

**BAWMerkblatt (Entwurf)**

**Schlauchwehre (MSW)**

**Teil A: Hydraulische Bemessung**

**Ausgabe 2023 - Entwurf (Stand: August 2023)**

ENTWURF

## BAW-Merkblätter, -Empfehlungen und -Richtlinien

### Herausgeber

Bundesanstalt für Wasserbau (BAW)  
Kußmaulstraße 17  
76187 Karlsruhe

Postfach 21 02 53  
76152 Karlsruhe

Tel.: 0721 9726-0  
Fax: 0721 9726-4540

info@baw.de  
www.baw.de

Copyright: Creative Commons BY-ND 4.0

<https://creativecommons.org/licenses/by-nd/4.0/>

Soweit nicht anders angegeben, liegen alle Bildrechte bei der BAW.

<b>Inhaltsverzeichnis</b>		<b>Seite</b>
1	Anwendungsbereich	1
2	Allgemeines	1
2.1	Fachausdrücke	1
2.2	Bezeichnungen und Formelzeichen	2
3	Querschnitt von Schlauchwehren	3
3.1	Allgemeines	3
3.2	Bemessungsinndruck	3
4	Berechnung der hydraulischen Leistungsfähigkeit	5
5	Schwingungen	6
5.1	Ursachen und Vermeidung	6
5.2	Abhilfemaßnahmen	7
6	Literaturverzeichnis	8

<b>Abbildungsverzeichnis</b>		<b>Seite</b>
Abbildung 1:	Systemskizze eines wassergefüllten Schlauchwehrs mit außenliegenden Klemmschienen	2
Abbildung 2:	Querschnitte eines wassergefüllten Schlauchwehrs für Innendruckkoeffizienten $1,2 < \alpha < 1,6$ (vollständige Schlauchformen und ohne Freibord, d. h. $h_1 = h_s$ ); $x/h_s$ und $y/h_s$ sind über die Schlauchhöhe $h_s$ normierte Koordinaten	4
Abbildung 3:	Effektive Überfallbreite bei einem Schlauchwehr	5
Abbildung 4:	Überfallbeiwert für ein wassergefülltes Schlauchwehr ( $\alpha = 1,6$ ) mit zwei Reihen von Störkörpern gemäß Abbildung 5	6
Abbildung 5:	Anordnung der Störkörper auf der Schlauchmembran ( $l_A$ - Länge der abgelegten Membran)	7
Abbildung 6:	Abmessungen der Störkörper	8
Abbildung 7:	Querschnitte eines wassergefüllten Schlauchwehrs: Beispiele für eine vollkommene Schlauchform ( $l_K \leq l_B, \beta_2 = 0^\circ$ ) und eine unvollkommene Schlauchform ( $l_K > l_B, \beta_2 > 0^\circ$ ); $x/h_s$ und $y/h_s$ sind über die Schlauchhöhe $h_s$ normierte Koordinaten	10

<b>Tabellenverzeichnis</b>		<b>Seite</b>
Tabelle 1:	Umfangslänge $l_s$ und Querschnittsfläche $A_s$ eines wassergefüllten Schlauchwehrs in Abhängigkeit vom Innendruckkoeffizienten $\alpha$	4

## Anlagenverzeichnis

Anlage 1: Erläuterungen zu den Vorgaben und Regelungen des Merkblattes

9

ENTWURF

## 1 Anwendungsbereich

- (1) Der Teil A des BAWMerkblatts MSW enthält die Grundlagen für die hydraulische Bemessung von wassergefüllten Schlauchwehren an Binnenwasserstraßen und umfasst
  - a) Hinweise zur Dimensionierung des Querschnitts in Feldmitte,
  - b) Vorgaben zur hydraulischen Bemessung,
  - c) Anforderungen zur Vermeidung von Schwingungen.

## 2 Allgemeines

### 2.1 Fachausdrücke

#### *Stauziel*

Das Stauziel  $Z_s$  ist die beim Regelbetrieb zulässige Wasserspiegelhöhe im Oberwasser (DIN 19700-13:2019-06). Je nach Anforderung gibt es abfluss- und zeitabhängige Stauziele, die in der Regel planfestgestellt sind, und die in den Verwaltungsvorschriften der Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt zur Abfluss- und Stauzielregelung (z.B. VV-GDWS Südwest 22-5) genauer spezifiziert werden.

#### *Stautoleranz*

Die Wasserspiegelhöhe im Oberwasser kann in der Praxis nicht exakt auf dem Stauziel gehalten werden. Daher wird eine Stautoleranz vorgegeben, wie z. B.  $\pm 10-15$  cm, innerhalb derer sich die Wasserspiegelhöhe bewegen darf. Die untere Toleranz wird häufig auch als Normalstau oder unterer Betriebswasserstand bezeichnet, die obere Toleranz hingegen als Höchststau oder oberer Betriebswasserstand.

#### *Schlauchinnendruck*

Die Druckhöhe im Schlauch  $h_i = p_i / (\rho_w g)$  auf dem Niveau der Wehrschwelle mit  $p_i$  = Schlauchinnendruck [Pa]. Bei Systemen, die über das Prinzip der kommunizierenden Röhren von einem seitlich angeordneten Regelschacht gesteuert werden, entspricht der Wasserstand im Regelschacht im Gleichgewichtszustand der Druckhöhe  $h_i$ . Beim Füllvorgang ist die Druckhöhe im Schlauchinneren jedoch niedriger und beim Entleeren höher als die Druckhöhe im Regelschacht.

#### *Schlauchquerschnitt*

Der Querschnitt eines Schlauchs wird maßgeblich bestimmt durch die Umfangslänge der Schlauchmembran, den Abstand der Klemmschienen, die Klemmlänge, den Schlauchinnendruck und die Dehnung der Schlauchmembran. Einen untergeordneten Einfluss haben die Dicke und die Biegesteifigkeit der Membran.

#### *Vollständige Schlauchform*

Die unterwasserseitige Klemmschiene hat keinen Einfluss auf den Querschnitt, da der Schlauch teilweise auf der Schwelle aufliegt. Die Schlauchmembran weist auf der Unterwasserseite eine horizontale Tangente auf ( $\beta_2 = 0$ ).

#### *Unvollständige Schlauchform*

Die unterwasserseitige Klemmschiene beeinflusst den Querschnitt, da der Schlauch nicht bei allen Betriebszuständen unterwasserseitig auf der Schwelle aufliegt. Die Schlauchmembran bildet auf der Luftseite mit der Horizontalen einen Winkel  $\beta_2 > 0$ .

### Störkörper

Störkörper verhindern Schwingungen, die durch eine instabile Strömungsablösung und den daraus resultierenden Druckschwankungen entstehen können. Die Ablösungen an den Störkörpern erhöhen die Turbulenz in der Strömung und führen zu einer Durchmischung der Druckschwankungen.

OW

UW

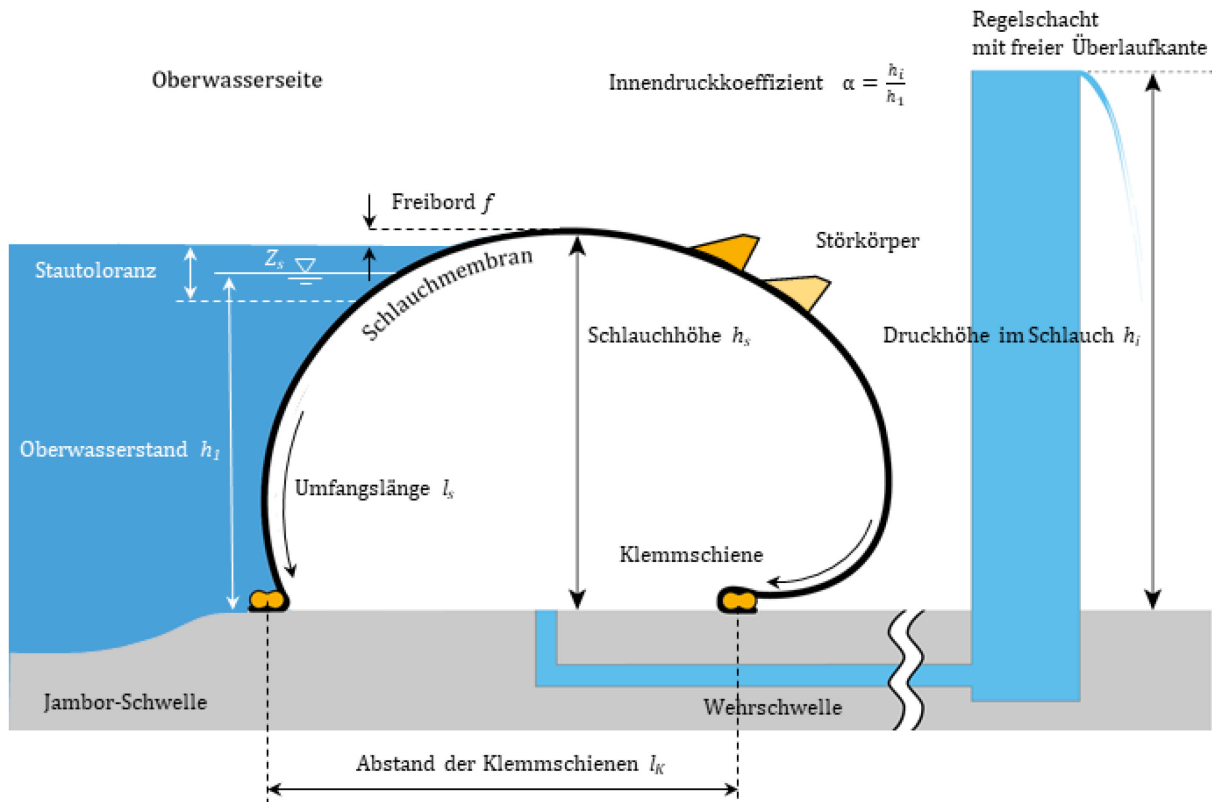


Abbildung 1: Systemskizze eines wassergefüllten Schlauchwehres mit außenliegenden Klemmschienen

## 2.2 Bezeichnungen und Formelzeichen

### Lateinische Buchstaben

- $b$  [m] Effektive Überfallbreite (entspricht näherungsweise der Wehrfeldbreite auf Höhe der Wehrschwelle)
- $C_d$  [-] Überfallbeiwert für überströmte Wehre und Verschlüsse
- $f$  [m] Freibord an Stauanlagen, der als vertikaler Abstand zwischen der Krone des Absperrbauwerkes und dem höchsten Stauziel definiert ist, und sich aus den Bestandteilen Windstau, Wellenauflauf, ggf. Eisstau und einem Sicherheitszuschlag zusammensetzt (DIN 19700-13:2019-06)
- $g$  [ $\text{m/s}^2$ ] Gravitationsbeschleunigung der Erde
- $h_i$  [m] Druckhöhe im Schlauchinneren auf dem Niveau der Wehrschwelle
- $h_1$  [m] Höhe des anstehenden Oberwassers über dem Niveau der Wehrschwelle

- $h_2$  [m] Höhe des anstehenden Unterwassers über dem Niveau der Wehrschwelle
- $h_s$  [m] Schlauchhöhe (vertikaler Abstand von der Wehrschwelle zum Scheitelpunkt des Querschnitts) in Feldmitte
- $h$  [m] Überströmungshöhe mit  $h = h_1 - h_s$
- $l_B$  [m] Abstand von der oberwasserseitigen Klemmschiene zu der Stelle, an der die Schlauchmembran von der Wehrschwelle abhebt (Kontaktlänge)
- $l_K$  [m] Abstand der Klemmschienen (Ankerabstand)
- $l_s$  [m] Umfangslänge der Schlauchmembran zwischen den Klemmschienen (Produktionslänge abzüglich Klemmlänge)
- $Z_s$  [m ü. NHN] Wasserstand im Oberwasser bei Stauziel

### Griechische Buchstaben

- $\alpha$  [-] Innendruckkoeffizient mit  $\alpha = \frac{h_i}{h_1}$
- $\rho_W$  [kg/m<sup>3</sup>] Dichte von Wasser
- $\beta_2$  [°] Winkel, den die Schlauchmembran an der unterwasserseitigen Klemmschiene mit der horizontalen Wehrschwelle bildet

## 3 Querschnitt von Schlauchwehren

### 3.1 Allgemeines

- (1) Ein höherer hydrostatischer Wasserdruck  $h_1$  führt bei den flexiblen Schlauchwehren, im Gegensatz zu Stahlwasserbauten, zu niedrigeren Verschlusshöhen  $h_s$  und je nach Freibord auch zur Überströmung, wenn die Druckhöhe im Schlauchinneren  $h_i$  konstant bleibt. Falls die Anforderungen dies nicht erlauben, muss für die Bemessung ein höherer Schlauchinnendruck angesetzt werden.
- (2) Ein höherer hydrostatischer Wasserdruck  $h_2$  führt zu geringfügig größeren Verschlusshöhen und kann bei der Querschnittsbemessung berücksichtigt werden. Hierbei ist der niedrigste Unterwasserstand anzusetzen (hydrostatischer Stau des Unterliegers). Für die Bemessung der Membran (BAW-MSW, Teil B) wirkt der Wasserdruck entlastend und wird vernachlässigt.

### 3.2 Bemessungsinnendruck

- (1) Die erforderliche Höhe eines Schlauchverschlusses  $h_s$  ergibt sich aus der erforderlichen Stauhöhe  $Z_s$  und einem Freibord  $f$ . Für die Einhaltung von  $Z_s$  wird üblicherweise eine untere und eine obere Stautoleranz angegeben. Für die Bemessung ist die obere Stautoleranz anzusetzen (Abbildung 1).
- (2) Die Druckhöhe im Schlauchinneren  $h_i$  muss höher sein als die Druckhöhe im Oberwasser  $h_1$ , um bei vorgegebenem Schlauchumfang eine erforderliche Schlauchhöhe  $h_s$  zu erreichen (Bemessungsdruckhöhe).

- (3) Der Innendruckkoeffizient  $\alpha = h_i/h_s$  muss in der ständigen Bemessungssituation (nicht überströmt) im Bereich  $1,2 < \alpha < 1,6$  liegen. In Abbildung 2 sind die entsprechenden dimensionslosen Querschnitte dargestellt und in Tabelle 1 die entsprechenden Querschnittswerte. Grundsätzlich ist eine vollständige Schlauchform auszubilden. Dies ist der Fall, wenn der Abstand der Klemmschienen  $l_K$  kleiner oder gleich  $l_B$  ist ( $\beta_2 = 0$ ).

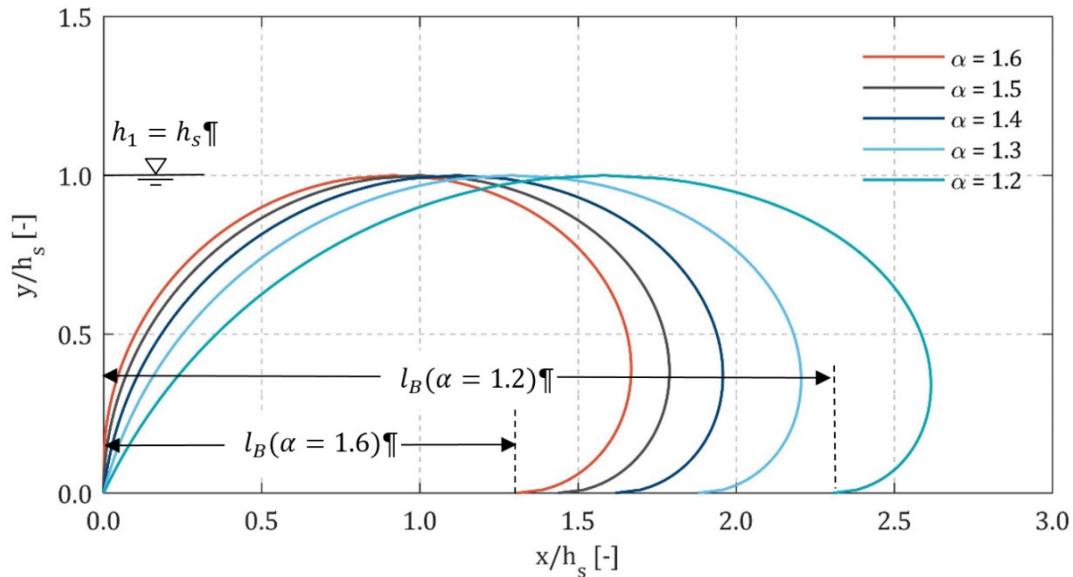


Abbildung 2: Querschnitte eines wassergefüllten Schlauchwehrs für Innendruckkoeffizienten  $1,2 < \alpha < 1,6$  (vollständige Schlauchformen und ohne Freibord, d. h.  $h_1 = h_s$ );  $x/h_s$  und  $y/h_s$  sind über die Schlauchhöhe  $h_s$  normierte Koordinaten

Tabelle 1: Umfangslänge  $l_s$  und Querschnittsfläche  $A_s$  eines wassergefüllten Schlauchwehrs in Abhängigkeit vom Innendruckkoeffizienten  $\alpha$

Innendruckkoeffizient $\alpha$ [-]	Umfangslänge $l_s/h_s$ [-]	Querschnitt $A_s/h_s^2$ [-]
1,2	3,84	2,00
1,3	3,53	1,72
1,4	3,36	1,55
1,5	3,26	1,44
1,6	3,19	1,36



#### 4 Berechnung der hydraulischen Leistungsfähigkeit

- (1) Die Berechnung für freien Abfluss (vollkommener Überfall) erfolgt – wie bei überströmten Wehren und Verschlüssen üblich – mit der Poleni-Formel:

$$Q = \frac{2}{3} \cdot C_d \cdot b \cdot \sqrt{2g} \cdot h^{3/2} \quad (4-1)$$

Dabei ist:

$C_d$  [-] Überfallbeiwert

$h$  [m] Überfallhöhe =  $h_1 - h_s$

$b$  [m] Effektive Überfallbreite (entspricht näherungsweise der Wehrfeldbreite auf Höhe der Wehrschwelle)

- (2) Als effektive Überfallbreite ist die Wehrfeldbreite auf Höhe der Wehrschwelle anzunehmen (Abbildung 2). Die Wangenneigung ist 3:1 oder flacher auszubilden.
- (3) In Abbildung 4 ist der Überfallbeiwert  $C_d$  in Abhängigkeit von der dimensionslosen Überfallhöhe  $h$  (normiert über den Oberwasserstand  $h_1$ ) dargestellt. Für die Abflussberechnung kann für einen Innendruckkoeffizienten von  $\alpha = 1,6$  in guter Näherung ( $R^2 = 0,98$ ) von folgendem Zusammenhang ausgegangen werden:

$$C_d = -8,04 \cdot \left(\frac{h}{h_1}\right)^3 + 10,10 \cdot \left(\frac{h}{h_1}\right)^2 - 3,59 \cdot \frac{h}{h_1} + 1,01 \quad (4-2)$$

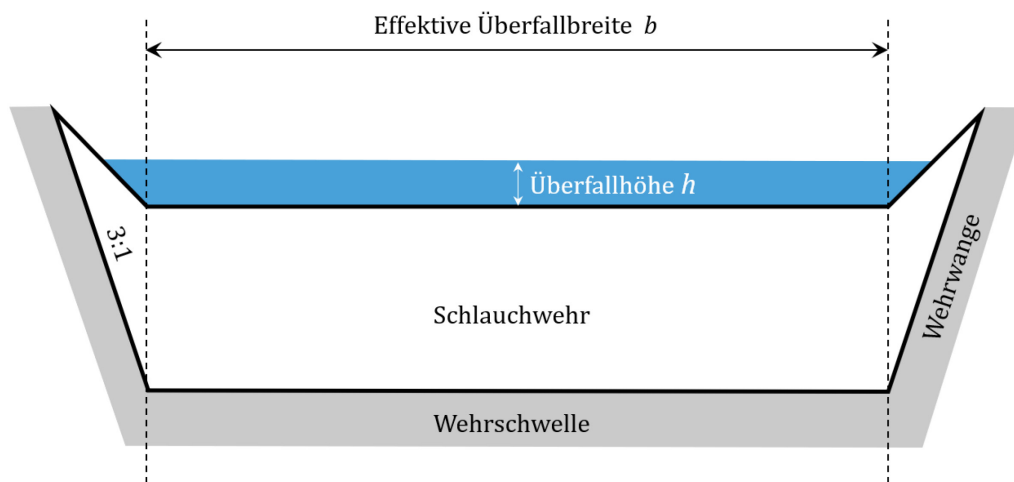


Abbildung 3: Effektive Überfallbreite bei einem Schlauchwehr

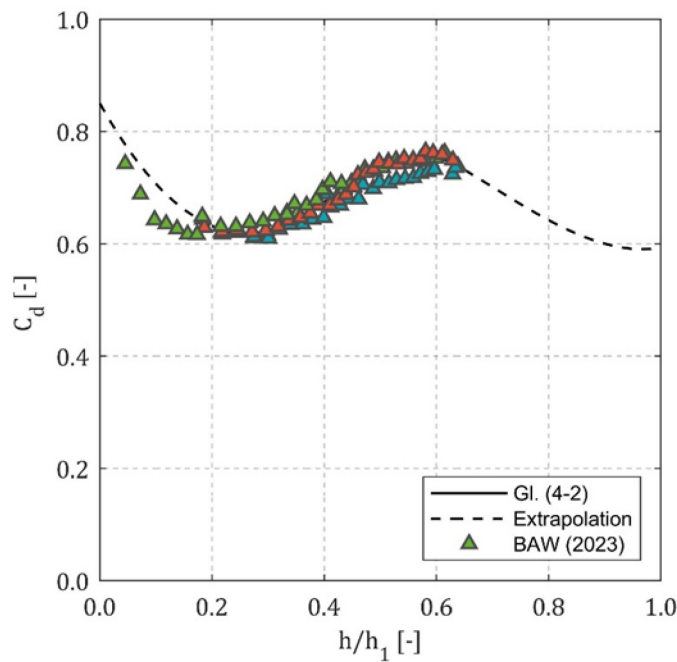


Abbildung 4: Überfallbeiwert für ein wassergefülltes Schlauchwehr ( $\alpha = 1,6$ ) mit zwei Reihen von Störkörpern gemäß Abbildung 5

## 5 Schwingungen

### 5.1 Ursachen und Vermeidung

- (1) Aufgrund ihrer elastischen Struktur sind unregelmäßige Bewegungen der Schlauchmembran normal, Schlauchwehre sind aber grundsätzlich so auszubilden, dass der Betrieb über den gesamten Regelungsbereich so erfolgen kann, dass keine periodischen Bewegungen (Schwingungen) auftreten.
- (2) Verschlussstellungen in dem in Gl. (5-1) angegebenen Bereich sind typisch für selbsterregte Schwingungen infolge von Strömungsinstabilitäten und in den seltensten Fällen durch betriebliche Maßnahmen (z. B. Wehrfahrplan) zu vermeiden. Daher sind konstruktive Maßnahmen erforderlich (s. Abschnitt 5.2).

$$0,60 \leq \frac{h_s}{h_1} \leq 0,70 \quad (5-1)$$

- (3) Bei der Planung der Wehranlage ist darauf zu achten, dass die Anströmung möglichst gleichmäßig ist und die Schlauchwehre möglichst senkrecht angeströmt werden.
- (4) Bei der geometrischen Ausbildung muss darauf geachtet werden, dass keine periodischen Ablösungen im Oberwasser (u. a. an Ufer, Sohle, Molen) oder am Bauwerk (u. a. an Wehrpfeiler, Wehrschwelle) auftreten.
- (5) Schlauchwehre auf einer sohlgleichen Wehrschwelle sind zu vermeiden. Es wird empfohlen, eine Jambor-Schwelle mit einer anschließenden horizontalen Schwelle vorzusehen, deren Höhe unter Berücksichtigung der Hochwasserneutralität ermittelt werden muss.

- (6) Die Punkte (3) bis (5) können die Ursache für fremderregte Schwingungen sein. Hierfür werden hydraulische Modelluntersuchungen empfohlen (s.a. DIN 19700-13:2019-06).

## 5.2 Abhilfemaßnahmen

- (1) Modell- und Naturuntersuchungen haben gezeigt, dass Störkörper eine wirksame Abhilfemaßnahme gegen Schwingungen sind. Zur Vermeidung von Schwingungen sind mindestens zwei Reihen von Störkörpern vorzusehen (Abbildung 5).
- (2) Die erste Störkörperreihe muss bei 85%, die zweite bei 95% der abgelegten Schlauchmembran ( $l_A$ ) angeordnet werden (Abbildung 5). Der Achsabstand der Störkörper  $a_{SK}$  muss kleiner als 40% der Schlauchhöhe sein.
- (3) Die Höhe der Störkörper  $h_{SK}$  (Abbildung 6) muss größer sein als 10% der Schlauchhöhe, die Breite  $b_{SK}$  größer sein als 10% der Schlauchhöhe.
- (4) Die Form der Störkörper muss auf der Abströmungsseite scharfkantig ( $R_{SK} < 0,05 b_{SK}$ ) sein (Abbildung 6).
- (5) Die Grundplatte der Störkörper muss so elastisch sein, dass sie den Verformungen der Schlauchmembran einen geringen Widerstand bietet.
- (6) Bei Abweichungen von den geometrischen Vorgaben (z. B. bei 3-reihiger Störkörperanordnung) sind entsprechende Nachweise zur Schwingungsfreiheit durch Modell- oder Naturversuche vorzulegen.
- (7) Das Gewicht der Störkörper hat keinen Einfluss auf die Querschnittsbemessung.

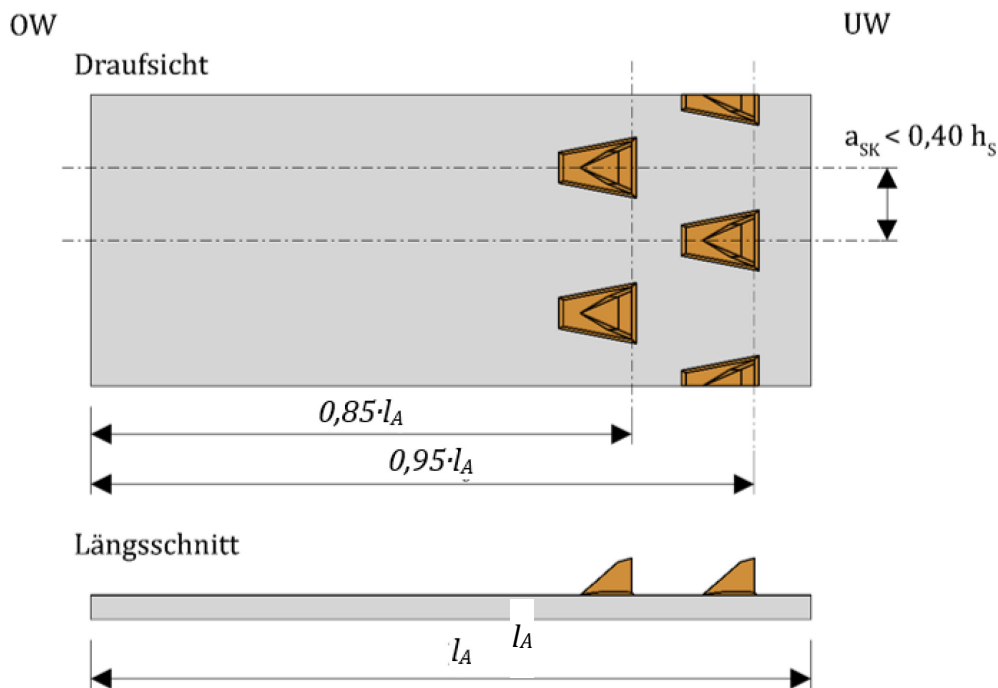


Abbildung 5: Anordnung der Störkörper auf der Schlauchmembran ( $l_A$  - Länge der abgelegten Membran)

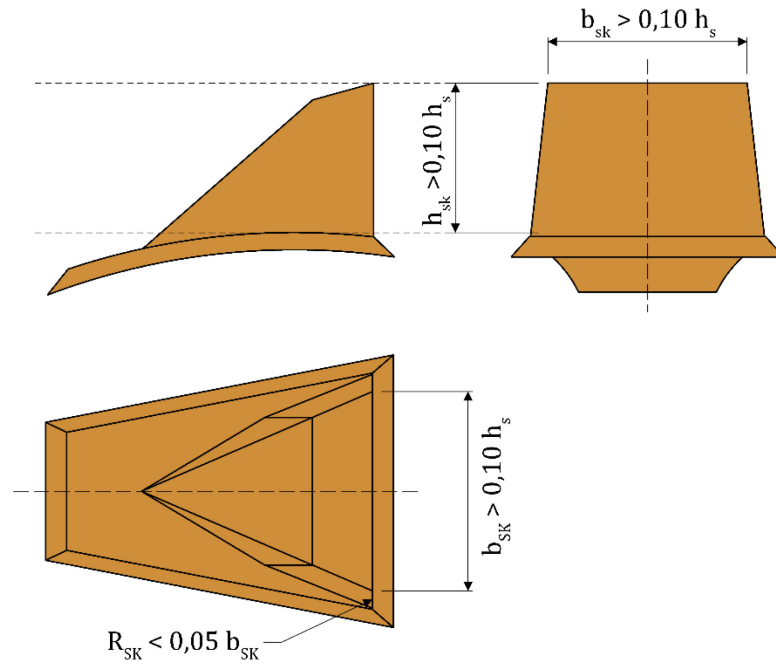


Abbildung 6: Abmessungen der Störkörper

## 6 Literaturverzeichnis

Gebhardt, M.; Kemnitz, B. (2007): Hydraulische Bemessung von Schlauchwehren. In: Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau (91), S. 47–56.

Gebhardt, M.; Nestmann, F.; Schweizerhof, K.; Kemnitz B. (2008): Grundlagen für die hydraulische und statische Bemessung von wasser- und luftgefüllten Schlauchwehren. In: Wasserwirtschaft (3), S. 27–32.

DIN 19700-13:2019-06, 06/2019: Stauanlagen - Teil 13: Staustufen.

Watson, R. (1985): A note on the shapes of flexible dams. In: Journal de Recherches Hydrauliques 23 (2), S. 179–194.

## Anlage 1: Erläuterungen zu den Vorgaben und Regelungen des Merkblattes

### Zu 1 Anwendungsbereich

Zu (1):

Aufgrund der gleichmäßigeren Überströmung und den damit verbundenen besseren Regelungseigenschaften (gegenüber luftgefüllten) werden nur wassergefüllte Schlauchwehre für Wehranlagen an Binnenwasserstraßen empfohlen. Das vorliegende Merkblatt ist ausschließlich für wassergefüllte Schlauchwehre gültig.

### Zu 3 Querschnitt von Schlauchwehren

#### Zu 3.1 Allgemeines

Zu (1):

Schlauchwehre sind flexible Strukturen und verändern im Gegensatz zu Stahlwasserbauten ihren Querschnitt in Abhängigkeit vom Schlauchinnendruck  $h_i$ , der Überströmungshöhe  $h$  und des anstehenden Unterwasserstandes  $h_2$ . Neben Wasserstands- und Innendruckschwankungen können wind- oder schiffsinduzierte Wellen, Sedimentablagerungen oder Eisdruck zu Verformungen der Schlauchwehmembran führen.

Zu (2):

Im nicht überströmten Zustand beeinflusst der Unterwasserstand  $h_2$  die Bemessung. Der hydrostatische Wasserdruck bewirkt durch den Auftrieb eine geringfügig größere Verschlusshöhe und durch die Stützwirkung eine niedrigere Membrankraft (BAW-MSW, Teil B).

#### Zu 3.2 Bemessungsinnendruck

Zu (1):

Der Freibord  $f$  trägt den Schwankungen bei der Stauregelung und dem Überschwappen von Wellen (Eisbildung) Rechnung und wird vom Betreiber festgelegt.

Zu (2):

Grundsätzlich gilt: Je höher der Bemessungsinnendruck, desto höher die resultierende Membrankraft (s. BAW-MSW, Teil B). Mit einem größeren Innendruck kann mit kürzerer Membranlänge die gleiche Schlauchhöhe erreicht werden.

Zu (3):

Die Querschnitte in Abbildung 2 werden nach Watson (1985) auch als vollständige Schlauchformen bezeichnet. Sie treffen auf Schlauchkörper zu, bei denen die zweite Klemmschiene keinen Einfluss auf den Querschnitt hat, sodass dieser auf der Luftseite eine horizontale Tangente aufweist (Abbildung 7).

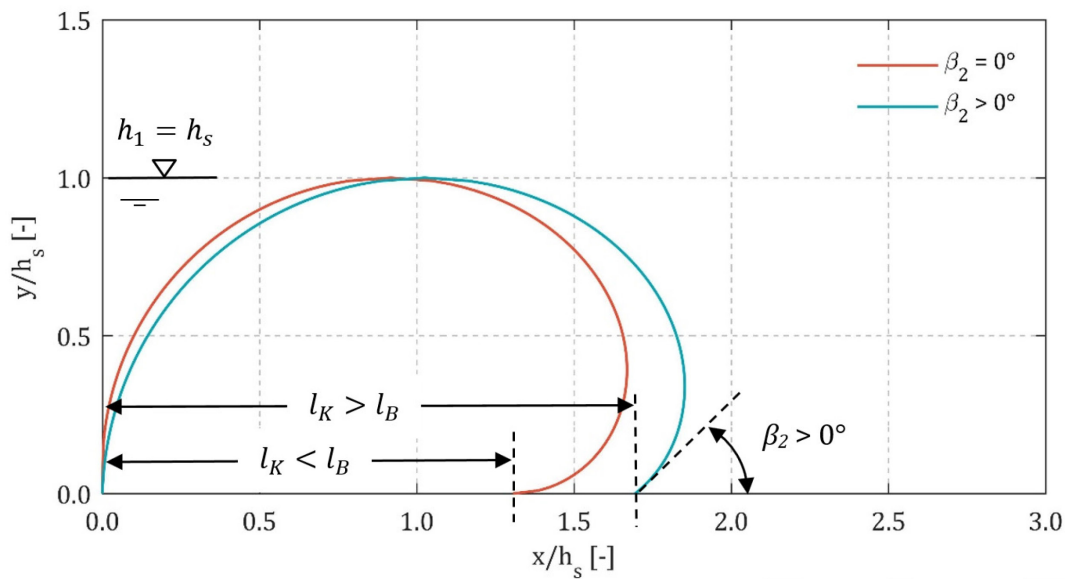


Abbildung 7: Querschnitte eines wassergefüllten Schlauchwehres: Beispiele für eine vollkommene Schlauchform ( $l_K \leq l_B$ ,  $\beta_2 = 0^\circ$ ) und eine unvollkommene Schlauchform ( $l_K > l_B$ ,  $\beta_2 > 0^\circ$ );  $x/h_s$  und  $y/h_s$  sind über die Schlauchhöhe  $h_s$  normierte Koordinaten

#### Zu 4 Berechnung der hydraulischen Leistungsfähigkeit

Zu (2):

Aufgrund des trapezförmigen Abflussquerschnitts eines Wehrfeldes verändert sich die Überfallbreite mit steigendem Abfluss. Zusätzlichen Einfluss haben die seitliche Befestigung der Schlauchmembran und die dadurch entstehenden Falten. In akzeptabler Näherung kann für  $b$  die Verschlussbreite auf Höhe der Wehrschwelle angenommen werden. Die Restungenauigkeit ist gering und im Überfallbeiwert  $C_d$  enthalten. Bei Abweichungen (z. B. Wangenneigung, Bemessungsinndruck) werden Modelluntersuchungen zur genaueren Bestimmung des Überfallbeiwertes empfohlen.

Zu (3):

Der Überfallbeiwert wurde im gegenständlichen Modell für zwei Reihen von Störkörpern, wie sie in Abbildung 5 und Abbildung 6 dargestellt sind, ermittelt. Anzahl und Geometrie der Störkörper beeinflussen den Überfallbeiwert, genauso wie die Wangenneigung und der Querschnittsentwurf (s. Abschnitt 3.2), d. h. das Verhältnis von Schlauchumfang, Abstand der Klemmschienen und Innendruck. Bei gleicher Schlauchhöhe können sich unterschiedliche Geometrien ergeben.

#### Zu 5 Schwingungen

##### Zu 5.1 Ursachen und Vermeidung

Zu (1):

Als Schwingungen werden dauerhafte, periodisch auftretende Bewegungen bezeichnet. Bei einer periodischen Bewegung besitzt ein Körper nach gleichlangen Zeitabschnitten immer wieder den gleichen Bewegungszustand, d. h. den gleichen Ort, die gleiche Geschwindigkeit und die gleiche Beschleunigung.

Bei Schlauchwehren haben diese Schwingungen Frequenzen von etwa 1 bis 2 Hz, bei denen sich die Schlauchmembran an der Betonoberfläche aufscheuern kann oder bei denen durch die dynamische Belastung die Ermüdungsfestigkeit der Membran oder die Tragfähigkeit der Klemmkonstruktion überschritten wird.

Schiffs- und windinduzierte Wellen können zwar zu einer Bewegung bzw. einer Verformung des Schlauchquerschnitts führen, eine Schwingungsanregung ist aber ausgeschlossen, da die anregenden Frequenzen sehr viel niedriger sind als die Eigenfrequenz des Schlauchwehrs. Grundsätzlich handelt es sich dabei um einen anderen Anregungsmechanismus (fremderregt) als den unter 5.1 (2) beschriebenen (selbsterregt).

Zu (2):

Die Schwingungen sind auf eine instabile Ablösung des Überfallstrahls und die dadurch resultierenden Druckschwankungen auf der Unterwasserseite des Schlauchkörpers zurückzuführen. Das Auftreten hängt maßgeblich von der Überströmungshöhe ab (Gebhardt und Kemnitz 2007; Gebhardt et al. 2008).