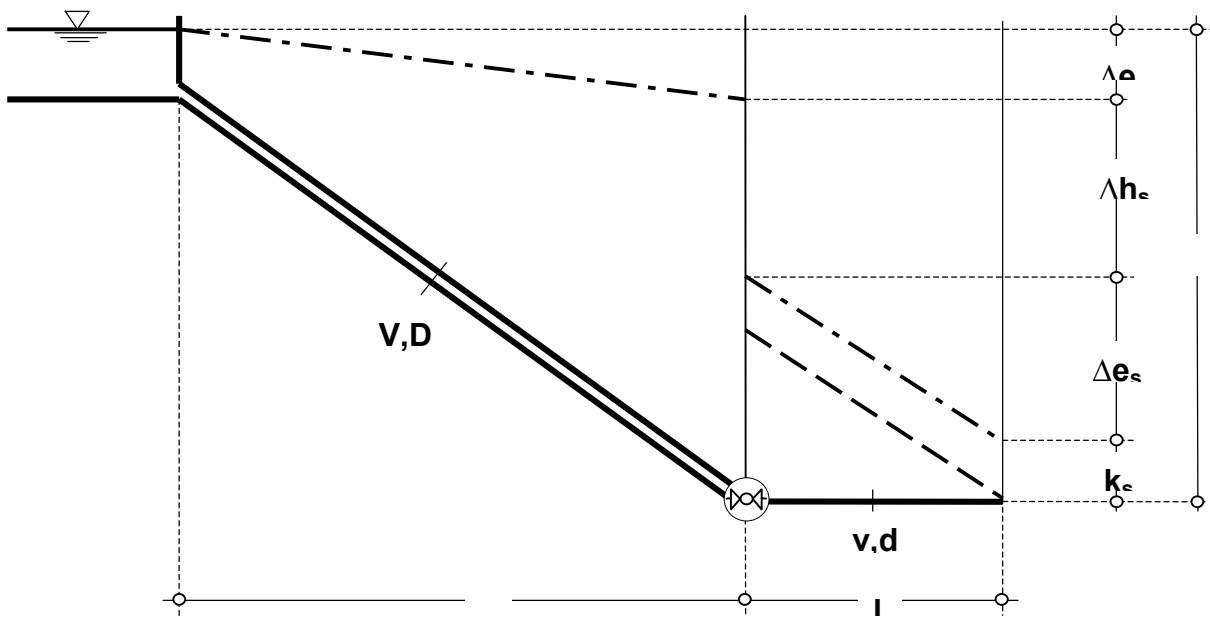
- D = Durchmesser der Hauptleitung
 d = Durchmesser der Spülleitung
 V = mittl. Geschwindigkeit in der Hauptleitung
 v = mittl. Geschwindigkeit in der Spülleitung

D	700	600	500	400	Bemerkungen
d	400	400	300	250	V = 3 m/s
v (m/s)	9,18	6,75	8,33	7,68	
d		300		200	v = 10 m/s
V (m/s)		2,50		2,50	
d	400	300	250	200	V = 2 m/s
v (m/s)	7,96	8,00	8,00	8,01	
d	300	250	200	(175)	v = 10 m/s
V (m/s)	1,84	1,74	1,74	(1,91)	

2.3 Berechnungsgang

In der nachstehenden Skizze ist der Energielinienverlauf für das zu untersuchende System dargestellt.





Es bedeuten in dieser Darstellung

Δe = Verlusthöhe in der Hauptleitung (hierbei werden nur Reibungsverluste angesetzt)

Δh_s = Verlusthöhe im Schieber, die sich aus dem Unterschied in der Energiehöhe vor und nach dem Schieber errechnet

Δe_s = Reibungsverluste in der Spülleitung

k_s = Geschwindigkeitshöhe in der Spülleitung

Für die folgenden Untersuchungen wurden nachstehende mittlere Reibungsbeiwerte angenommen:

Hauptleitung λ = 0,013

Spülleitung λ_s = 0,014



Die einzelnen Verluste wurden nach folgenden Gleichungen ermittelt:

Reibung Hauptleitung (Länge L):

$$\Delta e = \lambda \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}$$

Reibung Spülleitung (Länge l):

$$\Delta e_s = \lambda_s \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g}$$

Verluste im Schieber:

$$\Delta h_s = \zeta \frac{v^2}{2g}$$

Weicht die Nennweite d_s des Schiebers von der der Spülleitung ab, so sind bei der Ermittlung der Verluste die entsprechenden Flächenverhältnisse f/f_s zu berücksichtigen.

$$\Delta h_s = \zeta \left(\frac{f}{f_s}\right)^2 \frac{v^2}{2g}$$

Unter Berücksichtigung der Einzelverluste gilt dann für die Energiehöhenbilanz

$$H = \lambda \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} + \frac{v^2}{2g} \left(1 + \zeta \left(\frac{f}{f_s}\right)^2\right) + \lambda_s \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g}$$

Für einen vorgegebenen Betriebsfall kann mit Hilfe dieser Gleichung errechnet werden, welcher Anteil der Ausgangsenergiehöhe im Regelorgan umgewandelt werden muss.



2.4 Berechnungsbeispiel

In einem Beispiel werden für die Leitung folgende Daten angenommen:

$$\begin{array}{lll} L = 8000 \text{ m} & D = 700 \text{ m} & \lambda = 0,013 \\ l = 40 \text{ m} & d = 300 \text{ m} & \lambda_s = 0,014 \end{array}$$

Bei den gegebenen Durchmessern wird die Maximalgeschwindigkeit in der Spülleitung bei einer Wasserführung $Q = 0,707 \text{ m}^3/\text{s}$ erreicht. Wird von einer Gesamtenergiehöhe von $H = 102 \text{ m}$ (diese entspricht etwa dem angenommenen Maximaldruck von 10 bar) ausgegangen, so betragen die Reibungsverluste:

$$\begin{array}{ll} \text{Hauptleitung } \Delta e & = 25,65 \text{ m} \\ \text{Spülleitung } \Delta e_s & = 9,52 \text{ m} \end{array}$$

Bei einer Geschwindigkeitshöhe $k_s = 5,10 \text{ m}$ müsste demnach im Schieber ein Verlust von

$$\Delta h_s = 102,00 - 25,65 - 9,52 - 5,10 = 61,73 \text{ m}$$

erzeugt werden. Wird ein Regulierorgan mit gleicher Nennweite wie diejenige der Spülleitung eingebaut, so kann der erforderliche ζ -Wert wie folgt errechnet werden:

$$\Delta h_s = \zeta \frac{v^2}{2g} = \zeta k_s$$

Da $k_s = 5,10 \text{ m}$ bei $v = 10 \text{ m/s}$, so ergibt sich:

$$\Delta h_s = \zeta \cdot 5,10 = 61,73$$

oder

$$\zeta = \frac{\Delta h_s}{k_s} = \frac{61,73}{5,10} = 12,10$$

Erforderlich ist daher eine Armatur, die bei dem angegebenen Durchfluß einen ζ -Wert von 12,10 aufweist.



3 HINWEISE FÜR DIE PLANUNG UND DEN BETRIEB

3.1 Auswahl der Absperr- und Regelarmatur in der Spülung

Das für den Spülvorgang benötigte Regelorgan soll im wesentlichen die erforderliche Energieumwandlung bewerkstelligen den dynamischen Anforderungen gewachsen sein in der Leitung transportierte Fremdstoffe gefahrlos abführen.

Als geeignetes Regelorgan steht hierfür praktisch nur der Kugelhahn zur Verfügung. Durch seine besondere Konstruktion ist er in der Lage, hohen dynamischen Belastungen zu widerstehen, wie sie z. B. auch beim Anfahren von Pumpen auftreten. Darüber hinaus steht in geöffnetem Zustand der volle Rohrquerschnitt zur Verfügung. Auch im teilgeöffneten Zustand verbleibt eine relativ günstige Restöffnung für den Durchsatz von Fremdkörpern.

In Anlage 1 und 2 sind ζ -Werte für Erhard-/VAG-Kugelhähne in Abhängigkeit des Öffnungswinkels dargestellt. Bei Verwendung der Erhardarmatur müsste im angeführten Beispiel ein Öffnungswinkel von ca. $39,5^\circ$ eingehalten werden, damit bei dieser Wasserführung die Geschwindigkeit von $v = 10 \text{ m/s}$ in der Spülleitung nicht überschritten würde.

3.2 Verringerung der Nennweite der Armatur

Zu der Frage, inwieweit durch eine Verringerung der Nennweite des Regelorgans die Kosten für eine solche Armatur gesenkt werden können, ist zu bedenken, dass in der Spülleitung bereits sehr hohe Fließgeschwindigkeiten vorhanden sind. Es muss daher sichergestellt sein, dass beim Durchfluss der für die Spülung benötigten Wassermenge die Strömung im Regelorgan nach Möglichkeit nicht kavitiert. Bei einem Öffnungswinkel von knapp 40° ist die Geschwindigkeit beim Durchströmen des Regelorgans in Drosselstellung bereits so hoch, dass im vorliegenden Beispiel Kavitation eintreten würde.

Die im gewählten Beispiel erforderlichen Verluste im Regelorgan sind sehr hoch; bei einem Ausgangsdruck von 5,0 bar wäre unter gleichen Verhältnissen ein im Regelorgan zu erzeugender Verlust von 10,73 m notwendig, der bei der Erhard-Armatur bei einem Öffnungswinkel von ca. $61,5^\circ$ erzielt werden könnte. In diesem Fall wird mit hoher Wahrscheinlichkeit ein kavitationsfreier Durchfluss möglich sein. Sicherheitshalber wird für die Praxis vorgeschlagen, beim Öff-



nungswinkel nicht wesentlich unter 50° zu gehen; bei sehr seltener Benutzung können auch Werte bis zu 40° vertreten werden.

Aus diesen Überlegungen ergibt sich aber auch, dass in bezug auf den Abbau der Gesamtdruckhöhe der Länge der Spülleitung eine besondere Bedeutung zukommt. Je länger die Spülleitung nämlich ist, in umso geringerem Maße muss die Armatur zur Energieumwandlung herangezogen werden, d. h. sie kann entweder umso weiter geöffnet werden (Vermeidung von Kavitation) oder in der Nennweite verringert werden (Einsparung von Kosten).

3.3 Schließzeiten

Die Berechnungen dafür wurden mit den am Lehrstuhl vorhandenen Programmen zur Berechnung instationärer Strömungen in Rohrleitungen durchgeführt. Für das in Ziff. 2.4 genannte Beispiel ergeben sich folgende erforderliche Schließzeiten unter der Bedingung, dass bei einem Ausgangsdruck von 10 bar bei linearem Schließen ein maximaler Druck von 12,5 bar vor dem Kugelhahn nicht überschritten wird:

Durchfluss m ³ /s	Durchmesser d der Spülleitung	erforderliche Mindestschließzeit in Min.
0,707	300	5,5
1,154	400	13,5

3.4 Fallweiser Einbau der Armatur

Die Überlegungen haben gezeigt, dass für den Spülbetrieb ein hochwertiges Regelorgan in Form eines Kugelhahnes erforderlich ist. Die minimalen Betriebszeiten geben zu der Überlegung Anlass, den Kugelhahn nicht ständig eingebaut zu lassen, sondern fallweise einzusetzen. Gerade bei Gruppen- und Fernversorgungen mit vielen derartigen Spülmöglichkeiten kann dies zweckmäßig sein.

Aus kostenmäßigen und betrieblichen Gründen ist der, für die Spülung als Regelarmatur geeignete Kugelhahn am Ende der Spülleitung zu installieren, also im Auslaufbauwerk anstatt im Abzweigschacht.



Ist beim Auslaufbauwerk eine ausreichende Energieumwandlung gegeben, so kann man den Kugelhahn voll öffnen und somit Feststoffe optimal austragen.

Bei voller Freigabe der Querschnittsfläche des Kugelhahns werden die Vorberechnungen vereinfacht. Gegebenenfalls ist in der Spülleitung eine Durchmesserreduzierung unmittelbar vor dem Kugelhahn erforderlich, um die Obergrenze der zulässigen Geschwindigkeit einzuhalten. Da der Kugelhahn im Auslaufbauwerk gegen den Atmosphärendruck arbeitet, besteht hier keine Kavitationsgefahr.

3.5 Überwachung der Wassermenge

In den bisherigen Überlegungen wurde angenommen, dass bestimmte Grenzen der Fließgeschwindigkeiten eingehalten werden. Dies setzt die Überwachung der Abflussmenge voraus. Es ist daher zur Kontrolle der beim Spülbetrieb auftretenden Strömungsverhältnisse anzustreben, dass der Durchfluss im betreffenden Leitungsabschnitt kontrolliert werden kann. Ein Durchflussmessgerät am Beginn der Fernleitung schafft hierfür die besten Voraussetzungen. Beim Fehlen einer solchen Messeinrichtung kann auch anhand der örtlichen Verhältnisse im Bereich des Auslasses eine entsprechende Möglichkeit geschaffen werden.

