



DIPLOMARBEIT

Master's Thesis

Entwurfsgrundlagen von modernen Wehrverschlüssen

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines
Diplom- Ingenieurs
unter der Leitung von

Ao. Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. Reinhard Prenner
am

Institut für Wasserbau und Ingenieurhydrologie

Eingereicht an der Technischen Universität Wien
Fakultät für Bauingenieurwesen

von

Velizar Georgiev

Matrikel-Nr. 1229321

velizar.v.georgiev@gmail.com

Wien, 2016

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich all jenen danken, die durch ihre fachliche und persönliche Unterstützung zum Gelingen dieser Diplomarbeit beigetragen haben.

Ganz besonders möchte ich mich auf diesem Weg bei meinem Betreuer Ao. Univ. Prof. Dipl. –Ing. Dr. Reinhard Prenner für die Aufmerksamkeit und Unterstützung, die er mir dabei entgegengebracht hat, bedanken. Sein Einsatz ermöglichte mir die Auseinandersetzung mit einem sehr interessanten Themengebiet des Bauingenieurwesens.

Ebenso danke ich Herrn Ao. Univ. Prof. Dipl. –Ing. Dr. Dimitar Kisliakov für die ständige Bereitschaft, mir bei der Bemessung des untersuchten Segmentschützes zu unterstützen.

Ich danke der Universität für Architektur, Bauwesen und Geodäsie – Sofia und der Technischen Universität Wien für die spannenden Jahre, die ich da verbringen durfte und die enorme Menge an Wissen und Erfahrungen die ich dabei sammeln konnte.

Schließlich möchte ich mich von ganzem Herzen bei meinen Eltern, Anna und Veselin, sowie meiner Freundin Veronika bedanken. Auf ihr Verständnis und ihre volle Unterstützung kann ich in allen herausfordernden Phasen des Lebens hundertprozentig bauen.

INHALTVERZEICHNIS

Kurzfassung	VI
Abstract.....	VII
1. Einleitung.....	1
2. Allgemeine Bemerkungen.....	2
3. Beschreibung der Wehrarten und deren Besonderheiten.....	3
3.1. Zweck	3
3.2. Nachteile.....	4
3.3. Wehrarten	4
3.3.1 Feste Wehre	5
3.3.2 Bewegliche Wehre (Wehrverschlüsse)	6
3.3.2.1. Überströmte Wehrverschlüsse	8
3.3.2.2. Unterströmte Wehrverschlüsse.....	10
3.3.2.3. Über- und unterströmte Wehrverschlüsse.....	13
3.3.3. Kombinierte Wehranlagen	15
3.3.4. Notverschlüsse	16
3.4. Vergleich der Wehrverschlüsse nach Dimensionen und spezifischem Gewicht.....	17
3.5. Hubeinrichtungen und Antriebe von Verschlüssen.....	18
3.6. Abdichtungsarten und Anforderungen	18
3.7. Korrosionsschutz.....	21
3.8. Anforderungen an Stahlwasserbauten.....	23
4. Entwurfsgrundlagen von Drucksegmenten.....	24
4.1. Besonderheiten	24
4.2. Gestaltung eines Drucksegments	26

4.2.1.	Strukturelemente und Größenbestimmung	26
4.2.2.	Hubeinrichtungen.....	29
4.2.2.1.	Elektromechanische Hubeinrichtungen.....	29
4.2.2.2.	Ölhydraulische Hubeinrichtungen	31
4.2.2.3.	Hubgeschwindigkeit.....	32
4.2.2.4.	Hub- und Senkkräfte	33
4.3.	Statische Bemessung von Drucksegmenten.....	34
4.4.	Lagerkräfte bei Drucksegmenten	40
4.5.	Hydraulische Bemessung - Ausfluss unter einem Segmentschütz.....	43
4.6.	Schwingungen bei Segmentverschlüssen.....	47
4.7.	Drucksegment in Kombination mit aufgesetzter Klappe	48
4.8.	Vergleich von Druck- und Zugsegmenten	50
5.	Entwurfsgrundlagen von Fischbauchklappen	51
5.1.	Besonderheiten	52
5.2.	Gestaltung einer Fischbauchklappe	53
5.2.1.	Strukturelemente und geometrische Gestaltung einer Fischbauchklappe	53
5.2.2.	Antriebseinrichtungen der Fischbauchklappen	58
5.3.	Statische Bemessung von Fischbauchklappen	60
5.4.	Lagerkräfte bei den Fischbauchklappen.....	61
5.5.	Schwingungen bei Fischbauchklappen.....	63
5.6.	Hydraulische Bemessung - vollkommener Überfall über einer Fischbauchklappe...	66
5.7.	Vergleich der Fischbauchklappe mit Sektor- und Trommelwehren.....	67
6.	Entwurfsgrundlagen von Schlauchwehren	68
6.1.	Anwendungsbereiche für die Schlauchwehre.....	68

6.2.	Gestaltung des Schlauchwehres.....	69
6.2.1.	Wehrgeometrie	70
6.2.2.	Befestigungssystem.....	71
6.2.3.	Material	73
6.3.	Betrieb von Schlauchwehren.....	75
6.4.	Reguliersysteme	77
6.4.1.	Luftgefüllte Schlauchwehre.....	77
6.4.2.	Wassergefüllte Schlauchwehre	80
6.4.3.	Vergleich wasser- und luftgefüllter Schlauchwehre	82
6.4.4.	Wasser- und luftgefüllte Schlauchwehre	83
6.5.	Statische Bemessung von Schlauchwehren	84
6.6.	Hydraulische Bemessung von Schlauchwehren	90
6.7.	Schwingungen bei den Schlauchwehren	92
6.8.	Vergleich mit konventionellen Stauwehren	93
7.	Bemessung eines Segmentschützes	95
7.1.	Grunddaten des Segmentschützes.....	95
7.2.	Ermittlung der Lage der Träger.....	97
7.3.	Bauform der Hauptrahmen	98
7.4.	Ermittlung der Spannungen des Rahmens	99
7.5.	Auswahl der Stahlgüte für die Elemente der Konstruktion.....	101
7.6.	Bemessung der Stauwand und der Horizontalrippen	102
7.7.	Bemessung und Gestaltung des Trägers	106
7.8.	Bemessung der Stützarme des Segmentschützes	114
7.9.	Bemessung der Querrippen.....	118

7.10. Bemessung des Drehlagers	122
8. Ausführungstechnologie und Grundbetriebsanforderungen von Verschlüssen im Stahlwasserbau	124
8.1. Bauliche Durchbildung nach DIN- 19704, Teil 2 (Mai 1998).....	124
Zusammenfassung	127
LITERATURVERZEICHNIS.....	129

Kurzfassung

In Rahmen dieser Diplomarbeit wurde die wasserbauliche Gestaltung der heute gängigsten Wehrverschlüsse untersucht, wobei besonderes Augenmerk auf die Konstruktion, die Bemessung und den Vergleich gegenüber früher ausgeführten Wehrverschlüssen gelegt wurde.

Zuerst wurde eine allgemeine Übersicht über die wichtigsten Wehrrarten gegeben. Ein grundsätzlicher Vergleich sowohl der festen und beweglichen Wehre in Bezug auf deren Bestandteile, als auch der einzelnen Wehrverschlüsse, gestaltet gemäß DIN 4048-1 - Funktionsweise, Dimensionen und Gewicht wurde dargestellt.

Die Hauptaufgabe der Arbeit bestand in der Untersuchung der Entwurfsgrundlagen der Drucksegmente, Fischbauchklappen und Schlauchwehre als moderne Wehranlagen. Ebenso war wesentlich, eine Antwort darauf zu geben, warum im Gegensatz zu den früher ausgeführten Wehrverschlüssen diese drei Wehrverschlüsse in der Praxis weltweit immer häufiger Verwendung finden. Als Untersuchung sind die Entwurfsgrundlagen der o.g. drei Wehranlagen unter folgenden Aspekten ausführlich beschrieben: Beschreibung der Konstruktionskomponenten und geometrischen Gestaltung, Darstellung der Antriebs-einrichtungen, Grundlagen der statischen Bemessung, Ermittlung der Lagerkräfte – bei Drucksegmenten und Fischbauchklappen, Grundlagen der hydraulischen Bemessung, grundsätzliche Beschreibung der Schwingungen und Vergleich mit den früher ausgeführten Wehrverschlüssen.

Im Anschluss der Untersuchung erfolgt die detaillierte Untersuchung eines Segmentes, als Beispiel für die heutzutage am meisten verwendeten Verschlusskonstruktionen, inklusive statischer Berechnung. Diese wurde auch anhand eines praktischen Beispiels durchgeführt, und zu diesem Zweck wurden auch Entwurfspläne erstellt. Es wurde ein Drucksegment der Hochwasserentlastungsanlagen am Kopf der Staumauer „Watscha“ in Bulgarien mit einer Höhe von 8,25m und einer Breite von 7,0m sowie einem Antrieb mit Hydraulikzylinder gewählt. Die Konstruktion wurde so dimensioniert, dass alle maßgebenden Nachweise erfüllt werden.

Abstract

The goal of the presented Master's Thesis is to examine the hydraulic-constructive design of today's most common weir gates, with a particular focus on their construction and dimensioning, as well as their comparison with some other previous constructed weir gates.

The introduction is intended to give a quick overview of the most important weir gates. A basic comparison of fixed and mobile weirs according to their structural components, as well as comparison of the mobile gates according to their design, function, dimensions and weight is represented.

The main task of the work consists in the examination of basic principals of designing the tainter, fish-belly and inflatable gates as modern weir systems. Also to give an answer of why those weir gates are increasingly used of the worldwide practice, in opposite of some weir gates which have been used in the past. In the examination of these three mobile weirs the following aspects are described: a description of the construction components and geometrical design, a representation of driving system, a principle hydrostatical design, a basic description of the vibrations by tainter and fish-belly gates and a comparison with previous constructed weir gates.

Finally, as a practical example, is presented a detailed constructive description of tainter gate as the most common weir gate, including static calculations and draft plans. A tainter gate on the spillway of "Vacha Dam" 8,25m high and 7,0m width with hydraulic cylinder as a driving system has been selected. The design has been dimensioned to fulfil all the requirements.

1. Einleitung

Unter Wasserbau versteht man die Projektierung und Ausführung all der Baumaßnahmen, die der Nutzung des Wassers dienen oder dem Schutz vor Gefahren, die vom Wasser ausgehen können. Der Wasserbau hat technisch einwandfreie Lösungen zu finden und zu realisieren, die ihren Zweck erfüllen und in die Umwelt passen. Natürlich müssen die Anlagen wirtschaftlich sein und von der Gesellschaft akzeptiert werden. Eine vielfältige und faszinierende Aufgabe. Deswegen ist die Notwendigkeit von zeitnahen Baumaßnahmen in den letzten Jahrzehnten erheblich gestiegen. Damit eine genauere Regulierung und sicherere Abgabe der Wassermengen gewährleistet wird, werden sehr häufig bewegliche Wehre ausgeführt, die sowohl als neue Hochwasserentlastungsanlagen als auch als Überbau auf schon bestehenden Anlagen ausgeführt werden können, um ein höheres Stauziel zu erreichen. Die Sicherheit einer Stauanlage ist zum größten Teil von der zuverlässigen Funktion der Hochwasserentlastung abhängig. Alle Anlageteile sind deshalb so zu dimensionieren, dass die Anlage allen erdenklichen Beanspruchungen standhalten kann.

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit einer ausführlichen Behandlung der Gestaltung von heutzutage am meisten verwendeten Wehrveschlüssen. Die Untersuchung wurde unter folgenden wesentlichen Punkten durchgeführt:

- Ermittlung der Entwurfsgrundlagen von Drucksegmenten
- Ermittlung der Entwurfsgrundlagen von Fischbauchklappen
- Ermittlung der Entwurfsgrundlagen von Schlauchwehren
- Darstellung eines Berechnungsbeispiels - Bemessung eines Segmentschützes und Erstellung von Entwurfsplänen

2. Allgemeine Bemerkungen

Unter einem „Beweglichen Wehr“ versteht man nach DIN 4048-1 ein Absperrbauwerk ohne Staukörper mit Wehrverschlüssen, die der bewegliche Teil des Wehres sind [2]. Mit der Bewegung des Verschlusses kann das Stauziel reguliert werden. In der *Abb 2.1* ist ein Beispiel von Stauklappe als ein bewegliches Wehr dargestellt.

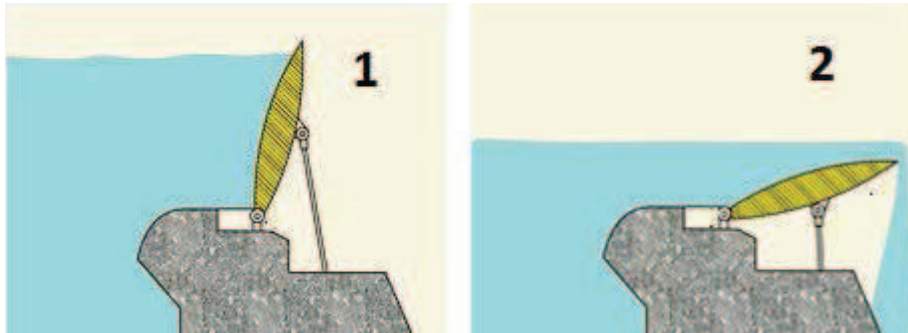


Abb. 2.1 Klappentyp Wehrverschluss in einer Geschlossen- (1) und Offenstellung(2)

Anwendungsbereich und Funktion der Verschlüsse

Nach Anwendungsbereich kann man Verschlüsse an Stauanlagen, Talsperren-, Wehr- und Kraftwerksverschlüsse unterscheiden, bzw. Verschlüsse im Bereich des Verkehrswasserbaues [1].

Wehrverschlüsse dienen bei Wehranlagen der Stauhaltung und der Abfuhr von überschüssigem Wasser, wodurch, unabhängig vom Zufluss, das Einhalten eines vorgegebenen Stauzieles ermöglicht wird. Ergänzenden Aufgabenbereiche sind z.B. Hochwasserabfuhr, Steuerung von Hochwasserrückhaltebecken, Stauraumspülung und Abfuhr von Treibholz und Eis [1].

Ein Wehrverschluss umfasst folgende Bauteile: Verschlusskörper mit Dichtungen und Lagern, sowie die Antriebe, Hubeinrichtungen und Steuerung. Zu den ergänzenden Bauteilen gehören auch die Panzerung, als Stahlverkleidung im Bereich der Verschlüsse, und Armierung, als Führungsschienen, sowie die rostfreien Leisten und Balken, die als Aufstandsflächen bzw. als Gleitflächen für Dichtungen dienen [1].

3. Beschreibung der Wehrrarten und deren Besonderheiten

Wehranlagen dienen dem Aufstau des Wassers, bzw. der Anhebung des Wasserspiegels. Es existieren zwei Typen: feste Wehre und Wehre mit Verschlüssen. Die Art des Wehres, die Lage, Höhe, und Hauptabmessungen werden aufgrund der Aufgaben und Forderungen, der örtlichen Verhältnisse sowie der dydrotechnischen Anforderungen bestimmt [10].

3.1. Zweck

- Energieerzeugung
 - Konzentration des Gefälles auf die Sperrstelle
 - Ermöglichung von Fassungen zur Ab- oder Ausleitung
 - Speicherung in geringem Umfang (Tagesspeicher, Ausgleichsbecken von Spitzen bei Kraftwerken, Unterbecken von Pumpspeicherwerken)
- Wasserversorgung
 - Erhöhung, Beibehaltung des Grundwasserspiegels im Bereich der Grundwasserbrunnen
- Bewässerung, Brauchwasser, Kühlwasser
 - Fassung von geschiebefreiem Wasser
- Binnenschifffahrt
 - Vergrößerung der Wassertiefe
 - Reduktion der Schwankungen der Fahrwassertiefe
 - Reduktion der Strömungsgeschwindigkeit
- Hochwasserschutz
 - leichte Erhöhung der Retentionswirkung im Flussbett
 - Erhöhung der Retentionswirkung von natürlichen Seen
 - Regelung von Wasserständen
- Weitere Zwecke
 - Reduktion der Erosionstendenz durch Verminderung der Fließgeschwindigkeit
 - Sauerstoffeintrag

[3]

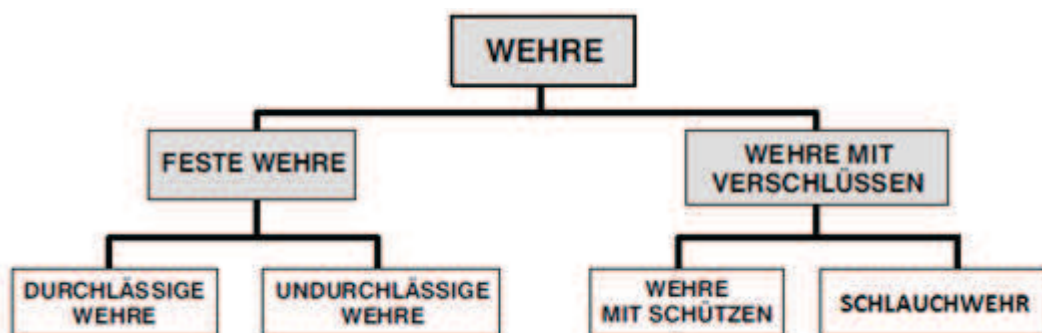
3.2. Nachteile

Durch den Bau von Wehranlagen können auch nachteilige Veränderungen entstehen, die von vornherein bei der Planung bedacht und berücksichtigt werden müssen. Es sind dies:

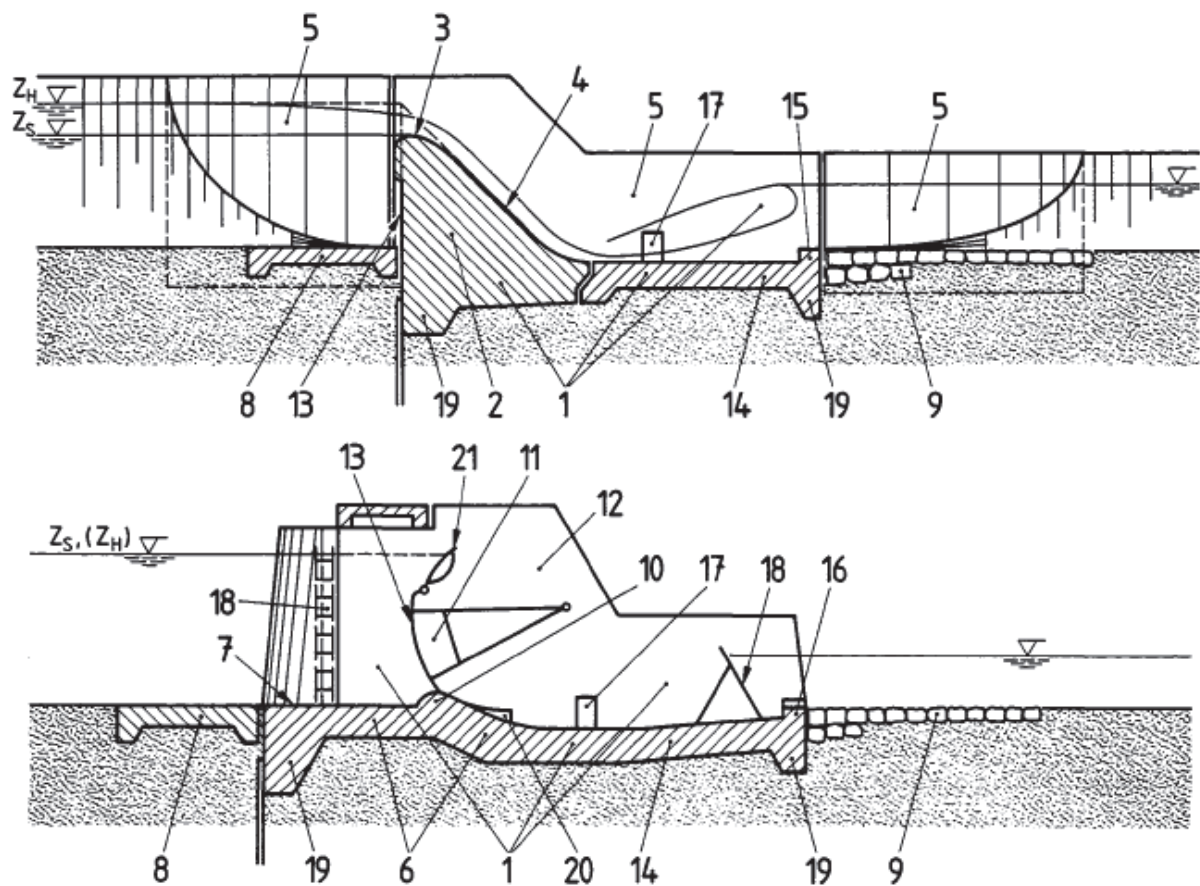
- Anhebung des Grundwasserspiegels
- Wegfall der Überflutungsgebiete, Vorländer, Außenlandschaften
- Störung des Feststofftransportes; Ablagerung von Geschiebe in der Staustufe; Erosion im Unterwasser, falls dies nicht gestaut ist
- Änderung der Flusscharakteristik (z.B. Schilfzonen) und der Dynamik des Flusses
- Störung der Fischwanderung (trotz Fischtrepfen)
- Störung der Umwelt während des Baus
- Kolmatierung: Die Sedimentation der Schwebstoffe "dichtet" die Flusssohle ab und bewirkt eine Störung des Grundwasserhaushaltes (In-/Exfiltration)
- Reduktion der Abbauvorgänge organischer Stoffe durch Reduktion der Turbulenz,
- weniger Sauerstoffeintrag und Wärmeeintrag [3]

3.3. Wehrrarten

Die verschiedenen Wehrrarten sind schematisch in der folgenden Übersicht (Tab. 3.1) dargestellt und der Bauteilenunterschied zwischen festen und beweglichen Wehren nach DIN 4048-1 ist in (Abb. 3.1) abgebildet.



Tab. 3.1 Übersicht über die Wehrrarten [3]



Hierin bedeuten:

- | | | |
|-----------------------|-------------------------|------------------------------|
| 1 Wehrkörper (3.4) | 8 Vorboden (3.11) | 15 Endschwelle (1.49) |
| 2 Staukörper (3.5) | 9 Nachboden (3.12) | 16 Zahnschwelle (1.50) |
| 3 Überlaufkrone (3.6) | 10 Wehrhöcker (3.9) | 17 Störkörper (1.48) |
| 4 Wehrrücken (3.7) | 11 Wehrverschluß (3.22) | 18 Revisionsverschluß (1.53) |
| 5 Wehrwange (3.13) | 12 Wehrpfeiler (3.14) | 19 Sporn (1.61) |
| 6 Wehrschwelle (3.8) | 13 Stauwand (1.37) | 20 Strahlteiler (3.10) |
| 7 Einlaufboden (3.10) | 14 Tosbecken (1.46) | 21 Strahlaufreißer (3.39) |

Abb. 3.1 Unterschied in der Gestaltung nach DIN 4048-1 zwischen festen und beweglichen Wehren [2]

3.3.1 Feste Wehre

Feste Wehre besitzen einen strömungsgünstig geformten Wehrkörper (meistens aus Beton). Von besonderer Bedeutung ist hierbei die Formgebung der Überfallkrone. Feste Wehre zeichnen sich durch eine hohe Betriebssicherheit aus, da keinerlei Steuerung möglich und notwendig ist. Bei steigenden Abflüssen steigt der Wasserspiegel allerdings deutlich über die Höhe der Überfallkrone an. Feste Wehre können in durchlässige und undurchlässige Wehre unterteilt werden [5].

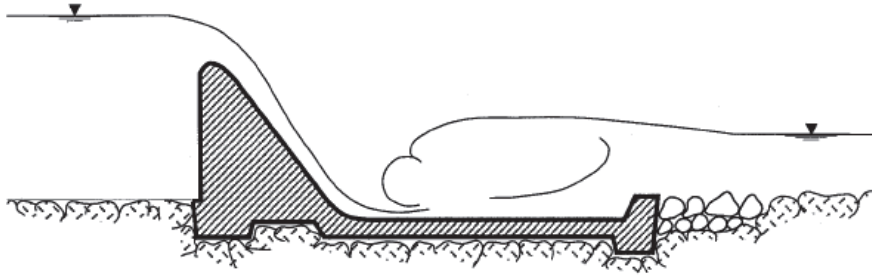


Abb. 3.2 Undurchlässiges Wehr [3]

Die folgenden Abb.3.3 und Abb. 3.4 zeigen zwei Formen von durchlässigen festen Wehren.

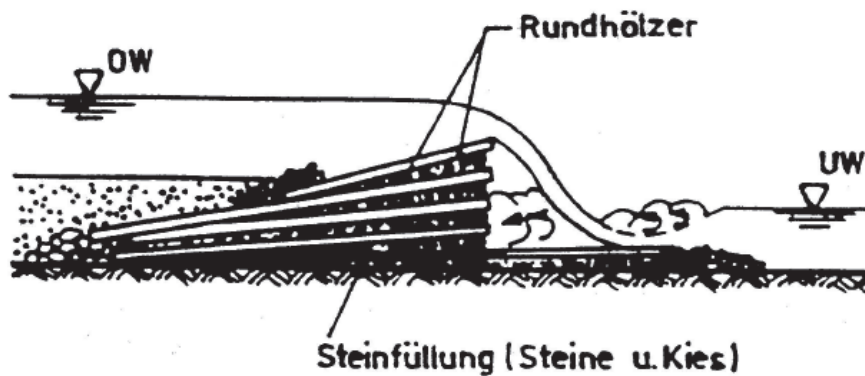


Abb. 3.3 Durchlässiges Wehr aus Rundhölzern und Steinfüllung [3]

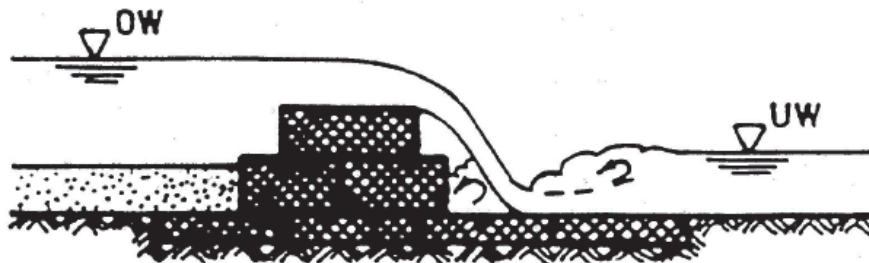


Abb. 3.4 Durchlässiges Wehr aus Steinkörben [3]

3.3.2 Bewegliche Wehre (Wehrverschlüsse)

Bewegliche Wehre sind heute sehr häufig anzutreffen. Sie sind mit Wehrverschlüssen versehen. Im Gegensatz zu festen Wehren kann bei einem beweglichen Wehr ein konstantes Stauziel im Oberwasser gehalten werden. Durch Anheben und Absenken bzw. Drehen der Verschlüsse kann der Abfluss durch die Wehranlage gesteuert werden. Bewegliche Wehre

bedingen einen deutlich höheren Aufwand bei der Errichtung und dem Betrieb der Anlage. Durch die Steuerungsmöglichkeit kann jedoch der Wasserspiegel im Oberwasser des Wehres nach den Erfordernissen eingestellt werden. Hieraus ergeben sich in der Regel erhebliche energie- bzw. wasserwirtschaftliche Vorteile [5]. Die Wehrverschlüsse, vorwiegend Stahlschützen, befinden sich zwischen den Wehrpfeilern (Abb. 3.5), die die Flussbreite in kleinere Abschnitte unterteilen bzw. absperren.

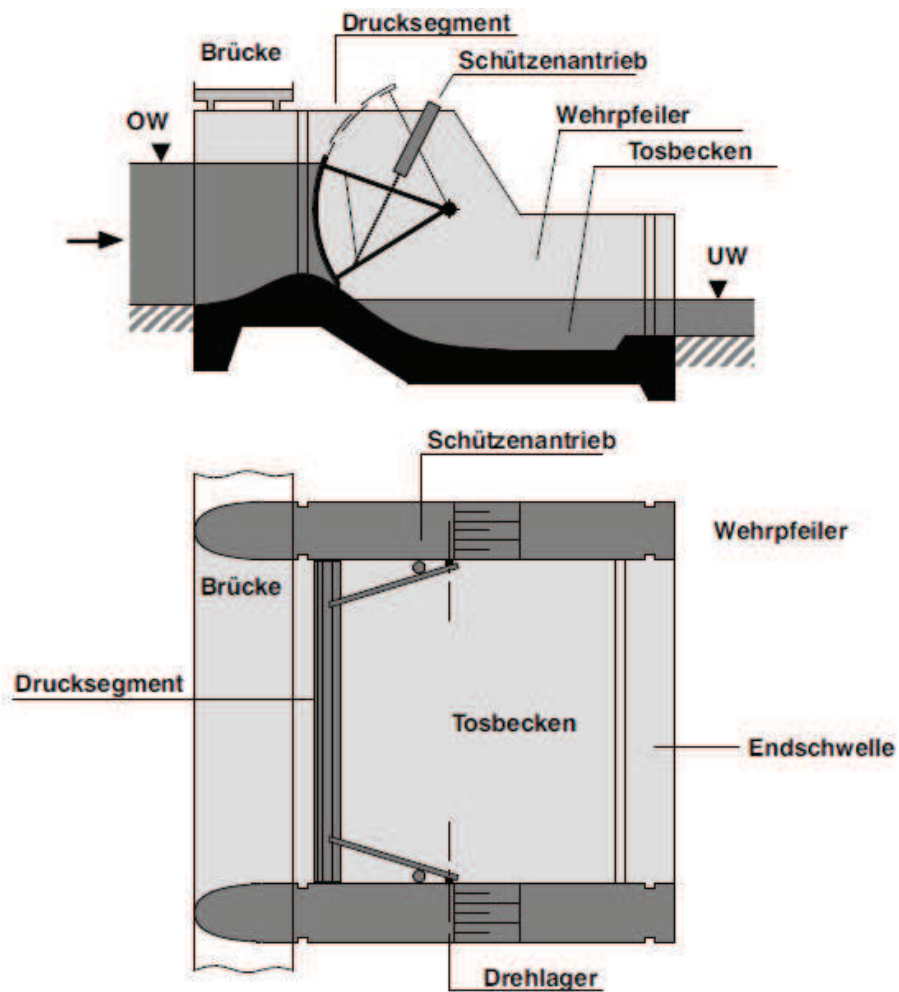
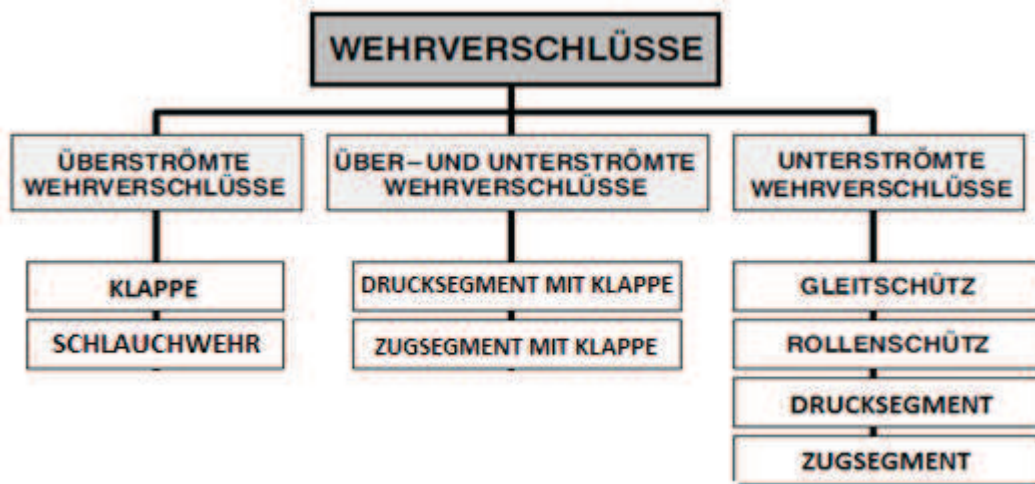


Abb. 3.5 Aufbau eines beweglichen Wehres mit Drucksegmentschützen (Schnitt und Grundriss) [3]

Die Wehrverschlüsse werden grundsätzlich quer zur Fließrichtung eingebaut und sind aus hydraulischer Sicht entweder überströmbar, unterströmbar, sowie solche die über- und unterströmt werden können.



Tab. 3.2 Übersicht der Wehrverschlüsse [3]

3.3.2.1. Überströmte Wehrverschlüsse

Es folgt eine Übersicht von zwei Verschlussstypen, die nur überströmbar sind. Sie werden nach DIN 4048-1 definiert. Dachwehre, Sektorwehre und Trommelwehre werden nicht berücksichtigt, weil sie heute nicht mehr eingesetzt werden, um die aufwendigen Tiefbauarbeiten und die Gefahr von Feststoffablagerung in der Bodenöffnung zu vermeiden, was wiederum das Absenken des Verschlusses behindert.

- **Stauklappe**

„Auf anderen Wehrverschlüssen, Wehrschwelle oder Staukörpern gelagerter, um seine Unterkante drehbarer Wehrverschluss“ [2].

Die Klappe ist im Wesentlichen eine Stauwand, die wegen ihrem Rotationsvermögen im unteren Bereich eine gute Regulierbarkeit aufweist. Sie benötigt keine hohen Aufbauten und hat glatte Pfeilerwände (keine Nischen) [3].

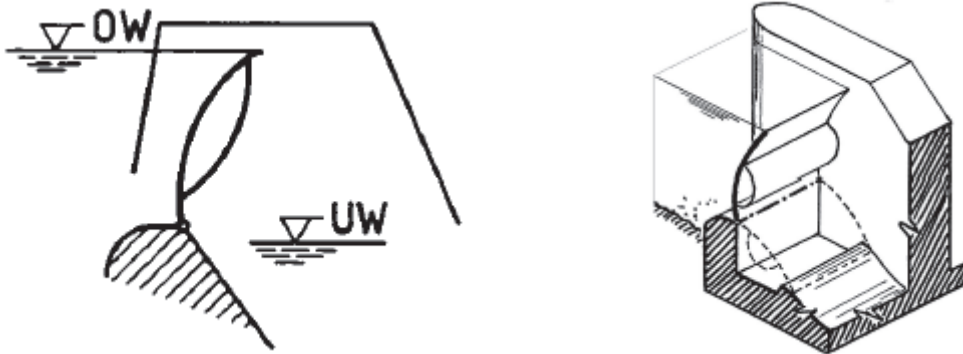


Abb. 3.6 Schematische Ausbildung von Stauklappe

- **Schlauchwehr**

„An der Gerinnensohle verankerter, füllbarer, flexibler Hohlkörper zur Erzeugung eines Staus“ [2].

Schlauchwehre bestehen aus Gummigewebe, die so auf einem festen Wehrkörper verankert wird, dass ein dichter Innenraum, also ein „Schlauch“ entsteht. Dieser Schlauch wird entweder mit Luft oder mit Wasser gefüllt und durch Regulierung der Füllmenge auf eine gewünschte Höhe eingestellt [3].

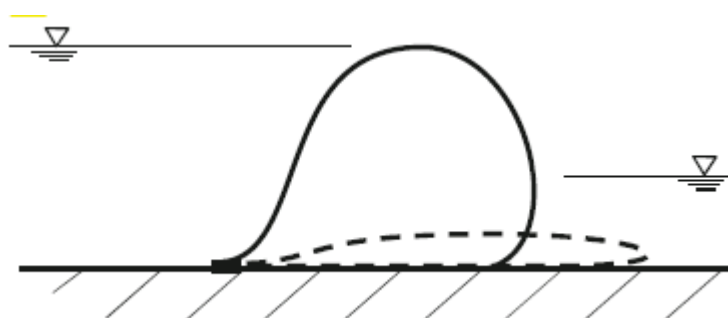


Abb. 3.7 Schematische Ausbildung von Schlauchwehren im gefüllten und umgelegten Zustand [6]

3.3.2.2. Unterströmte Wehrverschlüsse

Vier unterströmte Verschlussarten werden nach DIN 4048-1 definiert. Alle unterströmten Verschlüsse gewährleisten eine freie Geschiebeabfuhrung.

- **Gleitschütz**

„An Wehrpfeilern bzw. Wehrwangen gelagerter in Nischen geführter Wehrverschlüsse“ [2].

Das Gleitschütz ist die einfachste und älteste Form der Verschlüsse. Die Konstruktion und Dichtungen sind technisch sehr einfach und bringen einen geringen Wartungsaufwand mit. Man baut Gleitschützen bei kleinerem Wasserdruck und für geringere Dimensionen.

Ein Wehr mit Gleitschützen erfordert aber Nischen und hohe Aufbauten. Das Hauptproblem sind dabei die hohen Reibungskräfte, die entsprechende Antriebe notwendig machen.

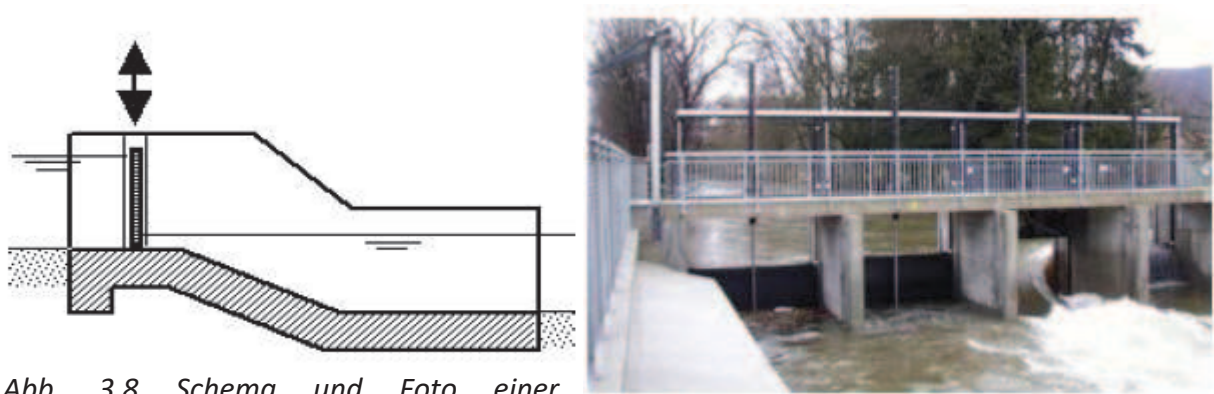


Abb. 3.8 Schema und Foto einer Wehranlage mit Gleitschütz [3]

- **Rollenschütz**

Um die Antriebskräfte zu verringern, wurden aus den Gleitschützen die Rollenschützen entwickelt. Bei ihnen treten im Bewegungsvorgang nur Rollreibungskräfte auf und das führt zu geringeren Hubkräften. Man baut Rollenschützen bei höherem Wasserdruck als bei Gleitschützen [3].

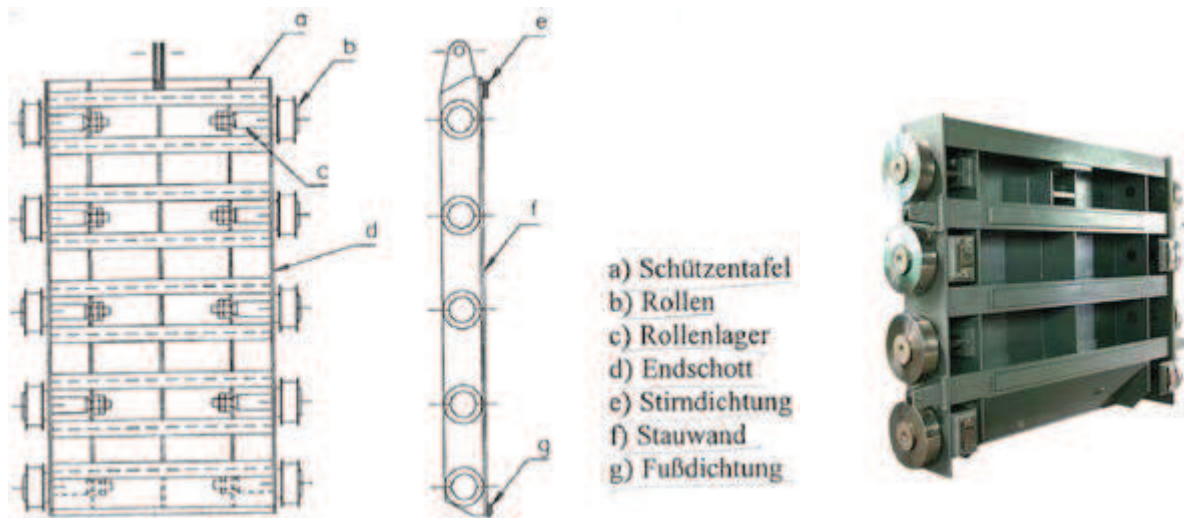


Abb. 3.9 Darstellung des Rollenschützes

Die Vielzahl der Rollenschützen lassen sich nach ihrer Lagerungsart unterscheiden:

- Schütz mit fest eingebauten Rollen 1)
- Stoney-Schütz 2)
- Rollenwagenschütz 3)

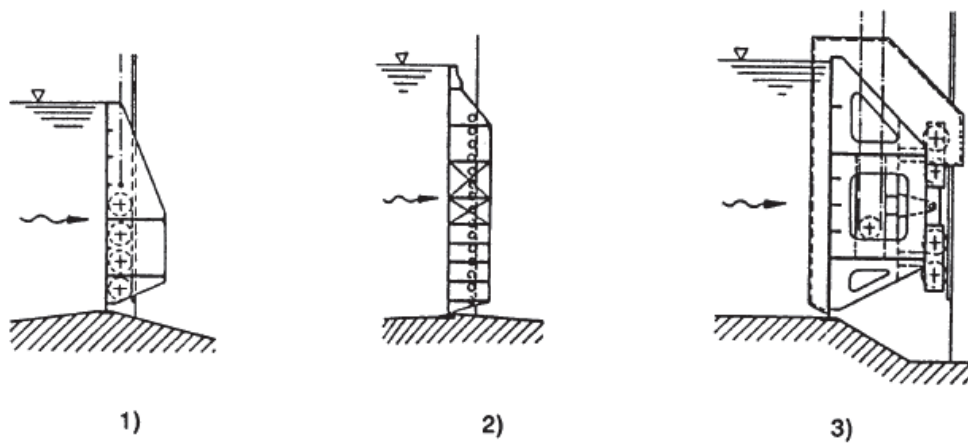


Abb. 3.10 Rollenschützen und ihre Lagerungsarten

- **Drucksegment**

„Segment mit auf Druck beanspruchten Armen“ [2].

Die Stauwand des Drucksegments ist kreisförmig und die auf die Wand wirkenden Druckkräfte resultieren im Drehpunkt des Schützes. Die Resultierende weist somit keine Komponente in der Bewegungsrichtung auf, so dass mit dem Antrieb nur das Schützensgewicht und die an den Dichtungsflächen entstehenden Reibungskräfte überwunden werden müssen.

Beim Drucksegment sind keine Nischen in den Pfeilerwänden und keine hohen Wehraufbauten notwendig. Die Lager sind gut zugänglich und die Dichtungen relativ einfach [3].

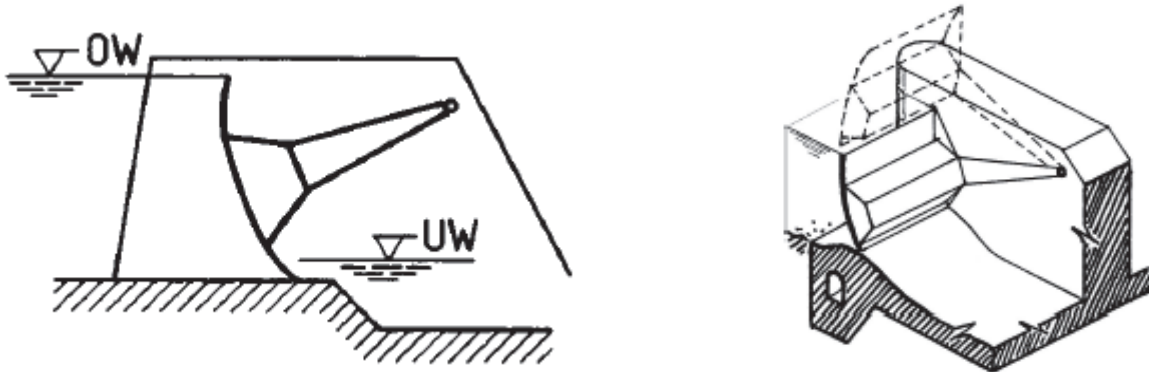


Abb. 3.11 Schematische Durchbildung von Drucksegment

- **Zugsegment**

„Segment mit auf Zug beanspruchten Armen“ [2].

Da die Arme nur auf Zug beansprucht werden, ist es somit auch leichter gebaut. Die Stauwand wird im Gegensatz zum Drucksegment gerade ausgebildet. Somit entsteht eine Komponente um den Drehpunkt, die das Zugsegment schwingungsfällig macht [3].

Zudem liegt der Drehpunkt im Wasser, woraus sich Nachteile für den Unterhalt ergeben (Korrosion, Zugänglichkeit). Um dies zu verhindern, müsste man die Stauwand schräger stellen, was jedoch ein grösseres und schwereres Schütz erfordern würde [3].

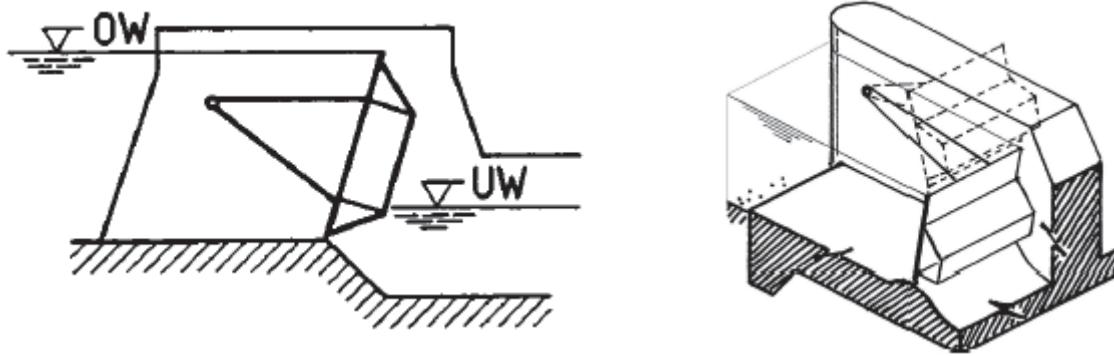


Abb. 3.11 Schematische Durchbildung vom Zugsegment

3.3.2.3. Über- und unterströmte Wehrverschlüsse

Diese Verchlussarten können gleichzeitig über- und unterströmbar werden. Sie sind einteilig oder zweiteilig und werden nach DIN 4048-1 definiert:

„Zweiteiliger Wehrverschluss: Aus zwei Verschlüssen zusammengesetzter Wehrverschluss, z.B. Hakendoppelschütz, Schütz mit Stauklappe, Segment mit Stauklappe“ [2].

Walzenwehre, Haken- und Doppelschütze, Rollschützen mit aufgesetzter Klappe, wie Dreigurtschütze mit Klappe und Kastenschütze mit Klappe, sowie auch Hub-Senkschütze, um die verschiedenen Ursachen entweder heute selten oder nicht mehr gebaut werden. Die Ursachen sind:

- bei Walzenwehre machen die Lager und die Dichtungen tiefe und grosse Nischen und die Ganze Konstruktion ist sehr teuer und schwingungsfällig
- bei Haken- und Doppelschützen sowie Rollschützen mit Klappe liegt ein Teil der Tragkonstruktion unter Wasser , sie benötigen hohe Wehraufbauten sowie Pfeilernischen
- bei Hub-Senkschützen benötigt die ganze Konstruktion hohe Aufbauten und ist schwingungsfällig, Probleme wie Schützenschwingungen treten vor allem bei gleichzeitiger Über- und Unterströmung auf

- **Drucksegment mit aufgesetzter Klappe**

Durch Aufsatzklappen kann die Feinregulierung des Stauzieles und die Sicherheit des Segmentschützes wesentlich verbessert werden. Darüber hinaus wird die Energieumwandlung positiv beeinflusst. Es müssen aber die Segmentarme vor dem Überfallstrahl geschützt werden.

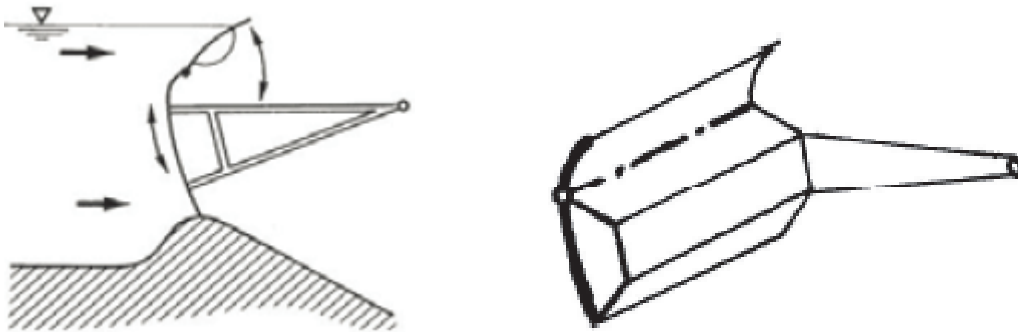


Abb. 3.12 Schematische Durchbildung vom Drucksegment mit aufgesetzter Klappe

- **Zugsegment mit aufgesetzter Klappe**

In diesem Fall liegen die Lager tiefer unter dem Wasserspiegel und können nicht wie bei Drucksegmenten infolge Spritzwasser vereisen. Bei zusätzlichen Aufsatzklappen, anders als bei Drucksegmenten, sind keine konstruktive Schutzmaßnahmen für die Segmentarme gegen den Überfallstrahl notwendig.[7]

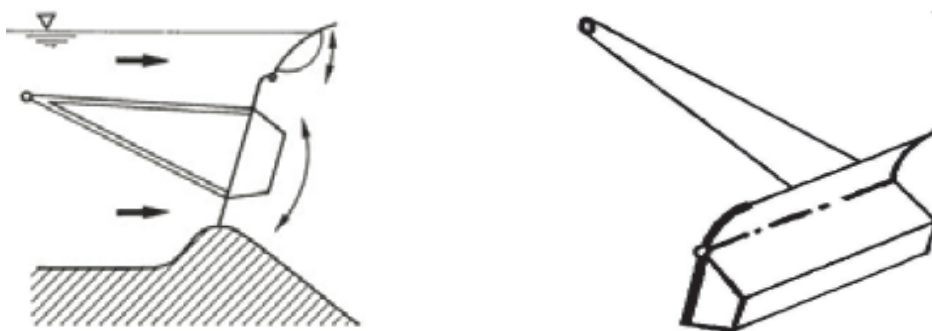


Abb. 3.13 Schematische Durchbildung vom Zugsegment mit aufgesetzter Klappe

3.3.3. Kombinierte Wehranlagen

Bei sehr großen Stauhöhen und Durchflussquerschnitten ist im Allgemeinen die Anordnung eines festen Staukörpers, der sowohl unter- als auch überströmt werden kann. Das ist eine Mischung zwischen einem festen und einem beweglichen Wehr (kombinierte Bauweise) [10].

Die Staubalken werden in der Regel in einer möglichst strömungsgünstigen Form aus Stahlbeton erstellt. Für den oberen Verschluss werden heutzutage fast nur noch Stauklappen und Drucksegmente verwendet. Die unteren Öffnungen werden oft durch Zwischenpfeiler geteilt, um die Dimensionen der unter wesentlich höherem Wasserdruck stehenden Verschlüsse zu begrenzen. [10]

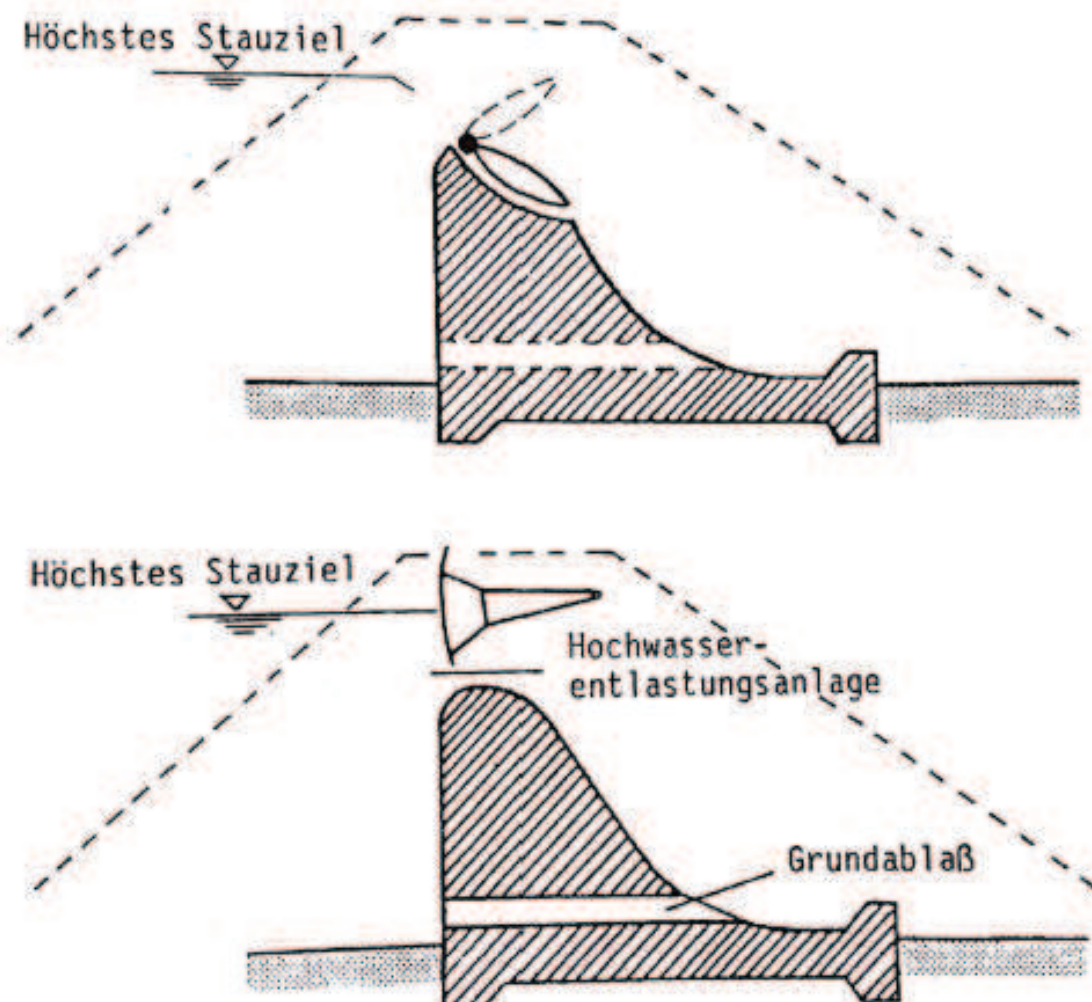


Abb. 3.14 Kombiniertes Bauwerk [Günter P., „Überfälle und Wehre“, 2005]

3.3.4. Notverschlüsse

Damit Unterhaltsarbeiten und Reparaturen an den beweglichen Verschlüssen vorgenommen werden können, sind Notverschlüsse vorzusehen. Da die Arbeiten im Trockenen ausgeführt werden müssen, sind bei kleinem und mittlerem Gefälle sowohl oberwasserseitig als auch unterwasserseitig Notverschlüsse einzusetzen (Abb. 3.15).

Notverschlüsse besitzen keinen eigenen Antrieb. Sie werden mit einem Kran, teilweise mit Mobilkränen eingesetzt.

Bei kleinen Wehröffnungen kann eine einteilige Rollschütze genügen. Bei größeren Öffnungen wird der Notverschluss in Dammbalken aufgeteilt, die aufeinander gesetzt werden.

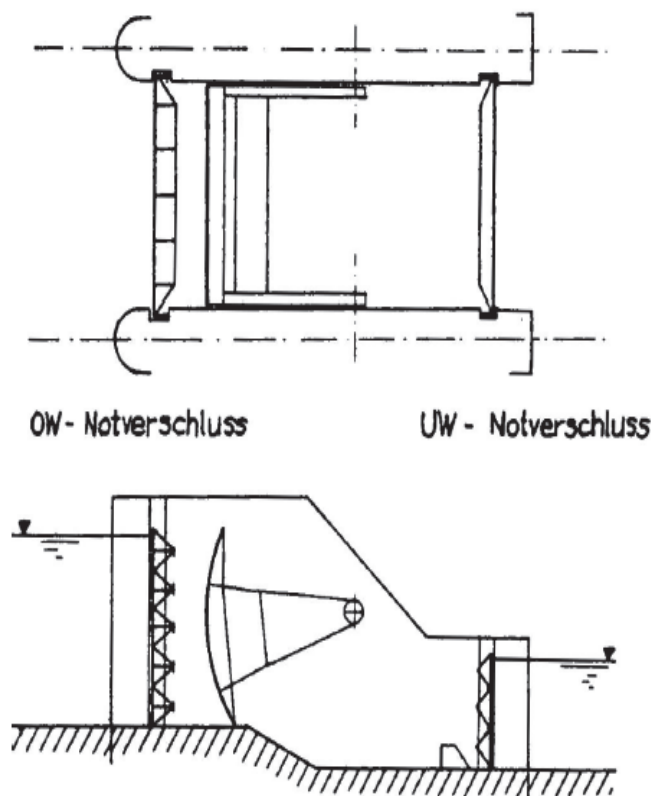


Abb. 3.15 Wehranlage mit eingesetzten Notverschlüssen (Dammbalken) [3]

3.4. Vergleich der Wehrverschlüsse nach Dimensionen und spezifischem Gewicht

Die richtige Wahl von der Art des Verschlusses und dem Anzahl der Wehrfelder, die von der lichten Weite sowie von der Stauhöhe abhängt, spielt eine wichtige Rolle im betriebssicheren und wirtschaftlichen Aspekt.

Verschlusstyp	Lichte Weite L	Stauhöhe H
Stauklappe	$L \leq 80 \text{ m}$	$H \leq 6 \text{ m}$
Gleitschütz	$L \leq 10 \text{ m}$	$H \leq 15 \text{ m}$
Rollenschütz	$L \leq 15 \text{ m}$	$H \leq 15 \text{ m}$
Segmentwehr	$L \leq 40 \text{ m}$	$H \leq 25 \text{ m}$

Tab. 3.3 Dimensionen von Wehrverschlüssen [3]

Wenn es möglich ist, wird man Wehrverschlüsse wählen, die sich mit geringer Antriebskraft auszeichnen, was wiederum weitgehend vom spezifischen Gewicht hängt. In Tab 3.4. ist das spezifische Gewicht für die verschiedenen Wehrarten angegeben. Mit dieser Tabelle und dem betreffenden Stahlpreis können die Kosten für ein projektiertes Wehr überschläglich abgeschätzt werden [3].

Wehrtart	Staufläche in m^2	Spezifisches Gewicht in kg/m^2 Staufläche
Stauklappe	10 – 100	200 – 400
	100 – 150	400 – 500
	> 150	< 1000
Segmentwehr	einfach	250 - 340
Drucksegmentwehr	mit Klappe	620
Zugsegmentwehr	mit Klappe	400 - 600

Tab. 3.4 Vergleich des spezifischen Gewichts für verschiedene Wehrarten [3]

3.5. Hubeinrichtungen und Antriebe von Verschlüssen

Nach Hubmittel eines Verschlusses kann man zwei Antriebstypen unterscheiden:

- Mechanische Antriebe: Drahtseile, Gall'sche Gelenkketten, Gliederketten, Triebstockstangen, Zahnstangen, Spindeln [1]
- Ölhydraulische Antriebe: Kolbenstangen, Hubstangen [1]

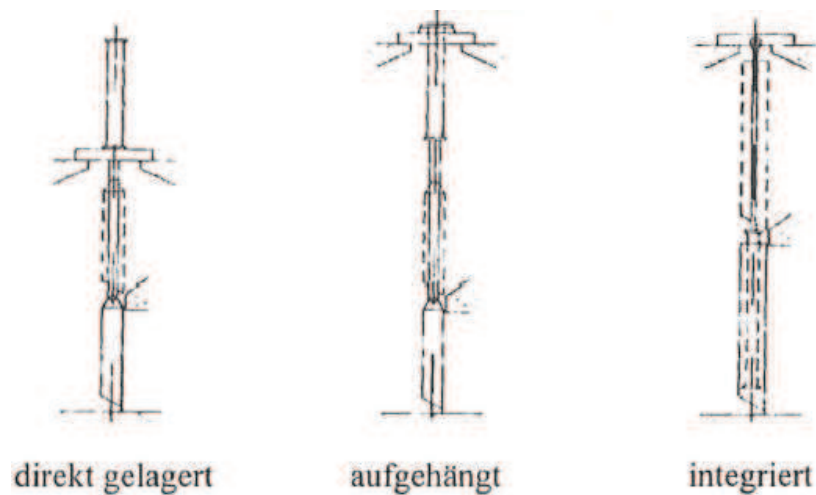


Abb. 3.14 Anordnung der Hubhydraulik bei Hubverschlüssen

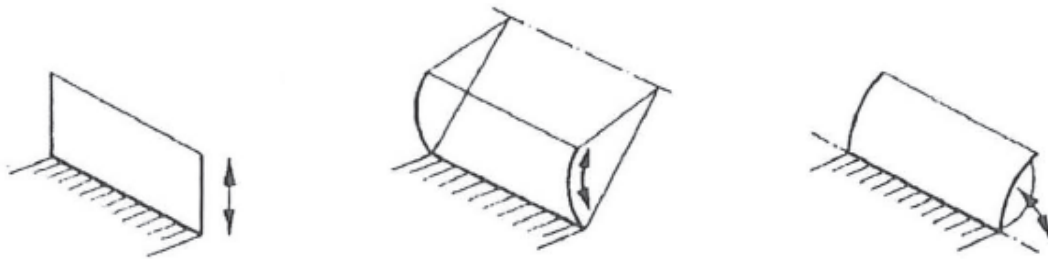
Die Anordnung der Hydraulik bei Klappen und Segmenten ist in Kapiteln 4 und 5 eingehender dargestellt worden.

3.6. Abdichtungsarten und Anforderungen

Dichtungen sind benötigt um den Verlust von Wasser zu verhindern. Die fehlende Funktionstüchtigkeit von Dichtungen, ist eine Hauptquelle für Schützenschwingungen und Schützengeräusch. Diese Undichtheiten führen bei großen Druckhöhen zu Langzeitschäden am unterwasserseitigen Beton sowie zu unterwasserseitiger Korrosion. Deshalb muss auf die adäquate Ausbildung der Dichtung großen Wert gelegt werden. Abhängig von der Materialart kann zwischen einigen verschiedenen Arten von Dichtungen unterschieden werden [13].

- Gummidichtungen sind die am häufigsten angewendete Dichtungsart. Durch die hohe Zähigkeit und die große Elastizität kann die Dichtung leicht verarbeitet werden.

- Kunststoffdichtungen weisen die gleichen Eigenschaften wie Gummidichtungen auf.
- Metalldichtungen werden für Gleitdichtungen, wie sie bei Gleitschützen anzutreffen sind, angewendet.[13]



Gleit- u. Rollschütz

Segment

Klappe

Abb. 3.15 Befestigung der Dichtung am Verschlusskörper entlang der Dichtungslinien [1]

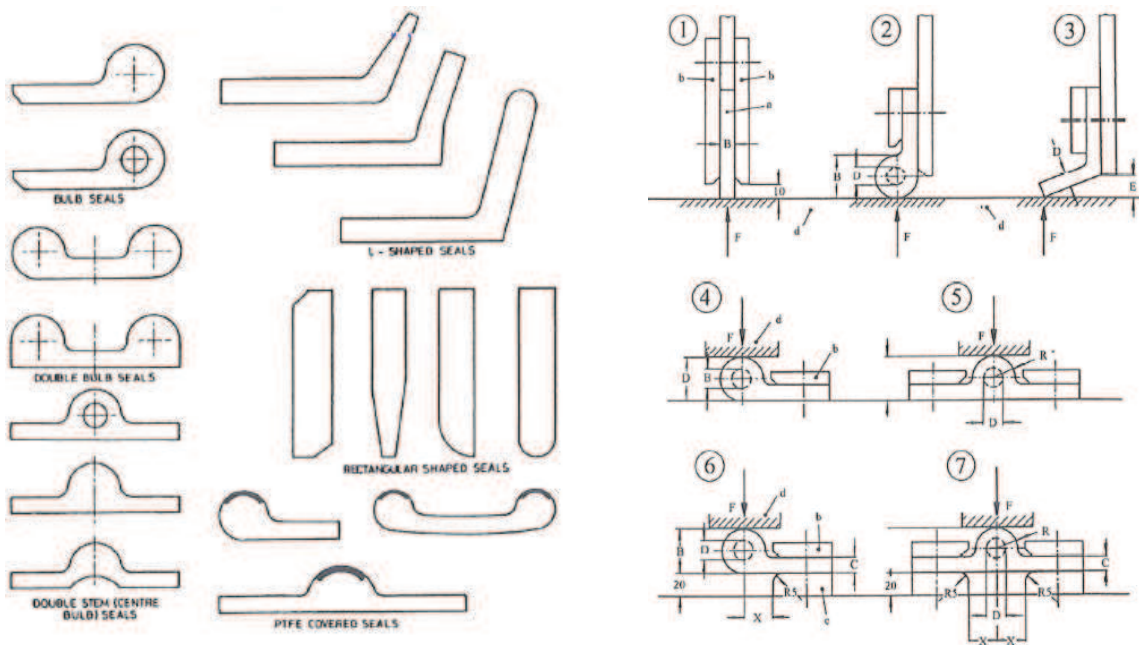


Abb. 3.16 Typen von häufig angewandten Dichtungsprofilen und Dichtungskonstruktionen [1]

Verschlusstyp	Wasserdruck	Sohldichtung	Seitendichtung	Stirndichtung
Rollenschütz	niedrig	1, 2	2, 3, 4	4, 6
	hoch	1	6	4, 7
Gleitschütz	niedrig	1, 2	2, 3, 4	4, 6
	hoch	1	6	4, 7
Segment- schütz	niedrig	1	3	(4, 6)
	hoch	1	6	(4, 7)
Klappe			3, 4, 6	

Tab. 3.5 Zuordnung Dichtungskonstruktion zu Verschlusstypen [1]

Heute wird vor allem Neopren zur Abdichtung verwendet, da es die notwendigen Eigenschaften für die Abdichtung aufweist, wie Bruchfestigkeit, Zerreißfestigkeit, niedrige Wasseraufnahme, geringe bleibende Verformungen, entsprechender Widerstand gegen UV-Licht und Antioxydantien. Normalerweise werden Dichtungen mit einer Shore-Härte von 65 mit einer Toleranz von ± 5 definiert. Bei kleinerer Härte steigt der Reibungskoeffizient zwischen der Dichtung und der Stahlgleitflche [12].

Folgende Anforderungen werden von der Praxis an eine Dichtung gestellt [13]:

- Einfache konstruktive Durchbildung
- Zugänglichkeit für Kontrollzwecke
- Niedriger Reibungswiderstand
- Maximale Bewegungsmöglichkeit des Systems
- Nachstellbarkeit sowie eine konstruktive Ausbildung mit möglichst wenig Ecken
- Geringe Erhaltungskosten
- Leichter Tausch der Dichtung

Außerdem sollen folgende strömungstechnischen Anforderungen besonders hervorgehoben werden: [13]

- Undichtigkeiten führen leicht zu Schwingungen. Diese Undichtigkeiten können durch einen ständig wirkenden Anpressdruck vermeiden werden.
- Umstrmt das Wasser Dichtungen während des Öffnens oder Schließens von Schtzen, so ist auf die einwandfreie Führung zu achten.
- Dichtungen sollen so ausgebildet sein, dass sie nicht aus Teilen bestehen, die bei wechselndem Strömungsdruck in Schwingungen geraten.
- Sohlensatzdichtungen sind scharfkantig auszubilden, so dass sich der Wasserstrahl vollständig ablösen kann. In *Abb. 3.17* sind einige Beispiele korrekt ausgeführter Sohlendichtungen dargestellt.

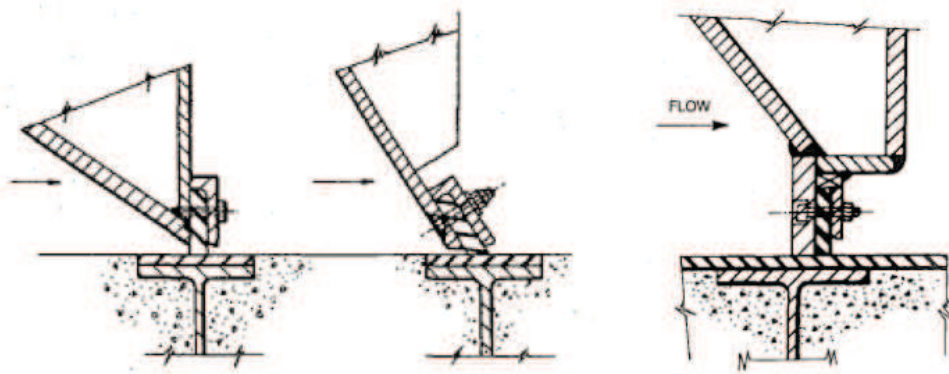


Abb. 3.17 Typen korrekt ausgeführte Sohlendichtungen [12]

Da eine Gummidichtung viele der angeführten Anforderungen erfüllt, wird sie sehr häufig für die Abdichtung verwendet. Bei der Wahl der Härte der Gummimischung hat der, im Betrieb herrschende Wasserdruck, das gewählte Profil und die unterschiedlichen Wege, auf denen die Dichtung ihre Funktion gewährleisten muss, den wesentlichen Einfluss.[12]

3.7. Korrosionsschutz

Korrosionsschutz ist ein wesentlicher Faktor für die Langlebigkeit von Konstruktionen aus Metall. Die Korrosionserscheinungen treten durch Kontakt mit Luft, Wasser und Erde auf. [13]

Für die Dauerhaftigkeit der Schütze ist eine entsprechende Überprüfung der Schweißnähte unerlässlich. Weiters muss die Beschichtungsdicke überprüft werden, um die geforderten Normen einzuhalten. [13]

Für die Verarbeitung der Konservierungsmittel ist eine entsprechend vorbereitete Oberfläche für den Haftungsverbund notwendig, wobei je nach Güte des Entrostungsgrades verschiedene Verfahren zur Entrostung angewendet werden, wie eine Entrostung von Hand, maschinell, mittels Flammstrahlen oder durch Sandstrahlen. Danach müssen die zu behandelnden Oberflächen absolut trocken sein. [13]

Als Anstrichmaterialien sind nur solche Mittel geeignet, die ausreichende Beständigkeit gegen Wasser oder Feuchtigkeit aufweisen:

- Bituminöse Materialien

- Chlorkautschukmaterialien
- Epoxymaterialien
- Materialien aus Polyurethan, Polyester oder Vinyl
- Neoprene
- Metallstaubfarben
- Kombinationen der verschiedenen Typen

Eine weitere Möglichkeit des Korrosionsschutzes bildet das Feuerverzinken. Da hierbei die Teile in geschmolzenes Zink eingetaucht werden müssen, kann dieses Verfahren nicht für ein gesamtes Schütz angewendet werden, Das Verbindungsmittel muss ebenfalls verzinkt sein, da ansonst Korrosion auftreten wird [13].

Als andere Variante kann der kathodische Schutz berücksichtigt werden. Der kathodische Schutz ist eine Technik, bei der die Korrosionsrate metallischen Struktur durch Schaffung eines stationären Zustandes oder durch Veränderung des elektrischen Korrosionspotentials des Metalls zu einem elektronegativen Zustand reduziert werden soll [12].

Wenn zwei artungleiche Metalle elektrisch verbunden sind und sich in einer Elektrolytlösung befinden, wie z.B. Wasser, besteht eine elektrische Verbindung in der Flüssigkeit und dem Metall, so dass Anionen über das Wasser zur Anode fließen und sich Elektronen von der Anode zur Kathode über die metallische Verbindung bewegen. Die Korrosionsschutzrate hängt von der Menge des elektrischen Flusses, der elektromagnetischen Energie und dem Widerstand des Kreislaufes ab [12].

Die Anwendung des kathodischen Schützes ist theoretisch relativ einfach, praktisch allerdings weit komplizierter. Wenn der Korrosionsschutz nur Teile einer Struktur abdeckt, kann es zu einer vermehrten Korrosion der nicht geschützten Teile kommen [12].

Die anzulegende Stromstärke ist vom Zustand und Bestandteilen des Wassers abhängig. Dieses Verhältnis wird in *Tab. 3.6* dargestellt.

Zustand des Wassers und Bestandteile	Stromstärke [mA/m ²]
Fließendes Süßwasser	55-65
Tosbecken, bei turbulentem Abfluss	55-165
Salzwasser	55-300
Verschmutztes Wasser an Flussmündungen in das Meer	600-2000

Tab. 3.6 Stromstärken für den kathodischen Korrosionsschutz, [12]

3.8. Anforderungen an Stahlwasserbauten

Die allgemeine Anforderungen werden nach DIN 19704-2 definiert.

„Stahlwasserbauten müssen mit Rücksicht auf ihre Funktion einfach, robust und betriebssicher konstruiert werden. Für Stahlkonstruktionen ist eine Nutzungsdauer von 70 Jahren, für Maschinenteile und deren elektrischer Ausrüstung von 35 Jahren anzusetzen; ausgenommen hiervon sind Verschleißteile. Bei der Auslegung der Gesamtanlage, und insbesondere der Maschinen- und Elektrotechnik, sind die Erkenntnisse und Ergebnisse der gemäß Maschinenrichtlinie anzufertigenden Gefahrenanalyse umzusetzen.

Bei der Formgebung der Stahlkonstruktion sowie Art und Konstruktion der Dichtungen sind insbesondere die hydrodynamischen Einwirkungen zu beachten.

Einer möglichen Kavitation ist durch besondere Maßnahmen, wie Formgebung, Belüftung und dergleichen zu begegnen.

Zur Feinregelung des Oberwasserstandes und zur Abfuhr von Eis und Geschwemmsel sollten möglichst überströmbare Verschlüsse gewählt werden“ [8].

4. Entwurfsgrundlagen von Drucksegmenten

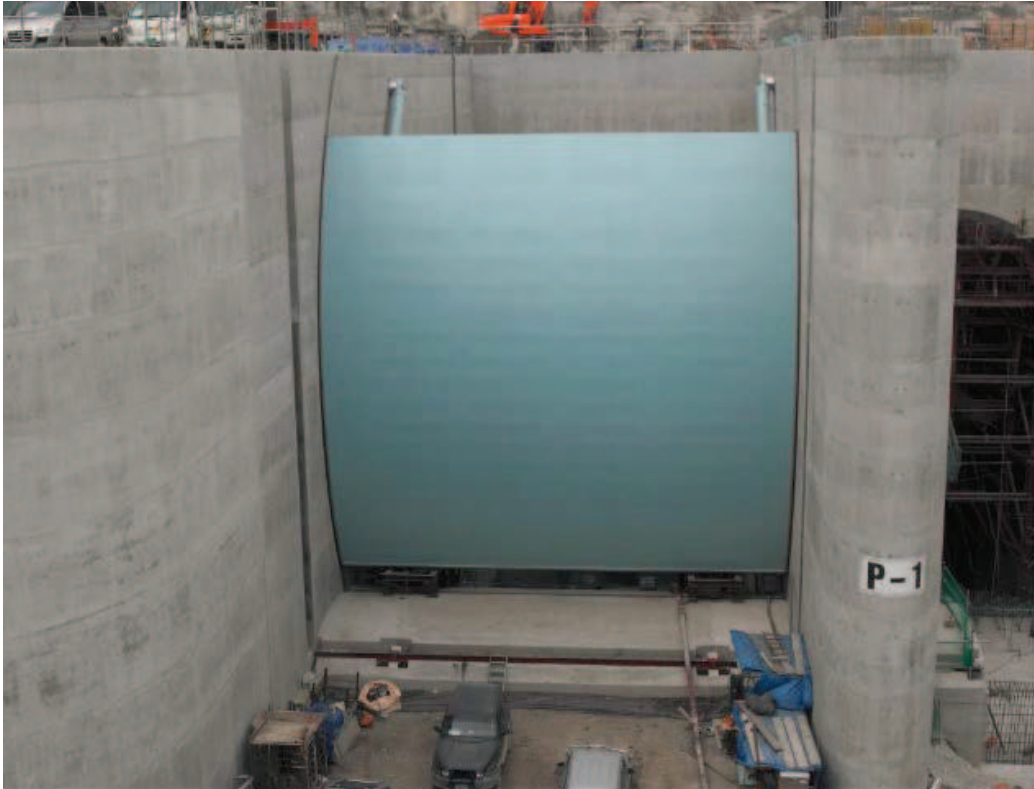
Die heute gängigste Typus von Wehrverschlüssen ist das Drucksegmentschütz, meistens ergänzt durch eine Aufsatzklappe zur Feinregulierung des Stauspiegels [9]. Die Drucksegmente werden für die wirtschaftlichste und normalerweise die geeignetste Art von Wehrverschlüssen, für Kontrolle der Überfallwehre, wegen ihrer Vereinfachung, geringeres Gewichtes und niedriger Kapazitätsanforderungen des Hebezeuges, gehalten. Die Wartungsarbeiten sind auch sehr einfach, da die ganze Konstruktion aus dem Wasser gedreht werden kann.

4.1. Besonderheiten

Das Drucksegment ist ein Segment eines Zylinders, befestigt auf radialen Armen, die sich um den Drehzapfen, der an den Pfeilern verankert wurde, drehen. Der Ablauf des Überlaufes wird durch Anheben oder Absenken des Schützes reguliert. Beim Drucksegment liegen die Segmentarme und Lager auf der Unterwasserseite, werden also auf Druck beansprucht. Die Blechhaut des Verschlusses ist kreiszylindrisch geformt. Eine Besonderheit beim Drucksegment ist, dass die Segmentarme auf Druck und die Wehrpfeiler im Bereich der Kräfteintragung auf Zug beansprucht werden. Dies bedingt eine zusätzliche Pfeilerbewehrung hinter dem Drehgelenk zur Rückverankerung der aufzunehmenden Kräfte [7].



Abb. 4.1 Die Drucksegmente des Staudammes Yacyreta am Fluss Parana [25]



Segmentschütz - Wasserseite



Abb. 4.2 Segmentschütz – Luftseite [26]

4.2. Gestaltung eines Drucksegments

Die Konfiguration für das Standarddrucksegment ist ein Resultat von vielen praktischen und theoretischen Untersuchungen von Alternativen und mehr als 60 Jahre Planung und praktische Erfahrung mit Bau, Betrieb und Wartung. Im allgemeinen ist es die einfachste und wirtschaftlichste Konfiguration eines Verschlusses für die meisten Anwendungen.

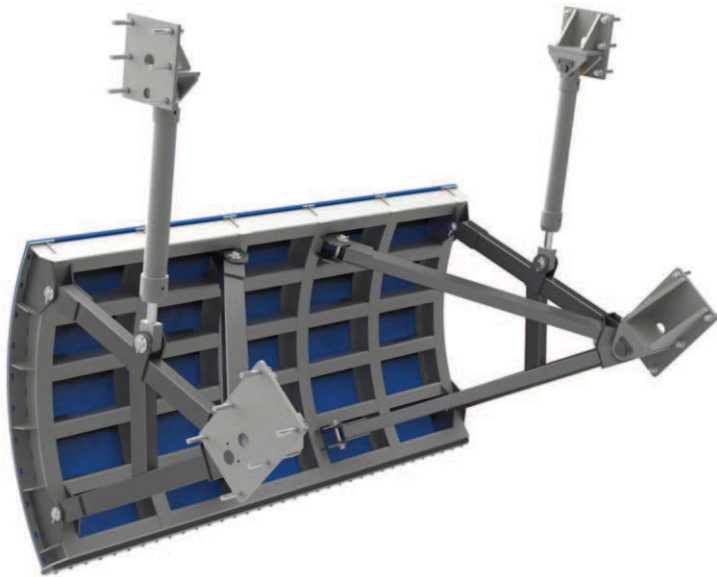


Abb. 4.3 Konstruktionsdarstellung eines Segmentschützes [14]

4.2.1. Strukturelemente und Größenbestimmung

- Hauptkomponenten des Segmentschützes

Die Hauptelemente eines herkömmlichen Segmentschützes sind Stauwand, Horizontalträger, Stützarme und Drehlager (Abb. 4.3). Die Stauwand, die eine zylindrische Staufläche bildet, besteht aus einer Blechhaut, die aus gekrümmten Querrippen versteift und unterstützt ist. Strukturell wirkt die Blechhaut zusammen mit den Querrippen (üblicherweise strukturelle T-Stücke), um die Stauwand zu bilden. Die Stauwand wird von den Horizontalträgern, die die Schützbreite überspannen, unterstützt. Die stromabwärts Kante jeder Rippe ist mit dem stromaufwärts Flansch an der Horizontalträger befestigt. Die Horizontalträger sind durch die Stützarme unterstützt. Die Stützarme bestehen aus Radialstreben oder Strebarne und Aussteifglieder, die an dem Drehlager, das zum Pfeiler durch die Zapfenträger verankert ist, zusammenlaufen. Die Stützarme können parallel zu den Fläche des Pfeilers (unterstützt den Horizontalträger an dessen Enden) oder geneigt an der Fläche des Pfeilers angeordnet werden. Das Drehlager ist das Gelenk, wo das Segmentschütz sich dreht [11].

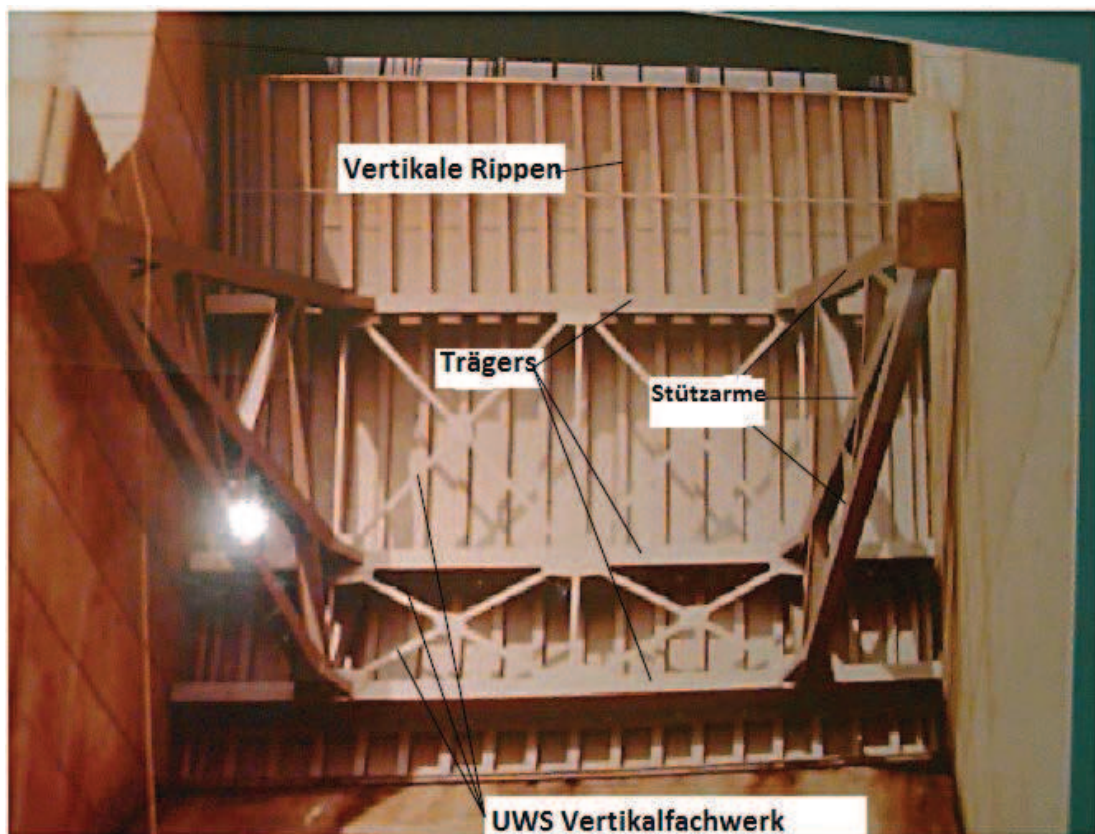
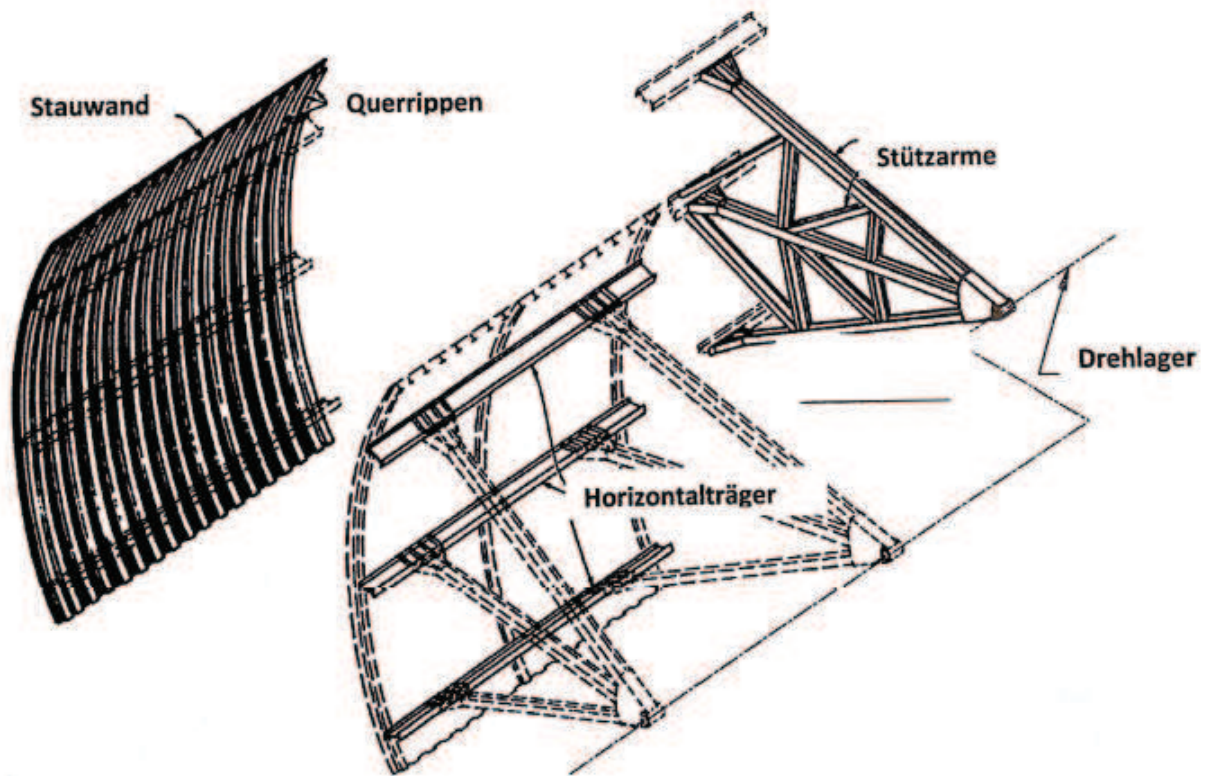


Abb. 4.4 Komponenten des Segmentschützes [11]

Am Drehpunkt des Segmentes ist die konzentrierte Last aus Wasserdruck über den Lager auf den Lagerträger und von dort in den Beton weiterzuleiten. Hierbei unterscheidet man im allgemeinen folgende Hauptarten der Kraftübernahme:

- Das Lager des Schützes stützt sich auf eine Betonkonsole ab.
- Der eigentliche Lagerzapfen ist im Pfeilerbeton eingespannt und von Bewehrung umgeben.
- Ein Lagerträger wird durch vorgespannte Zugstangen oder Spannkabel an die Pfeiler angeschlossen [13].

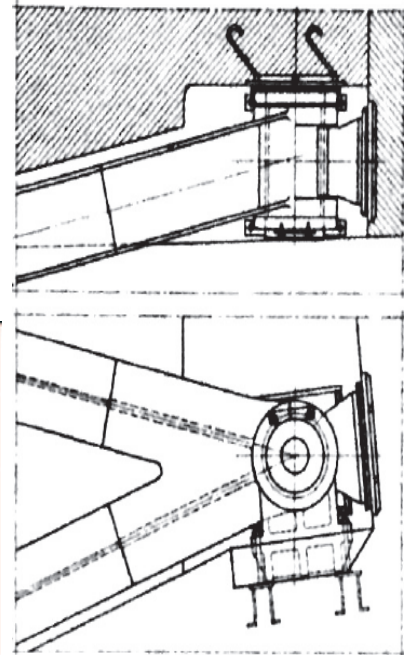


Abb. 4.5 Drehlager eines Segmentes (bridgestes.com) ebenfalls schematische Darstellung im Drauf- und Ansicht

- Größenbestimmung des Segmentschützes

Die Dimensionierung des Verschlusses ist ein wichtiger erster Schritt in dem Entwurfsprozess. Die Verschlussgröße wirkt sich auf andere Projektteile, Projektkosten, Betrieb und Wartung des Projektes aus. Jedes Projekt ist einzigartig und sowie die Verschlussgröße als auch die Form sollen auf einer sorgfältigen Untersuchung des Projektes als Ganzes bestimmt werden. Die beste Alternative ist nicht unbedingt ein Verschluss mit dem leichtesten Gewicht-Größen-Verhältnis [11].

- *Verschlussgröße* – Der hydraulische Techniker begründet im Prinzip den Grenzparameter für die Höhe und Breite, Innerhalb dieser Grenze sollen verschiedene Höhe-zu-Breite-Verhältnisse untersucht werden, um die am besten geeignete Verschlussgröße für das Projekt zu finden. Der Statiker soll sich eng mit dem Wasserbauingenieur bei der Bestimmung der grundlegenden Anforderungen für Größe und Form koordinieren. Die

Größe, die Form und das Rahmensystem des Verschlusses werden so ausgewählt, dass die Gesamtkosten für den Verschluss minimal sind [11].

- *Verschlussbreite* – Sie wird aufgrund der Faktoren wie maximal erwünschte Breite von Monolithen, die Länge der Hochwasserentlastung, Brückenspannweite, Strömungsbelastung und Belastungen auf dem Lager und Verankerungen bestimmt. Es ist vorteilhaft hohe Schütze anstatt niedrige Schütze für eine gegebene Belastung zu verwenden. So wird die gesamte Überfallbreite reduziert, was zu einem wirtschaftlicheren Überfallbauwerksgröße führt [11].
- *Verschlussradius* – Der Stauwandradius ist normalerweise gleich oder größer als die gesetzte Höhe des Verschlusses [11].
- *Lage des Drehlagers* – Es ist im Allgemeinen empfohlen, das Drehlagers sich über der maximalen Hochwasser Oberfläche befindet, um den Kontakt mit schwimmendem Eis und Schmutz sowie das Untertauchen der Betriebsteile zu vermeiden [11].
- *Lage der Betriebsausrüstung* – Der Typ und die Lage der Hebezeuge des Verschlusses können eine bedeutende Wirkung auf die Verschlusskräfte ausüben, wenn der Verschluss durch dessen Bewegungsbereich agiert. Die beide Hebeseysteme, die bei Segmenten verwendet werden, sind die Seilzugsysteme und die hydraulischen Hebeseysteme [11].

4.2.2. Hubeinrichtungen

Betriebseinrichtungen für Verschlüsse können entweder elektromechanisch oder ölhydraulisch betrieben werden. Neben dem Antrieb spielen die Hubgeschwindigkeit und die Größe der Hub- bzw. Senkkräfte für den Betrieb eine entscheidende Rolle.

4.2.2.1. Elektromechanische Hubeinrichtungen

Ein einzelner Motor, der mit einem Getriebe über Stangen verbunden ist, stellt die übliche Antriebsmethode dar. Für den manuellen Antrieb besteht die Möglichkeit, die Steuerung durch Betätigung einer Kurbel beim Motor sicherzustellen. Das Verschließen bzw. Öffnen der Verschlussorgane erfolgt dabei über zwei Seile. Für den Fall, dass ein Seil reißt, muss das Schließen mit dem zweiten erfolgen können. Statt den Seilen können auch Ketten verwendet

werden. Um die Betriebssicherheit weiter zu steigern, kann ein zweiter Motor angeordnet werden. [12]

Die Seile oder Ketten können für den Betrieb entweder ober- oder unterwasserseitig montiert werden. Der Nachteil der oberwasserseitigen Verankerung mit einem Seil ist, dass es Kontaktpunkte mit der auf die Stauebene aufgeschweißten Verschleißplatte gibt und sich zwischen dem Seil und der Verschleißplatte Ablagerungen anlegen können. Ein weiterer Nachteil ist, dass sich das Seil während dem größten Teil seiner Lebensdauer unter Wasser befindet. Diese Variante wird trotz ihrer Nachteile oftmals angewandt, da die Situierung der Antriebseinheit einfacher zu realisieren ist. [12]

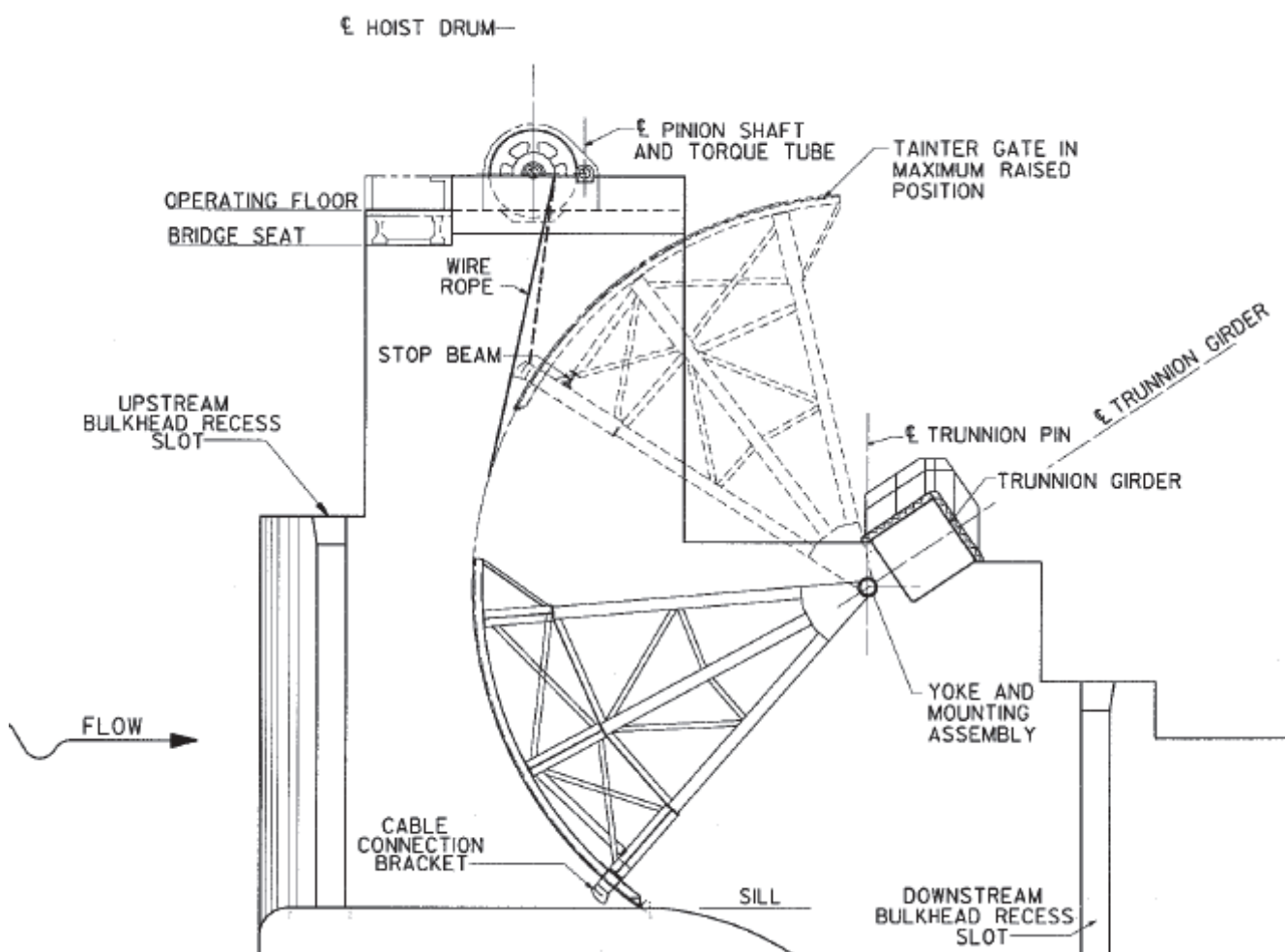


Abb. 4.6 Beispiel für Windwerk mit Seilwinde [11]

4.2.2.2. Ölhydraulische Hubeinrichtungen

Ölhydraulischer Antrieb von Schützen erfolgt in der mittleren vertikalen Achse, wohin gegen bei Segmentverschlüssen die Zylinder auf beiden Seiten angeordnet werden. Die beiderseitige Situierung schafft eine flexiblere Anordnung der Maschineneinheit für den Betrieb, die Synchronisierung der Motoren erfolgt über einen Ringservomotor, der unter unausgeglichene hydraulischen Bedingungen betrieben werden, wie bei einer teilweisen Öffnung, muss der Betrieb durch einen hydraulischen Servomotor erfolgen. Dabei können schwankende und variable hydrodynamische Kräfte auf den Verschluss wirken. Um Schützenschwingungen zu verhindern, stehen der Kolben damit die Hydraulikflüssigkeit unter Druck und zwar während des Öffnungs- und Schließvorganges. Bei großen Druckhöhen und damit großen Fließgeschwindigkeiten muss die Schließgeschwindigkeit kontrolliert werden, um die auftretenden Sogkräfte vor Beschleunigung des Schließvorganges zu hindern [12].

Schützen müssen während des Betriebes einen bestimmten Öffnungsgrad über längere Zeit halten und eine weitere Öffnung ist oft kritisch. Die Servomotoren werden benötigt, um den Druck über eine Zeitspanne zu halten, auch wenn die Pumpen nicht in Betrieb sind. Dies wird mit einem Hydraulikspeicher sichergestellt. Wenn der Druck in dem Hydraulikspeicher unter einen gewissen Wert abfällt, startet die Pumpe automatisch und stellt den Druck wieder her.

Für den Fall, dass ein Ölleck im Hydraulikzylinder bei der Zylinderdichtung auftritt, wird durch die Fortdauer des Austritts die Dichtung zusehends poröser. Durch Verlust des Drucks kommt es bei Zwischenstellungen zu einem automatischen Schließen der Schützen. Um über die genaue Schützenstellung Bescheid zu wissen, werden Positionsindikatoren eingebaut. Ein verlässliches Hydrauliksystem sollte aus folgenden Teilen bestehen [12].

- Einlaufdüse in den Tank
- Zwei manuell operierende Pumpen
- Ein Überdruckventil, das mit einem Auslassventil kombiniert werden kann
- Pumpenwerke aus Edelstahl, die mit Anschlussklemmen mit geringen Toleranzen ausgebildet sind, vor allem in erdbebengefährdeten Gebieten
- Auslegung der Schlauchleitungen mit einer Reserve von 50% über dem Betriebsdruck

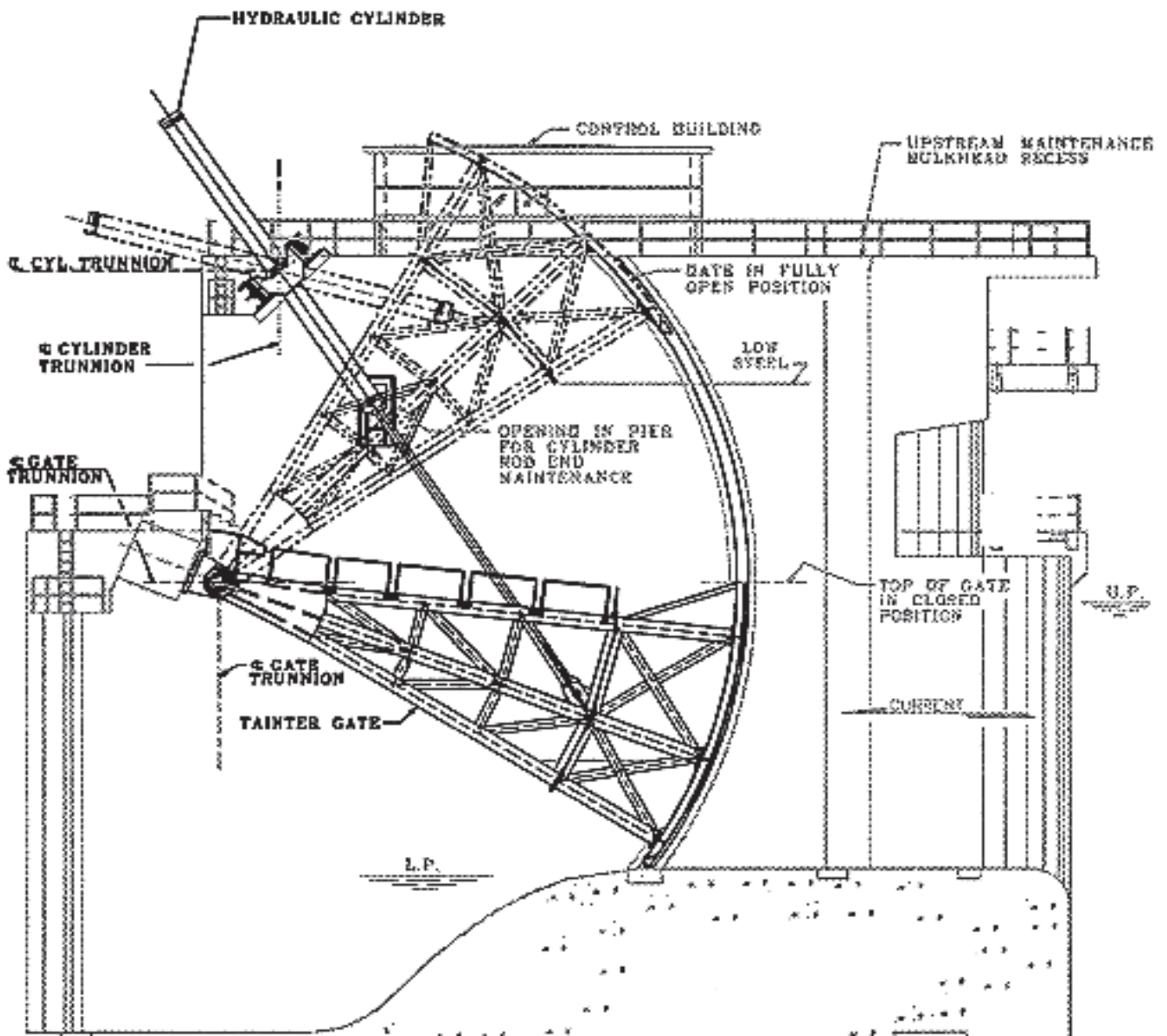


Abb. 4.7 Beispiel für Windwerk mit mit Hubhydraulik [11]

4.2.2.3. Hubgeschwindigkeit

In Verschlüssen, mit denen die Wasserlage kontrolliert wird, erfolgt der Hub schrittweise mit anschließender Pause. Die Kontrolle erfolgt mit Timmer oder einer Sollwertkontrolle [12].

Die Verschlussgeschwindigkeit des Servomotors ist normalerweise genau definiert. Dies kann mit hydraulisch gedämpften Zylindern erfolgen, die eine besondere Zylinderkopfausbildung aufweisen. Wenn hydraulisch variable Pumpen eingesetzt werden, kann die Pumpleistung zu dem Zeitpunkt reduziert werden, zu dem der Kolben vollständig aufgefahren ist. Bei einem parallelen Pumpenbetrieb kann eine Pumpe abgeschaltet werden

und zwar bei Erreichung des Begrenzungsschalters. Die gleichmäßige Lieferung des Drucks für die Geschwindigkeit beim Öffnen und Schließen ist von der Durchflussfläche des Hubes abhängig. Dieser Verlust wird durch das Zuschalten einer zweiten Pumpe reduziert, daher ist eine Anlage mit zwei Pumpen verlässlicher [12].

4.2.2.4. Hub- und Senkkräfte

Zum Öffnen und Schließen der Verschlüsse sind bei Schützen das Gewicht und die Reibungskräfte in senkrechter Richtung aufzunehmen. Bei der Berechnung der Antriebskraft ist es wichtig, sich darüber im Klaren zu sein, in welche Richtung die Wirkungskräfte gerichtet sind. In die Berechnung der Hubkraft fließen folgende Werte ein [13].

$$Z_{max} = \left(E + E' - \Delta E + H \frac{W_r}{W_{el}} + R_{DH} + R_{DS} \mp K_H - G - S \right) * \chi \quad (4.1)$$

E ...Eigengewicht der Konstruktion, mit einem Sicherheitszuschlag von 5%

E' ...Gewicht der mitgenommenen Substanzen (Wasser, Sediment,..)

ΔE ...Scheinbare Gewichtsreduktion durch Auftrieb, wobei festgestellt werden muss, welche Teile des Schützes im Wasser eingetaucht sind

H ...Eigengewicht des Hubmittels

W_r, W_{gl} ...Rollender bzw. gleitender Widerstand der Schütze

R_{DH}, R_{DS} ...Reibungskräfte der horizontalen bzw. der seitlichen Dichtung, abhängig von der Art der Dichtung, der Länge und dem Wasserdruck

K_H ...Statische und dynamische Kräfte aus den Wasserauflasten und der Strömung

G ...Eigengewicht von Gegengewichten

S ...Auftrieb durch Schwimmer

χ ...Sicherheitszuschlag für den Beginn des Hubvorganges, normalerweise reicht ein Zuschlag von 15 bis 20% aus. Wird ein Gesamtsicherheitsfaktor gewählt, können für die zuvor beschriebenen Werte die Zuschlag vernachlässigt werden

4.3. Statische Bemessung von Drucksegmenten

Die an einer Segmentschütze angreifenden Kräfte sind in *Abb. 4.8* skizziert. Falls wie üblich die Stauwand der Segmentschütze kreiszylindrisch mit Zentrum im Drehlager ausgebildet ist, geht der resultierende Oberwasserdruck W durch das Drehlager, dementsprechend trägt W nicht direkt zu einer Erhöhung der Antriebskraft Z bei [16].

Bei geschlossener Schütze wirken der statische Wasserdruck W , der Auftrieb A , das Schützensgewicht G , die Auflagerreaktion P und die Drehlagerreaktion B . Wegen der Schwellendichtung sollte die Auflagerreaktion den Wert von 5 kN/m nicht unterschreiten.

Bei geöffneter Schütze wirken der dynamischen Wasserdruck W , das Schützensgewicht G , die Zugkraft $Z = (G \cdot B)/a$ und die Drehlagerreaktion B [16].

Antriebskräfte. Bei bewegter Schütze sind, außer den genannten Kräften, noch die der Bewegung entgegen wirkenden Reibungskräfte und bei Beschleunigung oder Verzögerung auch Trägheitskräfte zu berücksichtigen [16].

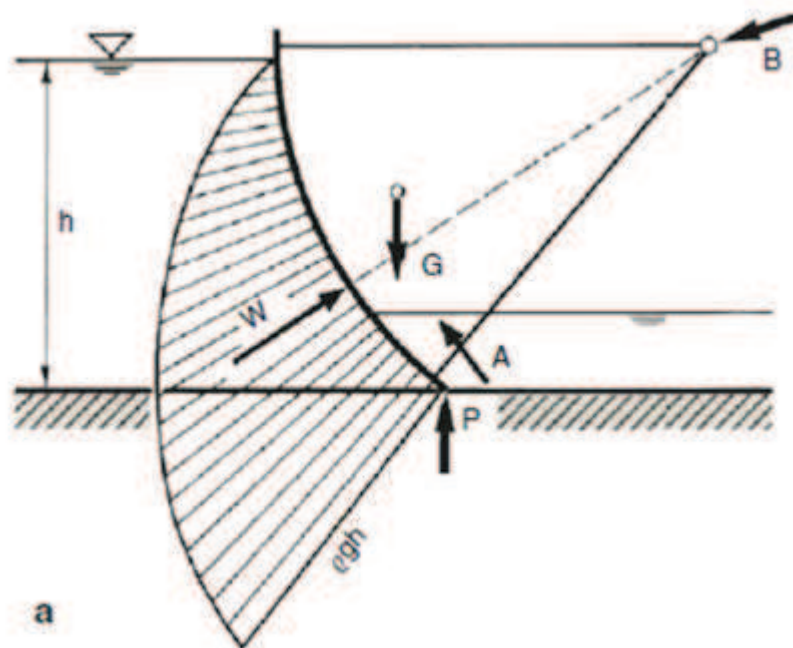


Abb. 4.8 Beanspruchung einer α geschlossenen Segmentschützeruhenden Segmentschütze [16]

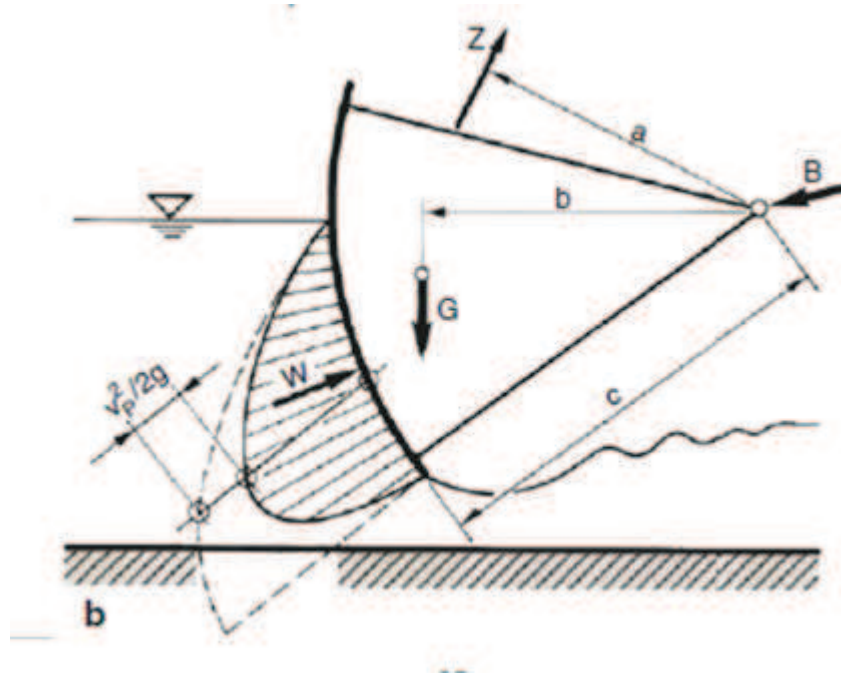


Abb. 4.9 Beanspruchung b einer offenen, ruhenden Segmentschütze [16]

Die Gleichgewichtsbedingung bezüglich des Drehlagers bei gleichförmiger Bewegung lautet dann:

$$Z \cdot a = G \cdot b \cdot \mu_Z \cdot r_Z + c \cdot \mu_D \int_1 k_D \cdot dl [Nm] \quad (4.2)$$

mit

$B \cdot \mu_Z \cdot r_Z$ Zapfenreibungsmoment [Nm]

r_Z Zapfenradius [m]

$c \cdot \mu_D \int_1 k_D \cdot dl$ Dichtungsreibungsmoment [Nm]

Daraus lässt sich die resultierende Antriebskraft Z bestimmen. [16]

- Abschätzung des dynamischen Wasserdrucks.

Der dynamische Wasserdruck p kann in einfacheren Fällen aufgrund einer Näherungsberechnung ermittelt werden. Wenn davon ausgegangen werden darf, dass im Bereich der Segmentschütze eine Potenzialströmung herrscht (d.h. Vernachlässigung der

Verluste in der sich beschleunigenden und darum im Wesentlichen ablösungsfreien Strömung) kann für einen beliebigen Punkt P an der Stauwand auf der Grundlage der Bernoulli-Gleichung geschrieben werden [16].

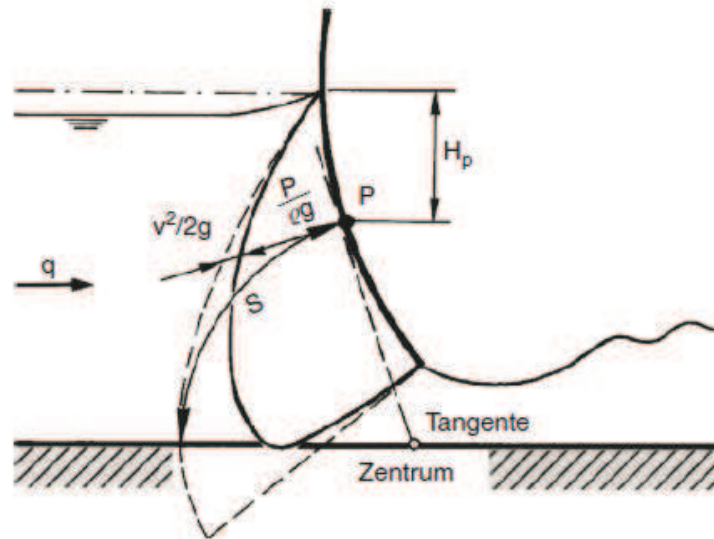


Abb. 4.10 Annäherung einer Potenziellinie des Strömungsnetzes durch ein Kreisbogenstück [16]

Diese Potenzialströmung kann detailliert gezeichnet werden oder vereinfacht über die Potenziellinien mit Kreisen s angenähert werden (s. Abb- 4-10). Mit $v \approx q/s$ ist es möglich abzuschätzen [16].

$$\frac{P_p}{\rho \cdot g} = H_p - \frac{V_p^2}{2g} [m] \quad (4.3)$$

- P Wasserdruck am Punkt P [N/m^2]
- H_p Abstand des Punktes P von der Energielinie [m]
- V_p Fließgeschwindigkeit im Punkt P [m/s]

Die Fließgeschwindigkeit V lässt sich um aus dem Strömungsnetz als mittlere Geschwindigkeit der am Punkt P vorbeiführenden Stromröhre abschätzen (s. Abb. 4.8-4.9).

$$V = \frac{q}{4 \cdot S_p} [m/s] \quad (4.4)$$

- V Fließgeschwindigkeit [m/s]

q Zufluss pro Breitereinheit der Schütze [$m^3/(s \cdot m)$]

S_p Stärke der Stromröhre am Punkt P [m]

An der Abreißkante A ist die dynamische Druckhöhe naturgemäß null (freier Wasserspiegel)

Es gilt somit:

$$\frac{P_A}{\rho \cdot g} = 0[m] \quad (4.5)$$

und

$$V_A = \sqrt{2g \cdot H_A}[m/s] \quad (4.6)$$

H_A Abstand der Abreißkante von der Energielinie [m]

V_A Fließgeschwindigkeit an der Abreißkante [m/s]

Diese Erkenntnis basiert auf der Ausflussformel von Torricelli [16].

- Momentendiagramme der Tragkonstruktion

Einige Grundtragwerksformen sind gemäß der Aufstellungsart der Armen darunter in *Abb.4.11* dargestellt.

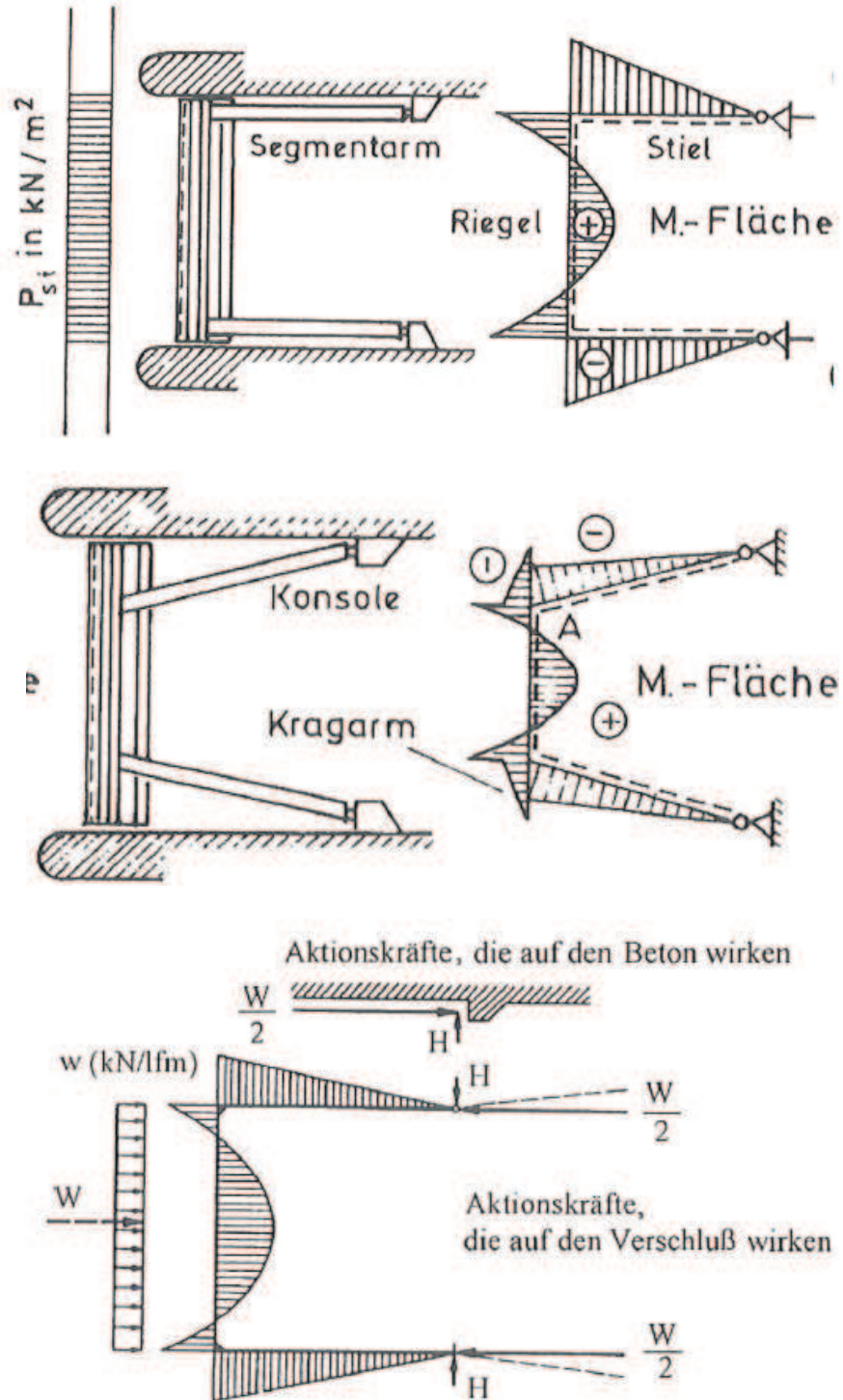




Abb. 4.11 Momentendiagramme [1]

				
Wasserdruck	P_φ		$r[\cos\varphi_0 - \cos(\varphi_0 + \varphi)]$	p_0
Wasserdruckresultierende	W		$W = \sqrt{W_x^2 + W_y^2}; W_x, W_y$ nach Gl.10, 11 und Abb. 1.6	$p_0 r \Phi$
Lage der Resultierenden	ω		$\tan \omega = W_y / W_x$	$\Phi/2 - 90^\circ + \varphi_0$
Auflagerkraft	A		$W \frac{\sin(\beta - \omega)}{\sin(\alpha + \beta)}$	wie nebenstehend
	B		$W \frac{\sin(\alpha + \omega)}{\sin(\alpha + \beta)}$	
Bereich 1	Querkraft	Q_φ	$\frac{r^2}{2} [\cos\alpha \sin\varphi - \varphi \cos(\alpha + \varphi)]$	$p_0 r \sin\varphi$
	Normalkraft	N_φ	$-r^2 \{ \cos\alpha (1 - \cos\varphi) + \frac{1}{2} [\sin\alpha \sin\varphi - \varphi \sin(\alpha + \varphi)] \}$	$-p_0 r (1 - \cos\varphi)$
	Biegemoment	M_φ	$N_\varphi r$	$N_\varphi r$
Bereich 2	Querkraft	Q_φ	$-A \cos(\varphi - \delta) + \frac{r^2}{2} [\cos\alpha \sin\varphi - \varphi \cos(\alpha + \varphi)]$	$-A \cos(\varphi - \delta) + p_0 r \sin\varphi$
	Normalkraft	N_φ	$A \sin(\varphi - \delta) - r^2 \{ \cos\alpha (1 - \cos\varphi) + \frac{1}{2} [\sin\alpha \sin\varphi - \varphi \sin(\alpha + \varphi)] \}$	$A \sin(\varphi - \delta) - p_0 r (1 - \cos\varphi)$
	Biegemoment	M_φ	$N_\varphi r$	$N_\varphi r$
Bereich 3	analog Bereich 1 von unten her		Dreieck \blacktriangle = Rechteck minus Dreieck \blacktriangledown	

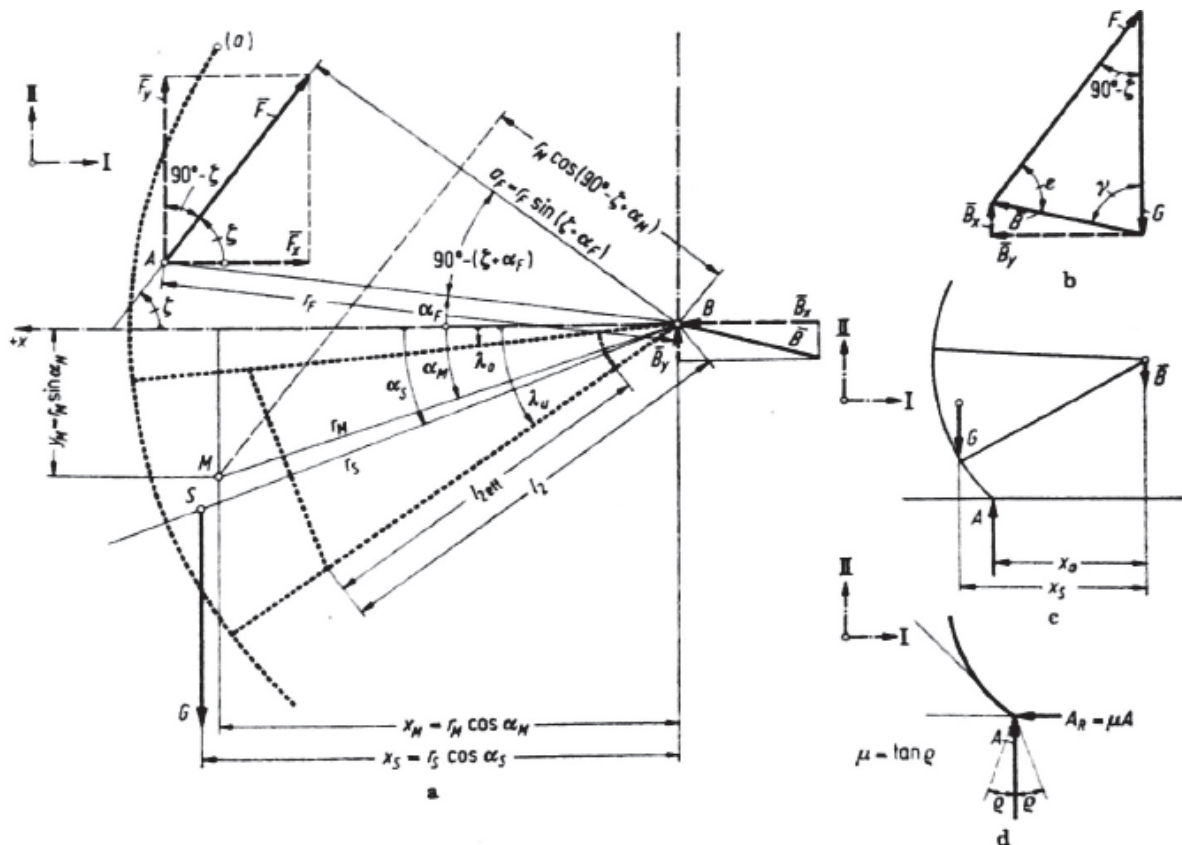
Tab 4.1 Schnittkräfte, Auflagerkräfte und Biegemomente des kreisförmig gekrümmten Trägers auf 2 Stützen unter trapezförmiger Wasserdruckbelastung [13]

4.4. Lagerkräfte bei Drucksegmenten

Lagerkräfte sind Kräfte, welche der Verschlusskörper über seine Stützarme auf die Drehlager bzw. den Pfeiler abgesetzt werden. Sie ergeben sich für alle symmetrischen Belastungen, wie z.B. Wasserdruck, wo die Resultierende geht im allgemeinen durch den Drehpunkt, in einfacher Weise. Besonders müssen jedoch die unsymmetrische Zustände berücksichtigt werden, die z.B. durch einseitige Aufhängung des Verschlusskörpers entstehen [13].

- *Symmetrische Aufhängung*- Für zweiseitig angreifendes Hubmittel ergeben sich die Lagerkräfte aus Eigengewicht des Verschlusskörpers im angehobenen Zustand wie folgt.

S- Schwerpunkt; M- Schubmittelpunkt; A- Angriffspunkt des Hubmittels; G- Eigengewicht
 ζ - Neigungswinkel der angreifenden Hubkraft F gegenüber der Horizontalen



Segmentschütz.

a) Kräfte infolge Eigengewichtslast G , VKö nicht auf der Sohle aufsitzend; b) Kräfteck; c) Kräfte infolge G , VKö auf der Sohle aufsitzend; A - Schließdruck; d) Schließdruck A und Reibungskraft A_R , auf VKö-Unterkante wirkend.

Abb. 4.12 Darstellung der Lagerkräfte bei symmetrischer Aufhängung eines Segmentschützes [13]

Bei nicht auf der Sohle aufsitzendem Verschlusskörper erhält man unter Vernachlässigung aller Reibungen die Gesamthubkraft F (für beide Seiten zusammen) zu

$$F = Gx_S/a_F \quad (4.7)$$

mit den Hebelarmen $x_S = r_S \cos \alpha_S$, $a_F = r_F \sin[\zeta + \alpha_F]$ (4.8)

$$F_y = F \sin \zeta, \quad F_x = F \cos \zeta \quad (4.9)$$

Die Gesamtlagerkraft B (linkes plus rechtes Lager) wird gemäß *Abb. 4.11b* mit den Hilfwerten

$$\tan \frac{\varepsilon - \gamma}{2} = \frac{G - \bar{F}}{G + \bar{F}} \cot g \frac{90^\circ - \zeta}{2} \quad (4.10)$$

und

$$\frac{\varepsilon + \gamma}{2} = 90^\circ - \frac{(90^\circ - \zeta)}{2} = 45^\circ + \frac{\zeta}{2} \quad (4.11)$$

und nachdem hieraus $\varepsilon + \gamma$ und $\varepsilon - \gamma$ bzw. ε berechnet wurden,

$$B = G \frac{\cos \zeta}{\sin \varepsilon} \quad (4.12)$$

Für $\zeta = 90^\circ$ (vertikale Wirkungslinie der Hubkraft $F = F_y$) wird

$$B_\uparrow = G - F \quad \text{bei} \quad a_F > a_S \quad (4.13)$$

$$B_\downarrow = F - G \quad \text{bei} \quad a_F < a_S$$

Die auf die Pfeiler wirkenden Lagerkräfte sind entgegengesetzt orientiert.

Bei auf der Sohle aufsitzendem Verschlusskörper ist für dessen Eigengewicht nach *Abb. 4.12c* der Schließdruck horizontale Sohle vorausgesetzt.

$$A = Gx_S|x_A \quad (4.14)$$

Bei schräger Sohle ist die Wirkungsgrad von A normal zur Sohlfläche anzusetzen. Sie kann unter Berücksichtigung des Coulombschen Reibungsfaktors μ nach *Abb. 4.12d* eine Neigungsänderung infolge der Reibungskomponente A_R erfahren, die auch eine Änderung der Lagerkraft B hervorruft [13].

- *Unsymmetrische einseitig Aufhängung*- Für Eigengewichtslast ergibt sich mit Abb. 4.13a für die von linken (Hubmittelseite) bzw. rechten Lager auf den Verschlusskörpermitte. Vorausgesetzt wird $l_F > 1$.

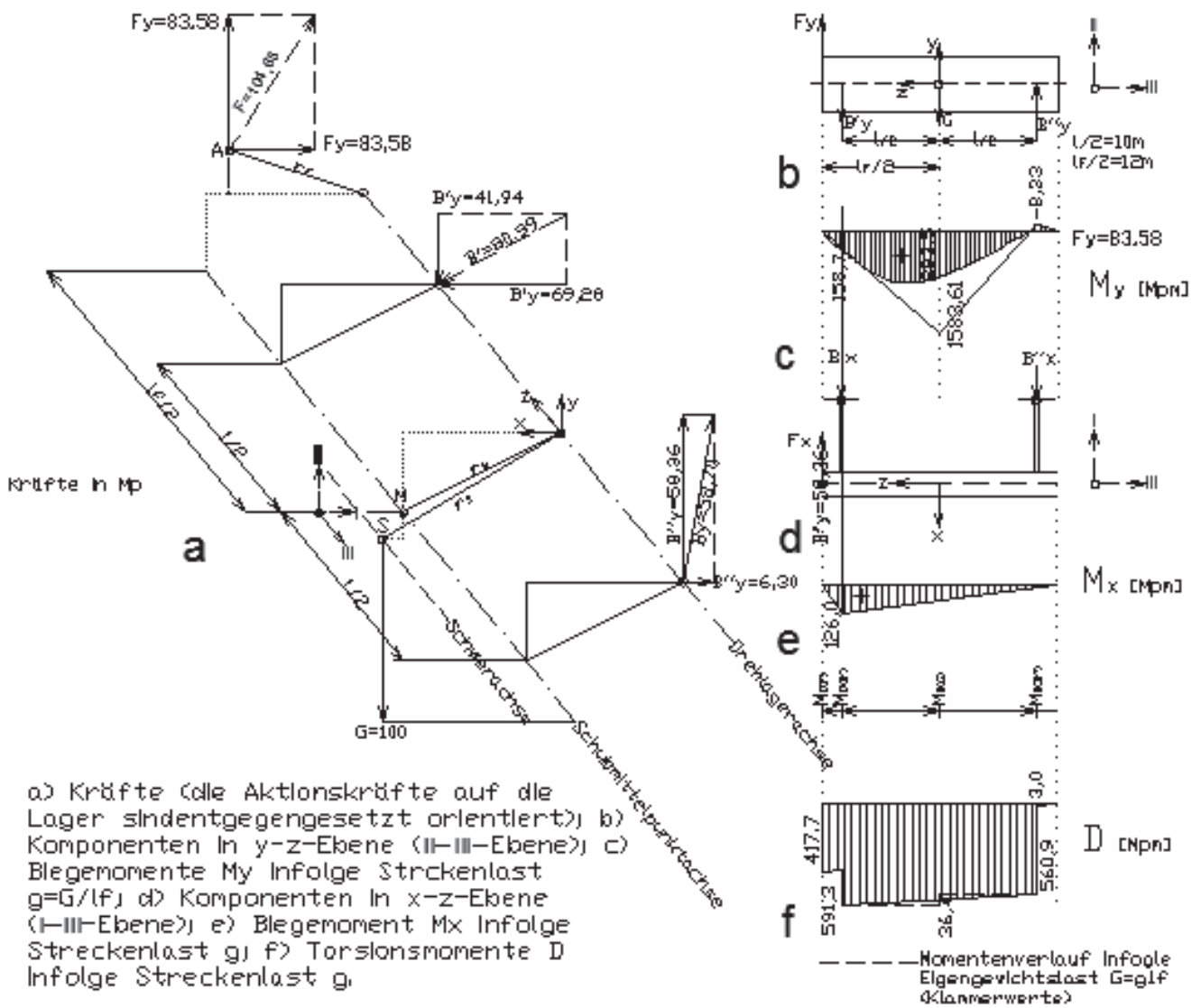


Abb. 4.13 Segmentschütz bei einseitiger Aufhängung unter Eigengewicht G [13]

$$B'_y + B''_y = B_y \quad (4.15)$$

Spezialfall

$$1) \text{ Für } l_F = l \text{ ist } B''_y \uparrow = G/2, \quad B'_y \downarrow = F_y - G/2 \quad (4.16)$$

$$2) \text{ Für } l_F = l, \quad a_F = a_s \text{ und } \zeta = 90^\circ \text{ ist } B''_y \uparrow = B'_y \downarrow = G/2 \quad (4.17)$$

Aus Abb. 4.12d folgt

$$B''_x \rightarrow = \frac{F_x}{2} \left(\frac{l_F}{l} - 1 \right) \quad (4.18)$$

$$B'_x \leftarrow = \frac{F_x}{2} \left(\frac{l_F}{l} + 1 \right) \quad (4.19)$$

Spezialfall

$$1) \text{ Für } l_F = l \text{ ist } B''_x \rightarrow = 0, \quad B'_x \leftarrow = F_x \quad (4.20)$$

$$2) \text{ Für } l_F = l, \quad \zeta = 90^\circ \text{ ist } B''_x = B'_x = 0 \quad (4.21)$$

4.5. Hydraulische Bemessung - Ausfluss unter einem Segmentschütz

Im normalen Wehrbetrieb (Hochwasser, Stauraumpülung etc.) treten auch während der Anhebung des Verschlusses Teilabflüsse auf, die eine besondere Belastung der Wehranlage darstellen und bei denen auch unterschiedliche Abflusszustände auftreten können. Beim Ausfluss unter einem Schütz unterscheidet man wieder zwischen „freiem“ (Abb. 4.14) und „rückgestautem Ausfluss“ (Abb. 4.15). Der Unterschied hängt von der Lage des Unterwasserspiegels ab, wobei beim freien Ausfluss der Abfluss vom Unterwasser nicht beeinflusst wird. Beim rückgestauten Ausfluss ist der Ausflussstrahl eingetaucht, was die Abflussmenge reduziert.

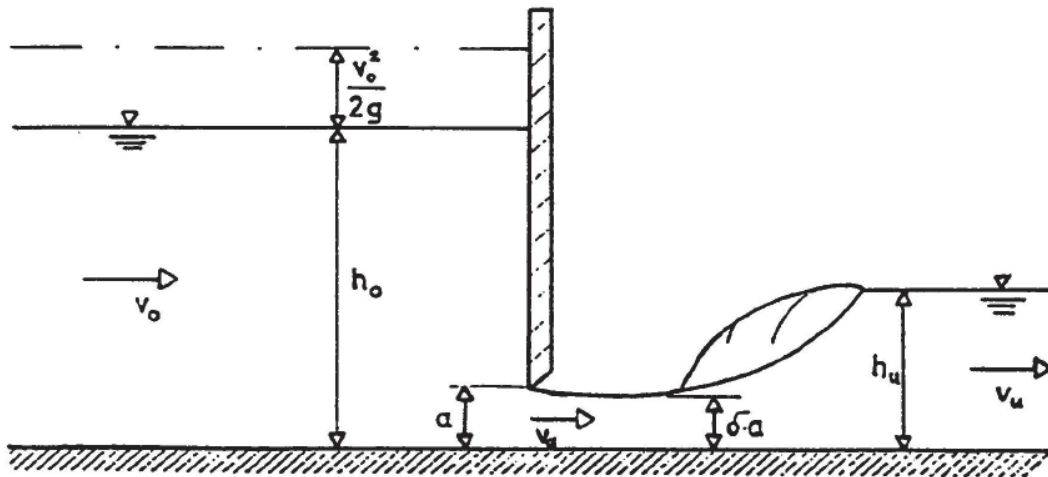


Abb. 4.14 Freier Ausfluss unter Schütz [3]

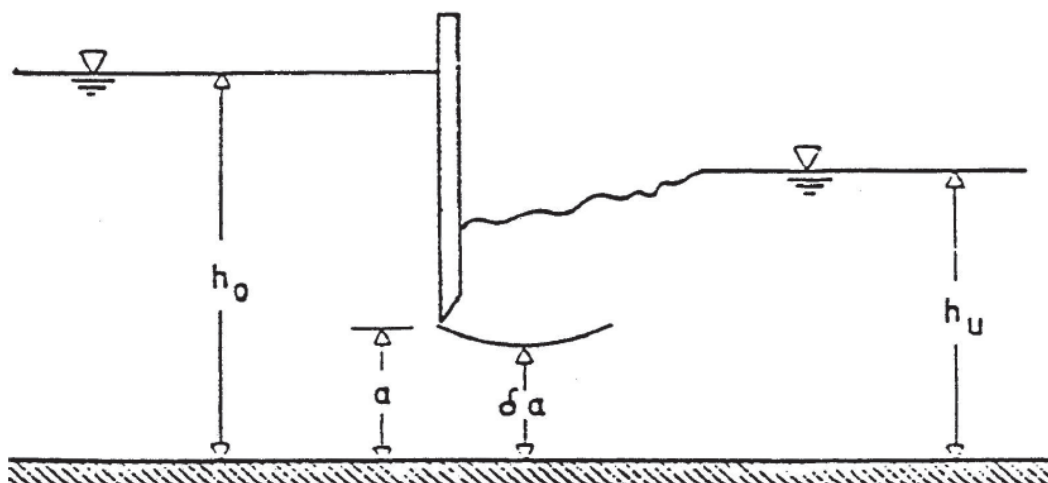
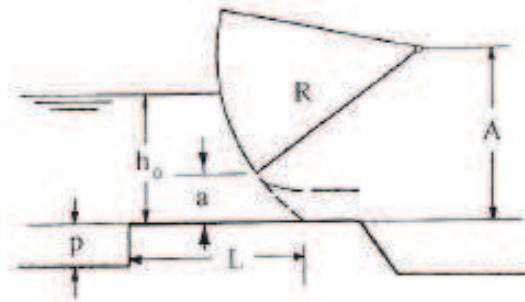


Abb. 4.15 Rückgestauter Ausfluss unter Schütz [3]

Für die Berechnung des Ausflusses unter einem Schütz existiert eine Reihe von Berechnungsformeln, sowie viele Berechnungsdiagramme. Eine sehr effiziente Berechnungsmöglichkeit bieten die so genannten „Hydraulic Design Charts“ des U.S. Corps of Engineers. Sie beinhalten die beiden Ausflussarten und sind in *Abb.4.16* und *Abb.4.17* zusammengestellt.



Nach US CORPS OF ENGINEERS, Hydraulic Design Chart für $A/R = 0.5$:

$$Q = C_1 \cdot C_2 \cdot a \cdot B \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h_0}$$

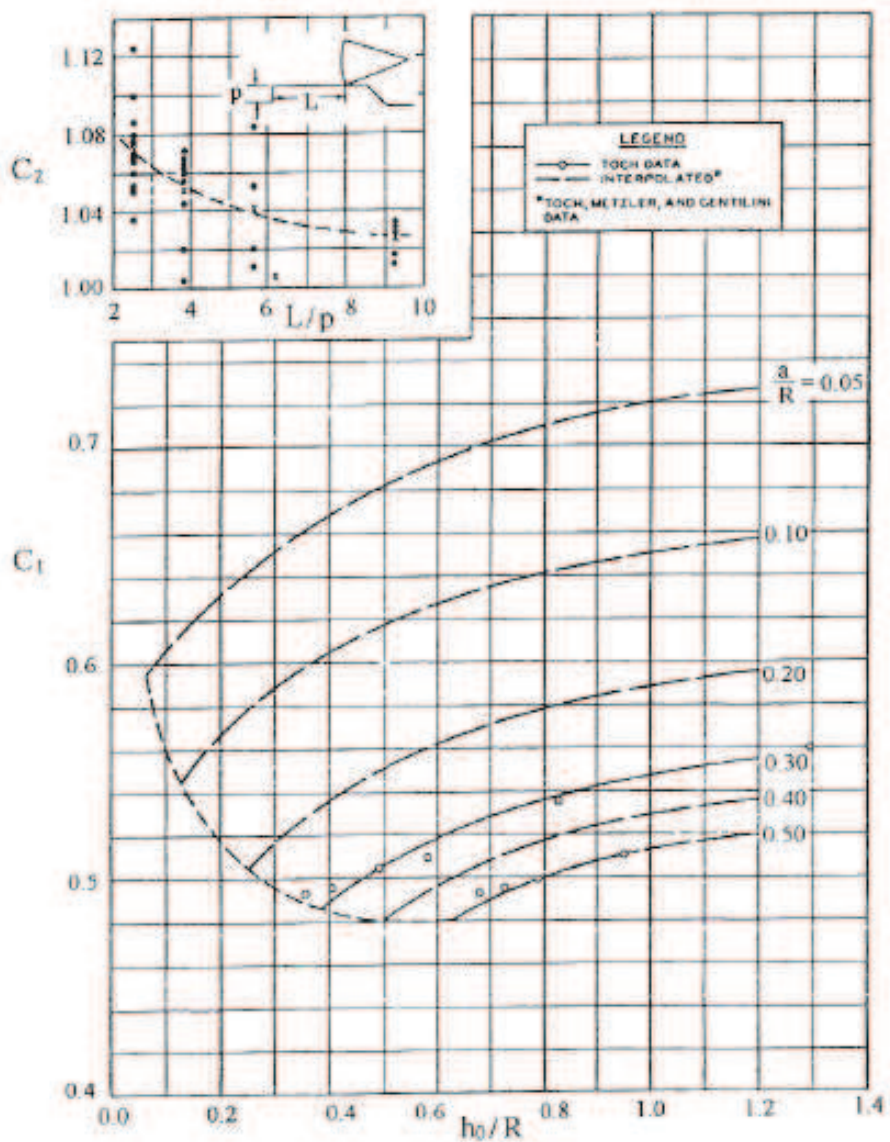
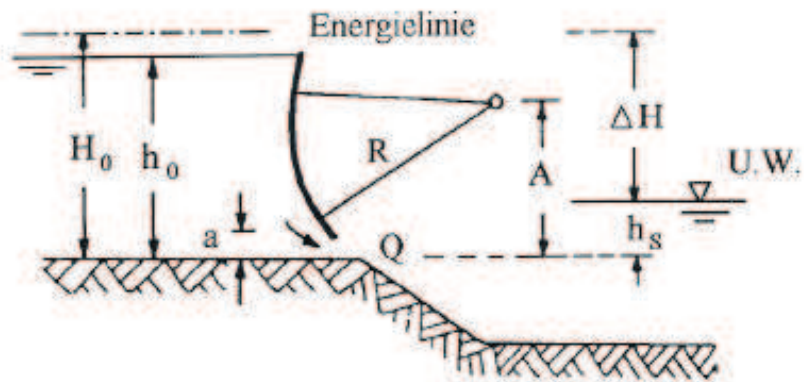
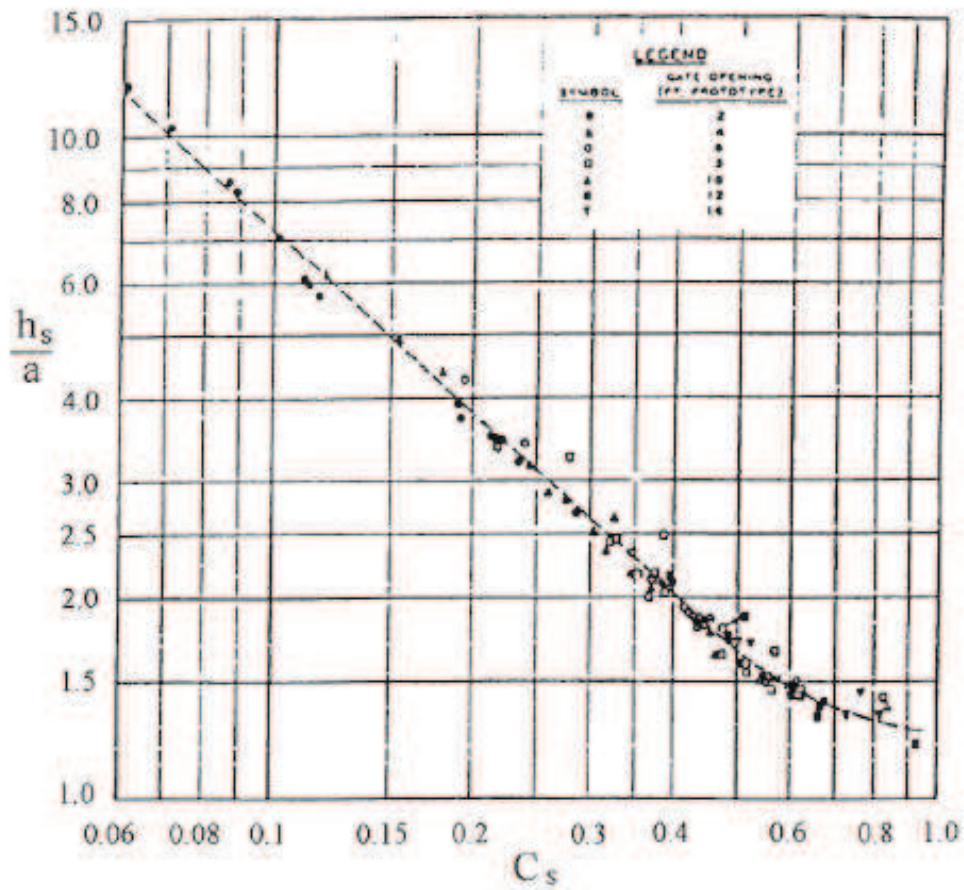


Abb. 4.16 „Hydraulic Design Chart“ für freien Ausfluss [11]



Nach US CORPS OF ENGINEERS, Hydraulic Design Chart:



$$Q = C_s \cdot B \cdot h_s \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot \Delta H}$$

$$\Delta H = H_0 - h_s$$

Abb. 4.17 „Hydraulic Design Chart“ für rückgestauten Ausfluss [11]

4.6. Schwingungen bei Segmentverschlüssen

Je nach Öffnungsgrad des Stützes gibt es unterschiedliche Möglichkeiten des Auftretens von Schwingungen. Schützenschwingungen können nach drei verschiedenen Kategorien klassifiziert werden [20]:

- Fremdinduzierte Anregung, die durch Schwankungen der Strömung oder des Drucks entstehen, sind nicht Teil des vibrierenden Systems des Schützes.
- Durch Instabilität induzierte Anregung der Schützen, die durch eine Instabilität in der Strömung erzeugt wird. Exemplarisch kann die Wirbelablösung an der Schützenlippe und die alternierende Strömungsablösung an der Schützenunterseite angeführt werden[20].

Um eine optimale Ablösung gewährleisten zu können, ist es wichtig einen entsprechenden Abstand der Tragkonstruktion von der Abflussoberfläche einzuhalten. Wird anstatt der Schützenunterkante eine Dichtung als Ablösekannte verwendet, ist auf eine möglichst strömungsgünstige Ausbildung der Dichtung zu achten [20].

- **Konstruktive Empfehlungen zur Ausbildung von Segmentverschluss mit Klappe**
 - kreiszylindrische Stauhaut
 - Neigung der Wehrschwelle nicht steiler als 2:1
 - konzentrierte Krafteinleitung am unterwasserseitigen Pfeilerende

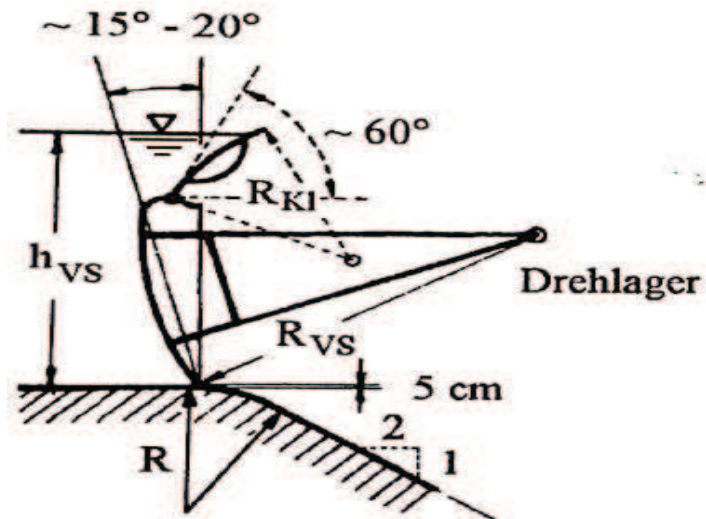


Abb. 4.20 $R_{VS} \cong 1,0 \text{ bis } 1,3 \cdot h_{VS}$ und $R_{KI} \cong \text{doppelte Verschlusshöhe}$ [3]



Abb. 4.21 Kraftwerk Illpitz: Höhe Segment: 3,10m; Höhe Aufsetzklappe: 1.50m; Breite Segment: 15m; [http://www.feldkirch.at/]

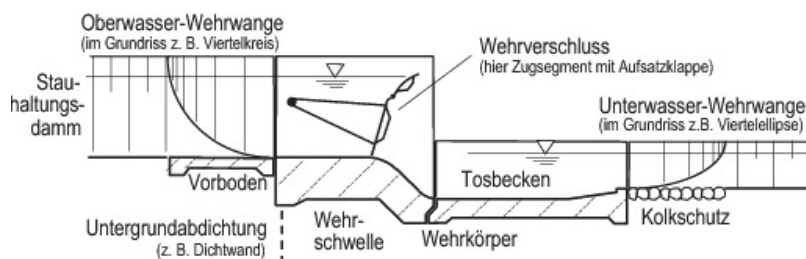
4.8. Vergleich von Druck- und Zugsegmenten

Die wesentlichsten Vorteile des Segmentwehres werden nachfolgend zusammengefasst:

- Geringe Antriebskraft
- Einfache, unempfindliche Dichtung auch zwischen Klappe und Segment
- Nischenfreiheit und schlanke Pfeiler
- Anwendbarkeit auch ölhhydraulischer Antriebe (torsionssteife Ausbildung des Hauptträgers zweckmäßig)
- Möglichkeit des einseitigen Antriebes (torisonssteife Ausbildung erforderlich)
- Wirtschaftlichkeit (geringes Gewicht vor allem im maschinenbaulichen Teil)

Wegen der der zylinderförmigen Stauwand haben die Drucksegmenten den Vorteil, dass der resultierende Wasserdruck immer durch den Mittelpunkt der „Zylinder“-Stauwand geht, auch bei Zwischenstellungen und damit vereinfachende Betrachtung erlaubt vor allem, wenn Zylinder- und Drehachse zusammenfallen. Dieser Vorteil wird durch Aufsatzklappen jedoch gestört.

Als Vorteile der Zugsegmente könnten genannt werden, dass die Lager unter dem Wasserspiegel liegen und können nicht wie bei Drucksegmenten infolge Spritzwassers vereisen. Auch sind bei zusätzlichen Aufsatzklappen, anders als bei Drucksegmenten, keine konstruktiven Schutzmaßnahmen für die Segmentarme gegen den Überfallstrahl notwendig. Ein Nachteil ist die notwendige Reduzierung der Überfallbreite durch Leitbleche zum Schutz



der Antriebe, da diese unmittelbar in der Strömung liegen würden [6].

Abb. 4.22 Zugsegment mit Aufsatzklappe[29]

Ein Vergleich zwischen Drucksegment und Zugsegment geht zugunsten des Drucksegmentes aus. Da der Materialpreis eine untergeordnete Rolle spielt und das Drucksegment sowohl beim Auftrieb als auch bei Wartungsarbeiten viele Vorteile gegenüber dem Zugsegment aufweist, werden heute fast ausschließlich Drucksegmente gebaut [6].

5. Entwurfsgrundlagen von Fischbauchklappen

Klappenwehre sind Drehverschlüsse, die mehrfach an einer Wehrschwelle oder auf beweglichen Verschlüssen gelagert sind (Abb. 4.14). Die Klappen sind im Kleinkraftwerksbau häufig anzutreffen. Die Pfeiler können relativ schmal gehalten werden, da Klappen keine Nischen beanspruchen. Bei diesem Verschlussart ist eine relativ einfache Ableitung der Kräfte ins Wehrfundament gegeben.

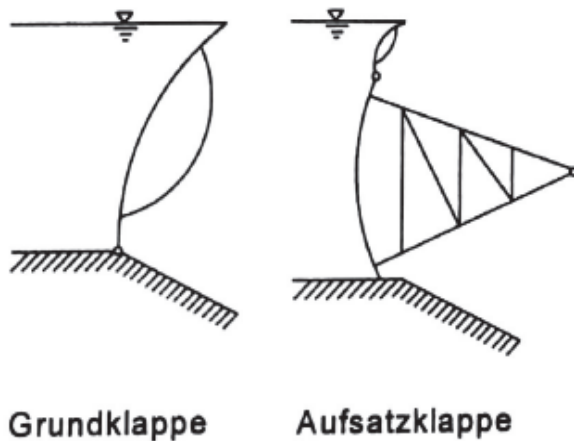


Abb. 5.1 Schematische Darstellung der Klappentypen[1]

Fischbauchklappe Luftseite[Wikimedia]



Abb. 5.2 Fischbauchklappe- Wasserseite [Wikimedia]

5.1. Besonderheiten

Das Klappenwehr hat in hydraulischer Hinsicht Vorteile, die seine Anwendung oft bevorzugt machen. Dabei liegt die hydraulisch günstigste Form bei den Fischbauchklappen vor. Bei den Klappensystemen hat sich heute die Fischbauchklappe - ausgeführt als Grund- oder Aufsatzklappe - weitgehend durchgesetzt (Abb. 5.1). Sie ist wegen ihrer günstigen statischen Eigenschaften gut geeignet zum Abschluss von Öffnungen mit großer Lichtweite bei einer mittleren Stauhöhe (etwa 6m). Es besteht auch die Möglichkeit, zwei aneinander stoßende, einseitig angetriebene Klappen über eine große Lichtweite ohne Zwischenpfeiler zu spannen. Bei diesen Anlagen muss ebenfalls eine Besonderheiten hervorgehoben werden und zwar der Belüftungsbedarf unter der Klappe und die Notwendigkeit von beheizten Seitenschilder [13].

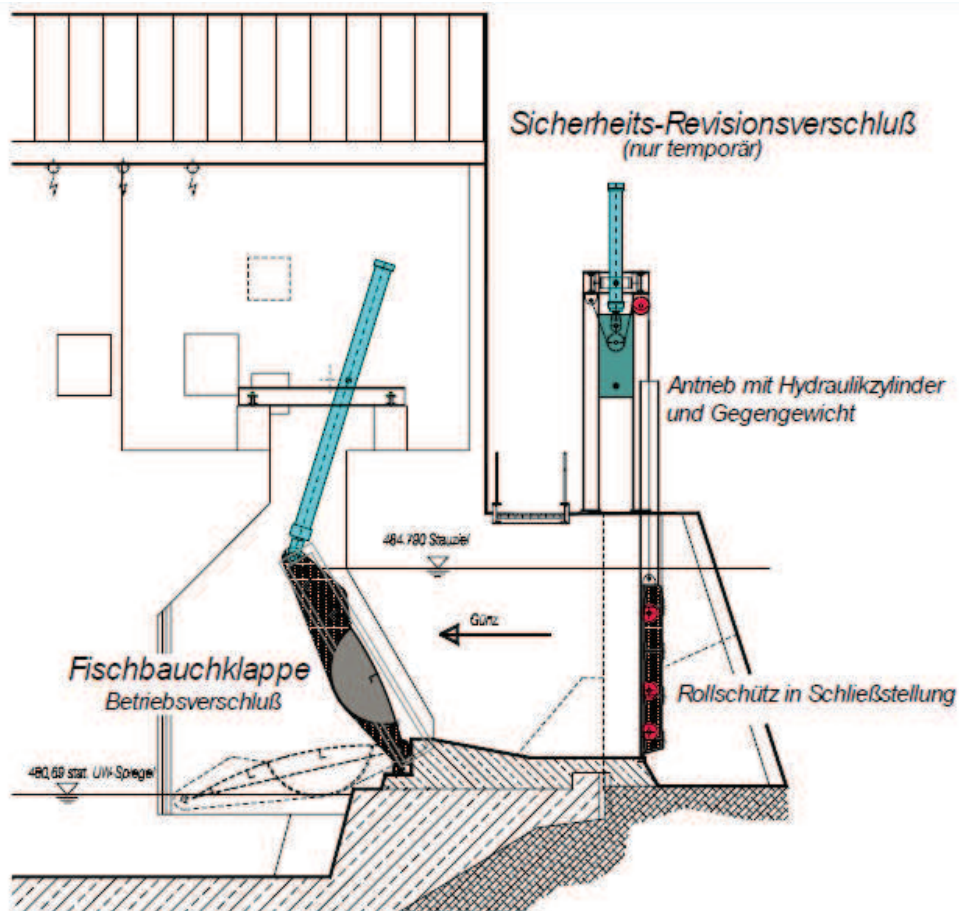


Abb. 5.3 Darstellung offener und geschlossener Stellung eines Wehres ausgerüstet mit Fischbauchklappe [18]

5.2. Gestaltung einer Fischbauchklappe

Durch das Zusammenwirken von Staublech und Bauchblech ist der gesamte Klappenkörper der Fischbauchklappe torsionssteif ausgebildet. Dadurch bietet sich ebenfalls die Möglichkeit eines einseitigen Antriebes. Die Fischbauchklappe stellt eine quasi wölbfreie, torsionssteife Klappe mit Zwangsdrillachse dar. Die Zwangsdrillachse ist dabei nicht durchlaufend, sondern an diskreten Gelenklagern gehalten.



Abb. 5.4 Konstruktionsdarstellung einer Fischbauchklappe [14]

5.2.1. Strukturelemente und geometrische Gestaltung einer Fischbauchklappe

Die Fischbauchklappen sind entgegen der üblichen Scharnierlagerung mit einer Hebelgruppenlagerung ausgebildet, an der die Auflagerkräfte leichter zu bestimmen sind. Jede Klappe hat zur Aufnahme der horizontalen und vertikalen Auflagerkräfte die Hebelgruppenlagerungen entlang der unteren Klappenachse. Die Fischbauchklappen können beid- und einseitig durch Hydraulikzylinder angetrieben werden. Der geschlossene, beidseitig konkav gekrümmte Klappenquerschnitt (Abb. 5.6) besteht aus einer dicken ausgesteiften Stau- und Rückwand, Längsrippen und Querschotten, die die Staufläche in gleiche Abschnitte aufteilen. Die Aufgabe der Querschotte ist [19]:

- die Erhaltung der Querschnittsform bei Torsionbeanspruchung
- die Einleitung der Auflagerkraft in den Fischbauch

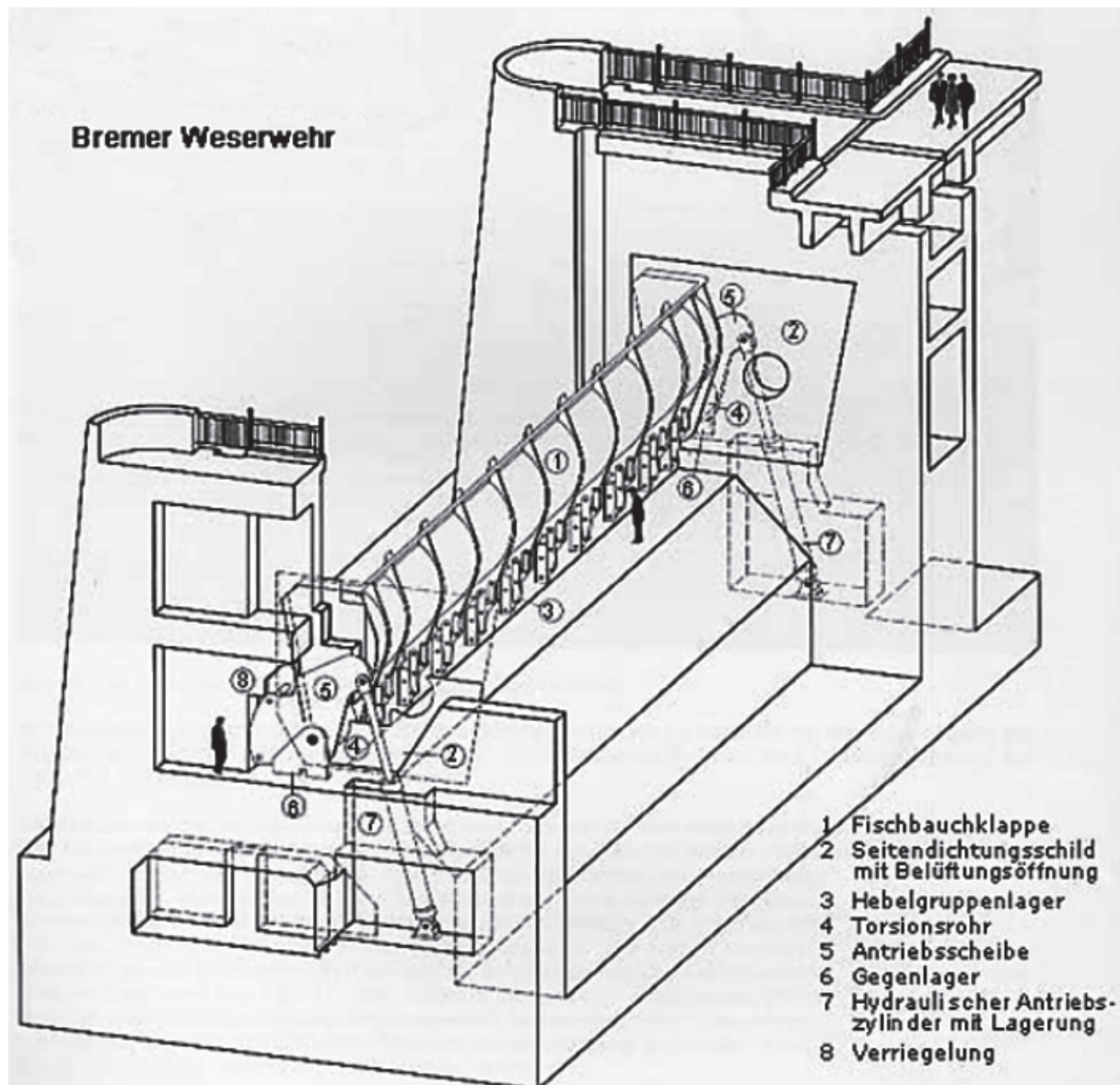


Abb. 5.5 Fischbauchklappe des Weserwehres Bremen [19]

Die Querschotte sind mit gesäumten Revisionsöffnungen versehen, damit eine Innenbeschichtung und Revisionsmaßnahmen möglich sind [19].

Die Übertragung der am Verschluss angreifenden Kräfte in den Antrieb erfolgt über ein in der Drehachse der Klappe angeflanshtes und in das Pfeilerinnere eingeführtes Torsionsrohr. Diese Bauweise ergibt wesentliche Vorteile hinsichtlich der raumsparenden Unterbringung und Ausführung der Antriebe. Mit ihr kann gleichzeitig auch die Forderung niedrigster Pfeileraufbauten und nischenloser glatter Pfeilerwände erfüllt werden [13].

Das Rohr, sehr steif, darf nicht als federndes Element zwischen Klappe und Antriebe wirken und die Tendenz des Verschlusses zu Schwingungen begünstigen [13].

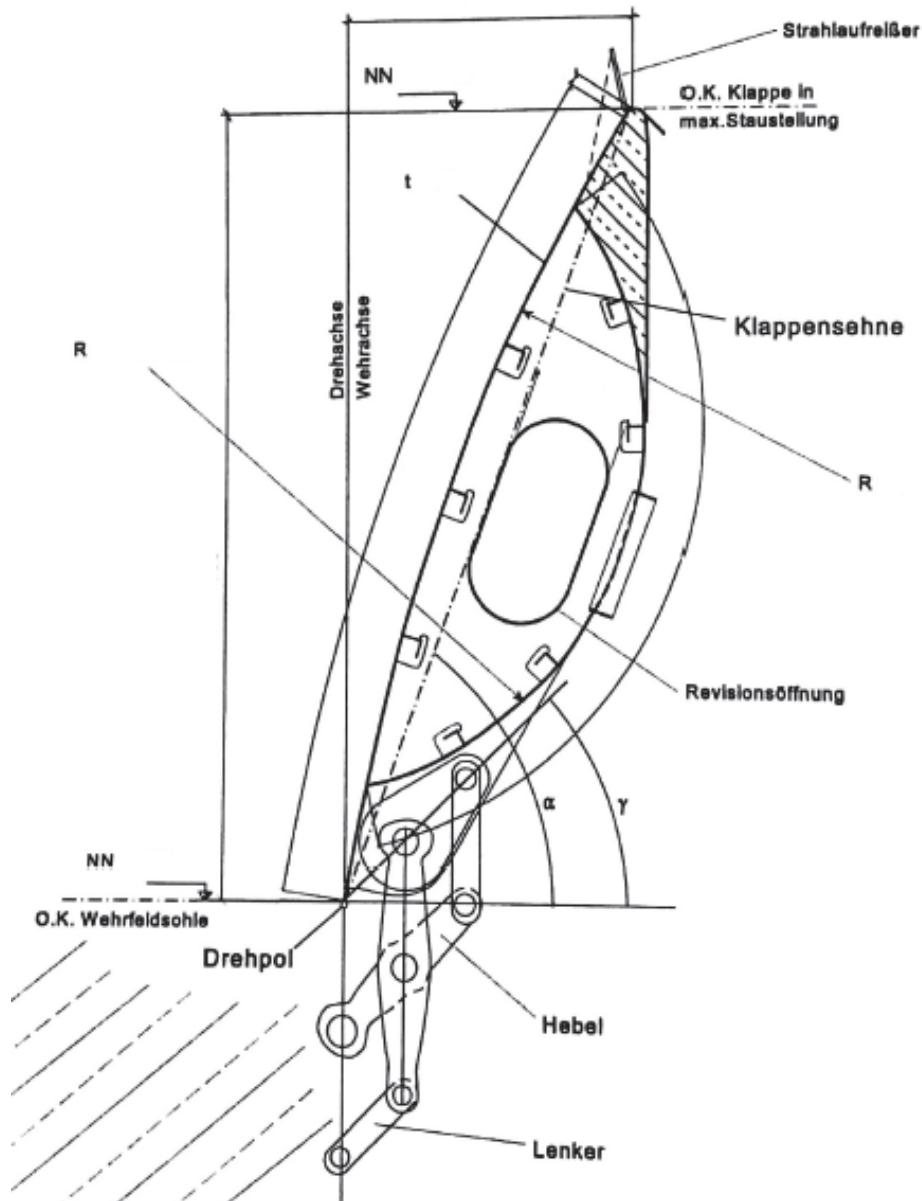


Abb. 5.6 Querschnitt des der Fischbauchklappe des Weserwehres Bremen [19]

Die Art der Lagerkonstruktion für Stauklappen wird stark durch die Wahl der Klappendichtung beeinflusst. Der in Abb. 5.6 verwendete kinematische Scherenmechanismus der Hebelgruppenlagerung, als eine neue Art der Lagerung, erzwingt einen Drehpol entlang der unteren Klappenachse (Abb.5.6), so dass die dort liegende Klappendichtung als einfache Banddichtung ausgeführt werden kann [19].

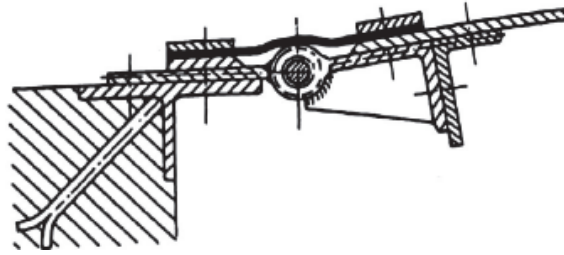


Abb. 5.7 Übliche Scharnierlagerung einschließlich wasserseitiger Dichtung [13]

„Das Stabwerk einer Fischbauchklappe setzt sich im wesentlichen aus 3 Stabarten zusammen:

- Biegetorsionsstab, der die Steifigkeit des Fischbauches erfasst,
- Querschottstäben, die die elastische Nachgiebigkeit der Querschotte gewährleisten
- Endschottstäben, die das Torsionsmoment aus Wasserlast und Eigengewicht aufnehmen und die Beanspruchung in die Endauflagerkonstruktion leiten.

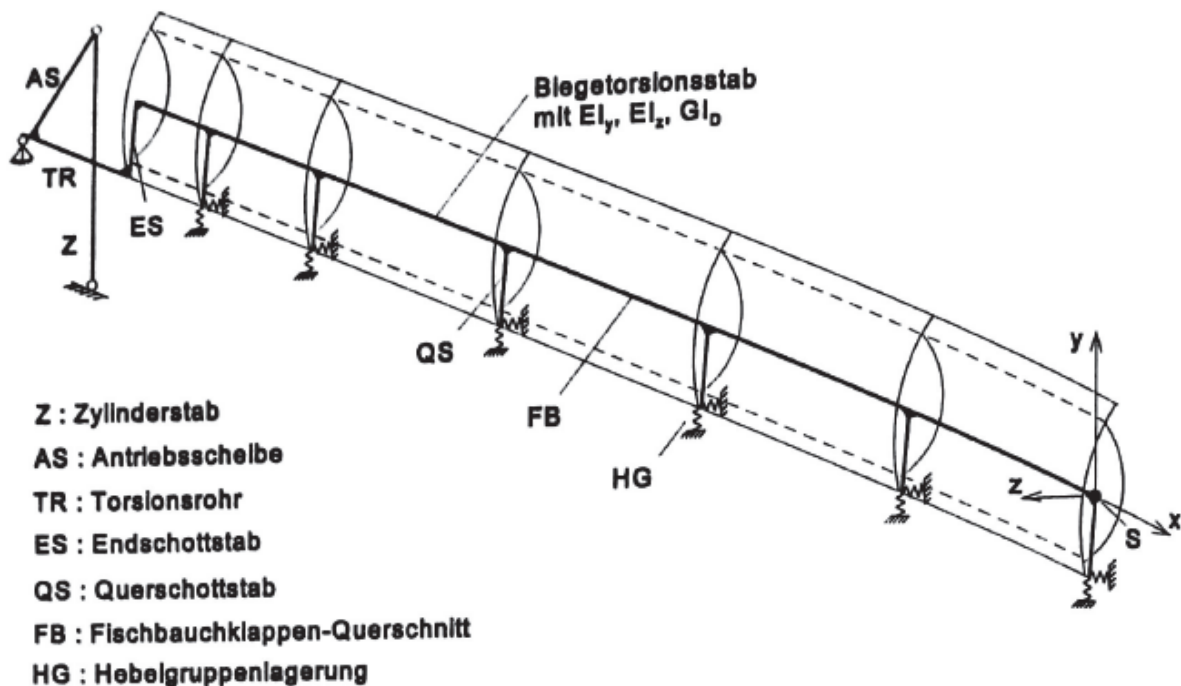


Abb. 5.8 Stabwerksmodell der Fischbauchklappe einschließlich Lagerung [19]

Die biege- und torsionssteife Fischbauchklappe wird durch einen in der Schwerachse des Fischbauchbauchquerschnitts liegenden Biegetorsionsstab modelliert. An den

Biegentorsionsstab schließt an jeder diskreten Lagerstelle ein Querschottstab an, dem die Steifigkeiten der Querschotte zugewiesen werden. An den Enden der Querschottstäbe wird je ein Federpaar mit entsprechenden Federsteifigkeiten der Hebelgruppe in horizontaler und vertikaler Richtung modelliert [19].

An den Enden der Fischbauchklappe schließt in ihrem Drehpol ein Torsionsrohr an, das über eine Antriebscheibe durch einen Pendelstab, den Zylinderstab der Hydraulik, gehalten wird. Das Torsionsrohr ist frei drehbar auf einem Endauflagerbock gelagert“ [19].

- Geometrische Beziehungen einer Fischbauchklappe

Die Wasserüberfallhöhe der Fischbauchklappe ist abhängig von der jeweiligen Klappenstellung und dem Stand des Oberwassers. Die Überfallhöhe $h_{\ddot{u}}$ lässt sich in Abhängigkeit vom Anstellwinkel α durch einfache geometrische Beziehung bestimmen [19].

In *Abb. 5.9* sind die Winkelbeziehungen dargestellt. Der Anstellwinkel α der Klappe wird als der Winkel definiert, den eine gedachte Horizontale mit der Klappensehne einschließt [19].

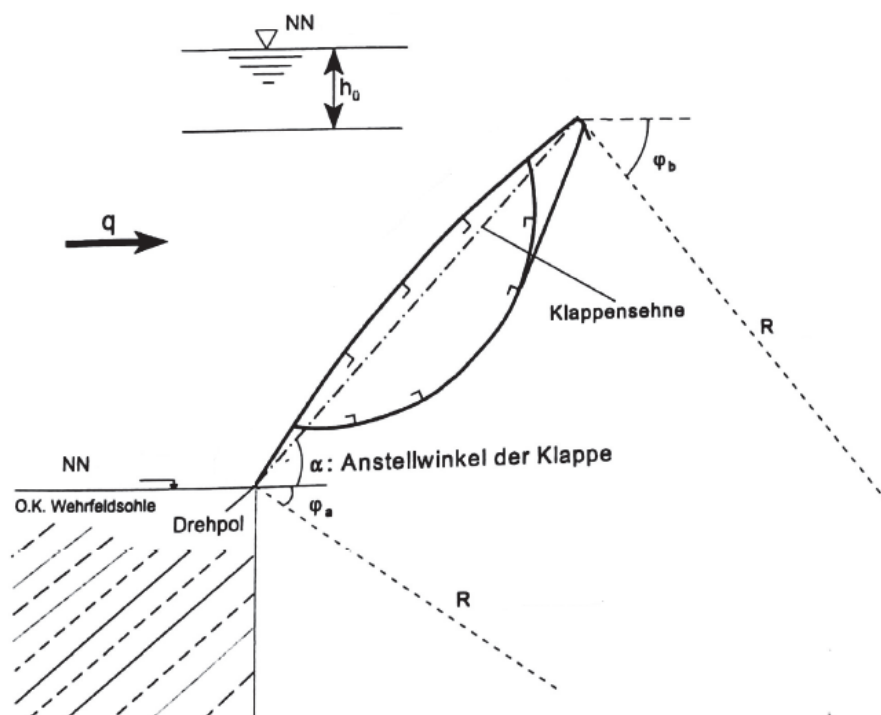


Abb. 5.9 Überfallhöhe $h_{\ddot{u}}$ in Abhängigkeit des Anstellwinkels α [19]

5.2.2. Antriebseinrichtungen der Fischbauchklappen

Bei größerer Lichweite lässt sich eine Lösung allerdings mit mehreren Antrieben finden. Bei höherem Stau und größerer lichter Weite und vor allem bei einseitigem Antrieb muss ein verdrehungssteifer Querschnitt, der eine Fischbauchklappe besitzt, gewählt werden.

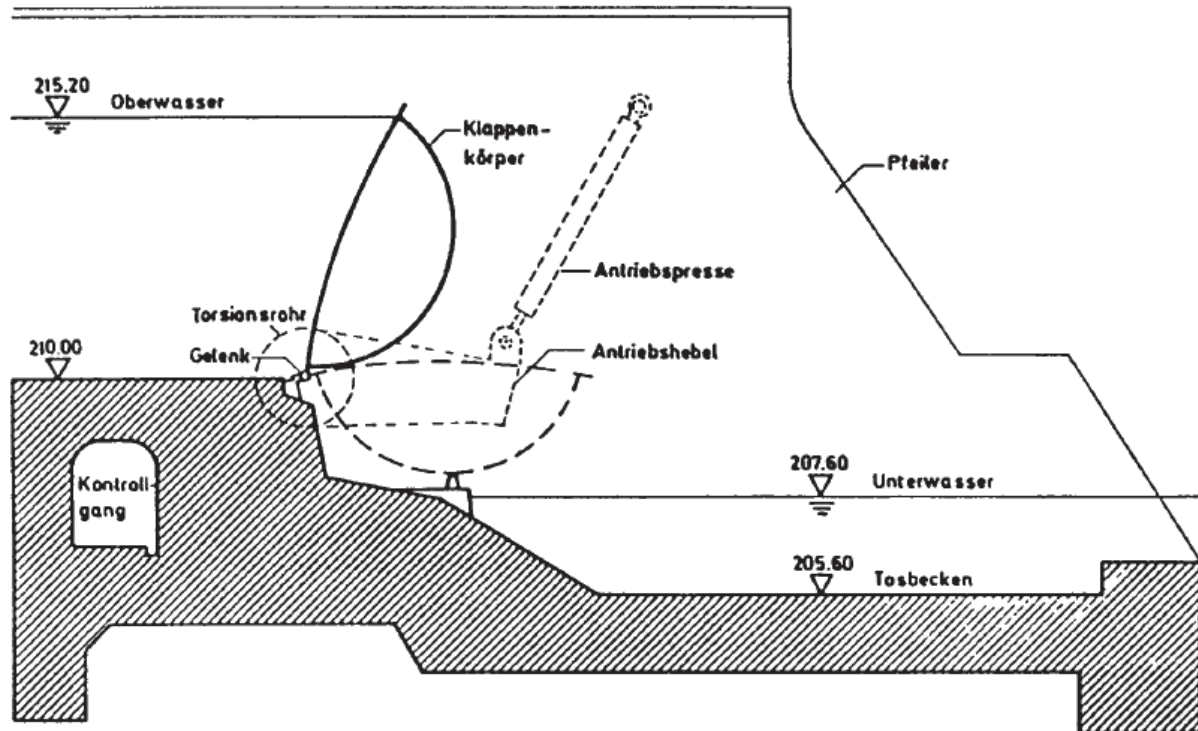


Abb. 5.10 Einseitiger Torsionsantrieb im Pfeiler [3]

Klappen bieten eine günstige Möglichkeit für die Anwendung des ölhydraulischen Antriebes. Die Klappendrehachse ist einseitig durch ein in den Pfeiler hineingehendes torsionssteifes Rohr verlängert, auf dem in der Pfeilergrube ein Hebel aufgebracht ist. Auf diesem wird die Kolbenstangenkraft übertragen. Der Arbeitszylinder ist der Klappenbewegung entsprechend in Gürtelzapfen schwenkbar gelagert. Er steht fast senkrecht. Auf ausreichende Breite der Pfeiler ist in diesem Fall zu achten [13].

Auch ein Antrieb von unten aus dem Wehrrücken heraus ist mit Hilfe von Druckzylinder mit Plunger möglich, wenn im Wehrkörper genügend Raum vorhanden ist. Der Zylinder stützt sich über Gürtelzapfen in dem mit dem Beton verankerten Rahmen ab und kann so die Schwenkbewegungen bei Klappenbetätigungen ausführen. Die Last wird über das am Plungerkopf befindliche Gelenk eingeleitet und setzt sich hier unmittelbar auf die Ölsäule ab.

Aus diesem Grunde ist es zweckmäßig, den Plunger wie hier, auf der Zylinderseite offen zu lassen, wenn auch dadurch eine größere Menge Betriebsöl erforderlich wird [13].

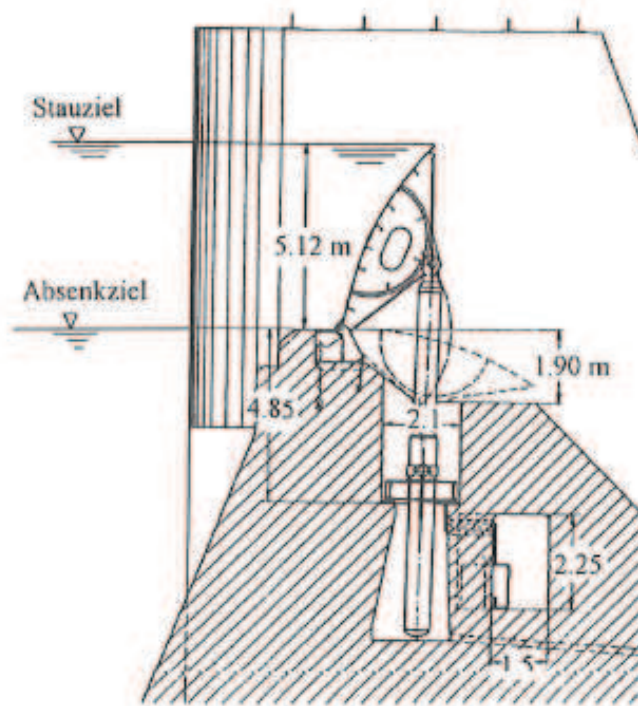


Abb. 5.11 Fischbauchklappe mit mittigem ölhydraulischem Antrieb [1]

Ein weiterer Vorteil ist dabei, dass in die Plungerwandung vorwiegend Zug-Ring-Spannungen aus dem Öldruck kommen. Eine Normalbeanspruchung auf Druck in Achsrichtung, die aus dem auf die untere Stirnwand des Plungers wirkenden Öldruck entsteht, ist vernachlässigbar klein. Es wird deshalb der unten geschlossene Plunger schwerer als der offene. Auch sei noch darauf hingewiesen, dass die Standsicherheit in ausgefahrener Stellung bei offenem Plunger durch den Innendruck besser ist. Bei geschlossenem Plunger ist allein die Einspannlänge am Stopfbuchsenlager für die Sicherheit gegen Knicken maßgebend [13].

Durch diesen unter der Klappe angeordneten Antrieb ist der Hubzylinder gegen Wasser-, Geschwemmsel- und Eiseinwirkungen geschützt.

In allgemeinem geht die Tendenz in Richtung der ölhydraulischen Antriebe, die etwas teurer in ihrer Anschaffung sind, jedoch später einen billigen Unterhalt aufweisen.

5.3. Statische Bemessung von Fischbauchklappen

Die Berechnung des charakteristischen hydrostatischen Wasserdruckes erfolgte nach den allgemein bekannten Formeln der Hydromechanik. Abb. 5.12 zeigt die Belastung auf die Fischbauchklappe. Die resultierende horizontale Linienlast je Meter ist [19]:

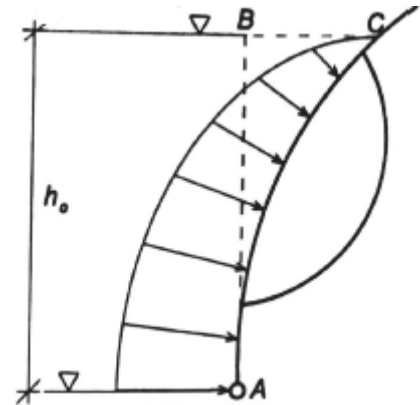


Abb. 5.12 Belastungsbild [19]

$$F_H = \gamma \cdot \frac{h_0^2}{2}; \quad \frac{kN}{m} \quad (5.1)$$

Die vertikale Belastungskomponente aus dem Staudruck ist die eingeschlossene Fläche ABC. Sie wird mit der Gleichung (5.2) bestimmt.

$$F_y = R \cdot \left[-p_0 \cdot \cos\varphi - \gamma \cdot R \cdot \left(\frac{1}{2}\varphi - \frac{1}{4}\sin 2\varphi \right) \right]_{\varphi_a}^{\varphi_b}; \quad \frac{kN}{m} \quad (5.2)$$

Die Winkel φ_a und φ_b (siehe Abb. 5.9) werden in Abhängigkeit vom Anstellwinkel α angegeben.

Abb. 5.13 zeigt den Wasserdruck p_0 auf Höhe des Mittelpunktes des Kreises mit dem Radius R der Stauwand. Der Mittelpunkt K wird in Abhängigkeit des Anstellwinkels α angegeben. Über ihn ist die gedachte Stauhöhe für den Wasserdruck p_0 zu bestimmen [19].

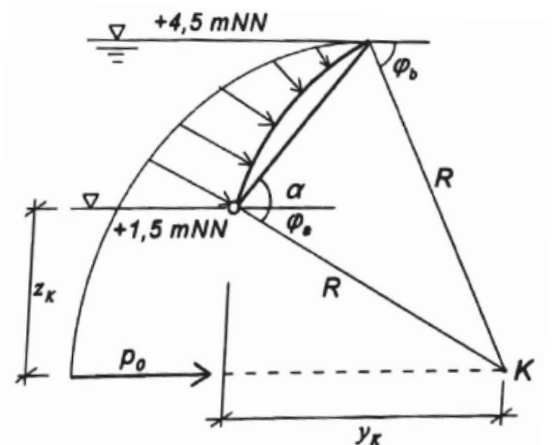


Abb. 5.13 Winkel φ_a, φ_b und Druck p_0 [19]

$$y_K = R \cdot \cos\varphi$$

$$z_K = R \cdot \sin\alpha$$

Das Torsionsmoment aus der resultierenden Wasserlast auf der Stauwand bezogen auf die Drehachse kann mit Gleichung (5.5) bestimmt werden (vgl. Abb. 5.14) [19].

$$F_R = \sqrt{F_H^2 + F_V^2}; \quad \frac{kN}{m} \quad (5.3)$$

der Länge Δz - Lagerabstand besteht. In den Schnittstellen werden nur die Biegemomente und Querkräfte frei, nicht dagegen die Torsionsmomente. Als statisch Überzählige X_i werden demzufolge in den Schnitten Biegemomente bzw. gleichwertige Kräftegruppen verwendet“.

Die Elastizitätsgleichungen nach dem Kraftgrößenverfahren haben bei starrer Lagerung auf der Sohle und starren Querschotten eine Form, die der 3-Momentengleichung des Durchlaufträgers auf starren Stützen entspricht:

$$X_{i-1}\delta_{i,i-1} + X_i\delta_{ii} + X_{i+1}\delta_{i,i+1} + \delta_{i0} = 0 \quad (5.1)$$

Hierbei ist δ der Neigungswinkel der Biegelinie am Auflager. Er beträgt

$$\delta_{ik} = \int \frac{D_i D_k ds}{OI_D} + \int \frac{M_i M_k ds}{EI_{yy}} + \int \frac{Q_i Q_k}{QF'} \quad (5.2)$$

Bei elastischer Lagerung auf der Sohle und/oder elastischen Querschotten entsprechen die Elastizitätsgleichungen der 5-Momentengleichung der Durchlaufträgers auf elastisch senkbaren Stützen:

$$X_{i-1}\delta_{i,i-1} + X_i\delta_{ii} + X_{i+1}\delta_{i,i+1} + \delta_{i0} = EI_{yy}x \left(\frac{A_i - A_{i-1}}{I_i} + \frac{A_i - A_{i+1}}{I_{i+1}} \right) \quad (5.3)$$

dabei ist A_i = Lagerkraft im Lager i und x ein konstanter Faktor zur Erfassung der elastischen Nachgiebigkeit der Sohle und der Querrahmen. [13]

Sind die $n-2$ statisch unbestimmten Lagerkraftkomponenten ermittelt, ergeben sich in bekannter Weise die endgültige Schnittgrößen und Verschiebungen. Zum Beispiel werden die Lagerkräfte [13]

$$A = A_0 + X_1A_1 + X_2A_2 + \dots + X_iA_i + \dots + X_nA_n \quad (5.4)$$

5.5. Schwingungen bei Fischbauchklappen

Bei Wehren mit niedrigen Unterwasser, wenn vollkommener Überfall vorliegt und sich zwischen Überfallband und Wehrkonstruktion noch ein Luftraum befindet, wird vom herabfallenden Wasserband aus den angrenzenden Räumen Luft mitgerissen, die mit dem Unterwasser abtransportiert wird. Die Folge davon ist dann die Ausbildung eines Unterdruckes zwischen Überfallstrahl und Wehrkonstruktion. Mit zunehmendem Betrag des Unterdruckes wird auch die Gefahr periodischer Schwingungen der Stahlkonstruktion erhöht.

Bei Fischbauchklappen sind die Fälle mit fast vollständig freigegebenem Durchflussquerschnitt für die Hochwasserabfuhr besonders zu beachten. Dann kann abhängig von der Klappenform und der Klappenstellung eine grundsätzliche Änderung der Druckspannungsfigur in der Art auftreten, dass mit einer Zunahme des Durchflussquerschnittes zur Überlaufkante hin ein Druckanstieg erfolgt.

Zur Vermeidung der Unterdruckausbildung zwischen Überfallstrahl, Stahlkonstruktion und Unterwasserspiegel werden im allgemeinen Belüftungsöffnungen in den seitlichen Wehrpfeilern angeordnet, über die eine Verbindung zum außen vorhandenen barometrischen Luftdruck hergestellt wird.

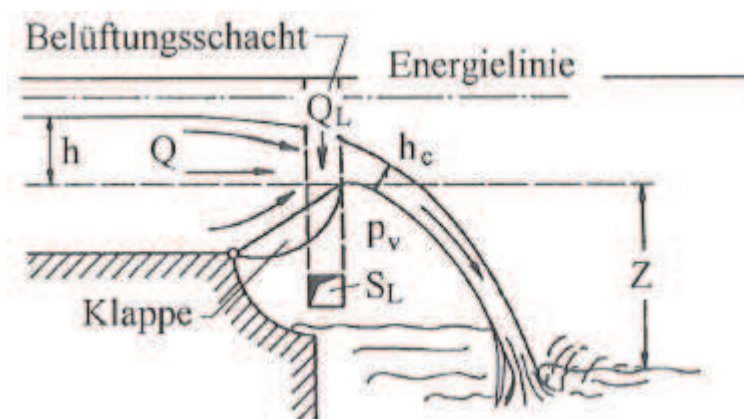


Abb. 5.15 Belüftung einer Fischbauchklappe [1]

Belüftungskoeffizient:

$$\beta = \frac{A}{1 - A},$$

Luft – Wasser – Verhältnis: $A = \frac{Q_L}{Q_L - Q}$

Q [m^3 / s] – Abfluss,

Q_L [m^3 / s] – Luftmenge

Belüftungsquerschnitt:

$$S_L = \frac{0,5 \cdot \beta \cdot \mu \cdot B \cdot h}{28 \cdot m_L} \cdot \sqrt{\frac{h}{p_u}} \quad (5.5)$$

$m_L = 0,9$ bis $1,0$ Verlustbeiwert im Schacht

μ – Überfallsbeiwert

B – Überfallsbreite

$p_u = 0,01$ bis $0,02$ m WS zulässiger Unterdruck

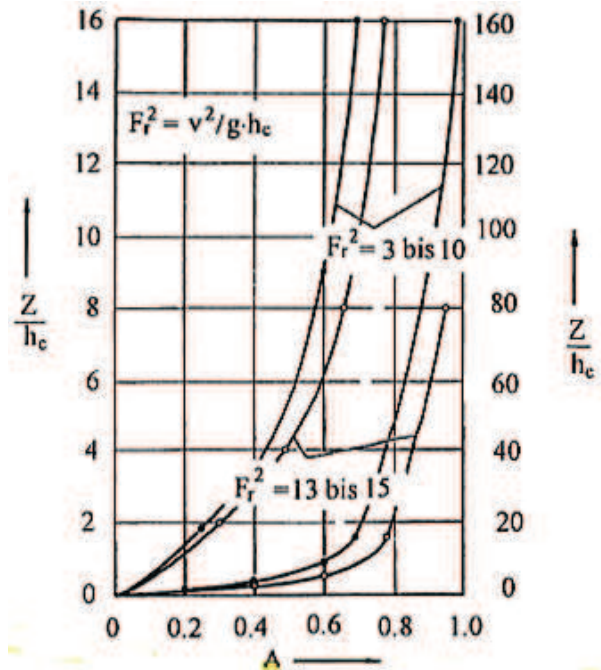
unter dem Überfallsstrahl [1]

Hier muss die Faustregel eingehalten werden:

gleichviel Luft wie Wasser, aber als zulässige

Luftgeschwindigkeit dürfen bis zu $70 \div 80$ m/s

angenommen werden [1].



Tab. 5.1 Luft-Wasser-Verhältnis [1]

Als zusätzliche Belüftungsmaßnahme haben sich die so genannte Strahlstörer oder Strahlaufreißer bewährt, die ca. im Abstand von 2m auf die Überfallkante aufgeschweißt werden, um das herabfallende Wasserband aufzureißen.

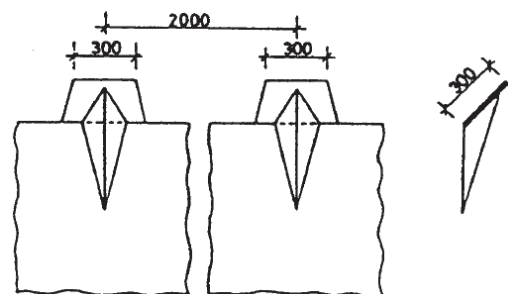


Abb. 5.17 Schematische Darstellung eines Strahlaufreißers [19]



Abb. 5.17 Strahlaufreißer einer Fischbauchklappe [unger-ingenieure.de]

Dementsprechend kommt es bei zu mächtigem Überfallstrahl wiederum zu einem geschlossenen Wasserband. Eine Lösung kann in solchen Fällen in der Ausbildung einer abgestuften Überfallhaube bestehen, deren Wirkungsweise in Abhängigkeit von den verschiedenen Überfallhöhen in jedem Fall – wie auch die Wirkungsweise der Strahlstörer – in hydraulischem Modell untersucht werden muss. Die Abstufung der Überfallhaube wird dabei in der Art vorgesehen, dass abschnittsweise durch entsprechend unterschiedliche Formgebung des Überfallrückens (unterschiedliche Krümmungen und Haubenbreiten) unterschiedliche Strahlsprungweiten erzielt werden. Einerseits kann an den Stellen der jeweiligen Querschnittänderung ein Ausgleich mit dem äußeren barometrischen Luftdruck erfolgen und andererseits wirkt die zwischen den Strahlteilen vorhandene Phasenverschiebung zusätzlich schwingungsdämpfend auf die Struktur.

Darüber hinaus hat eine abgestufte Überfallhaube den Vorteil, dass diese als Träger nur an die Momentenlinie angepasst ausgeführt werden kann. Von Seiten der Aufhängung bzw. der Antriebe ist die vorteilhafte dämpfende Wirkung von Hydraulik-Zylindern gegenüber der

Seilaufrückung hervorzuheben, da bei der letzteren die elastische Seildehnung eine zusätzliche Anfrachtung bewirken kann.

5.6. Hydraulische Bemessung - vollkommener Überfall über einer Fischbauchklappe

Bei vollkommenem Überfall, bei getauchtem und vollständig belüftetem Strahl, errechnet sich der Abfluss aus.

$$Q = \frac{2}{3} C_q^* B \sqrt{2g} \left[\left(h + \frac{v^2}{2g} \right)^{\frac{3}{2}} - \left(\frac{v^2}{2g} \right)^{\frac{3}{2}} \right] \quad (5.6)$$

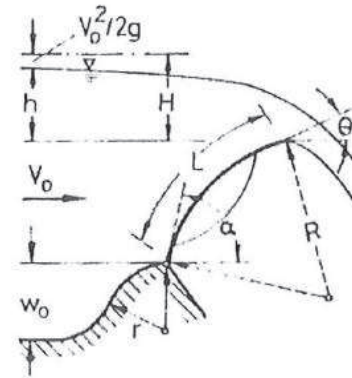
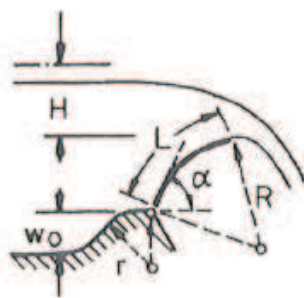


Abb. 5.18 Anströmverhältnisse bei Klappenwehr [1]

Für ein Überschlagsrechnung kann die Geschwindigkeit $v^2/2g$ vernachlässigt und die vereinfachte Beziehung benutzt werden.

$$Q = \frac{2}{3} C_q^* B \sqrt{2g} h^{\frac{3}{2}} \quad (5.7)$$



$$C_q^* = \frac{q}{\frac{2}{3} \sqrt{2g} h^{\frac{3}{2}}}$$

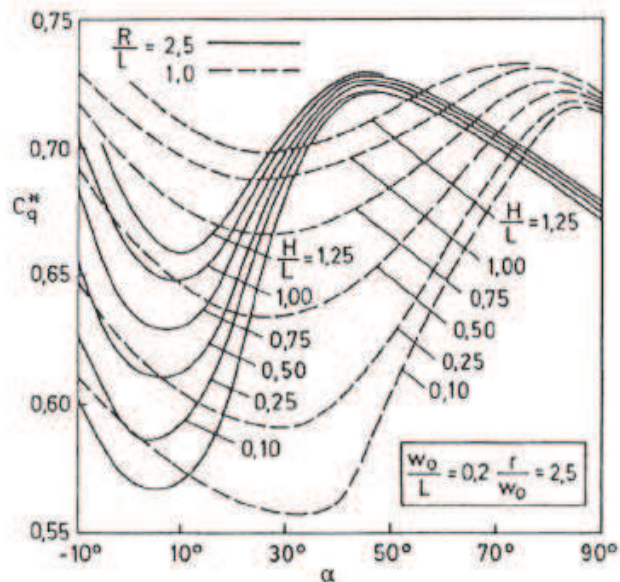


Abb 5.19 Abflussbeiwert C_q^* für einen vollbelüfteten Wehrverschluss mit gerümpelter Stauwand[1]

5.7. Vergleich der Fischbauchklappe mit Sektor- und Trommelwehren

Als Vorteile der Klappenwehre können die gute Eis- und Geschwemmselabfuhr, die Regulierbarkeit infolge der Überströmung, die glatten Pfeilerwände und das Fehlen von Wehraufbauten genannt werden.

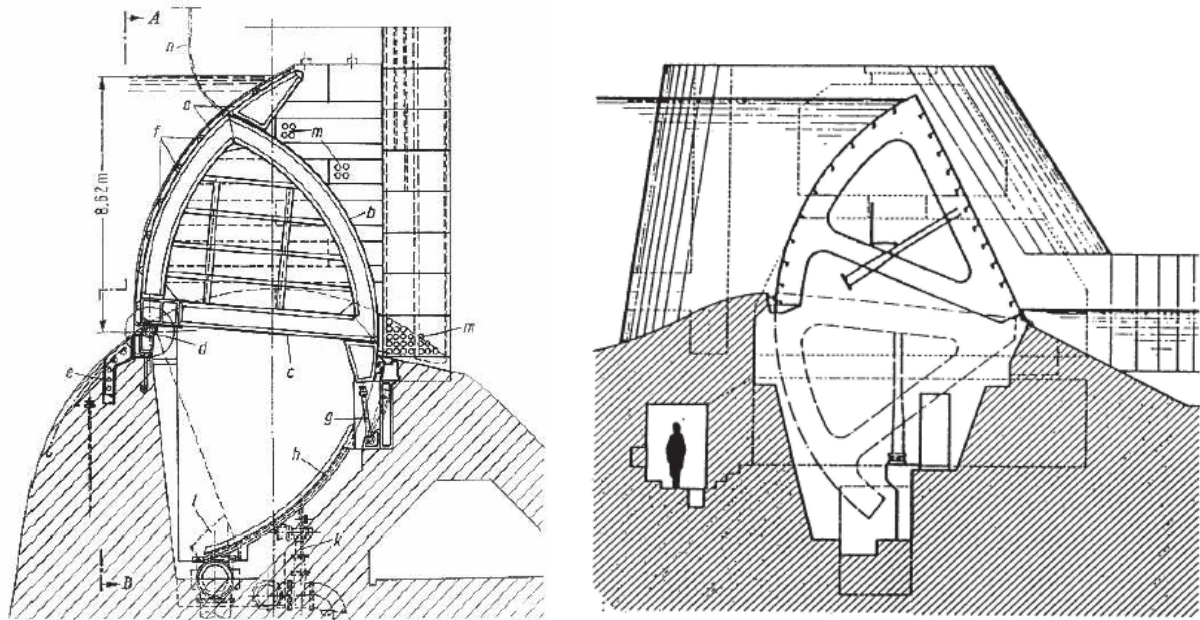


Abb. 5.20 Trommelwehr (links) und Sektorwehr (rechts) [3]

Das Sektorwehr bedingt aufwendig, teure Tiefbauarbeiten und der Unterhalt ist nur im Schutze von Dammbalken, im vollkommen trockenen Zustand möglich. Die Betriebssicherheit ist massgebend von den Dichtungen des Sektors abhängig. Das Sektorwehr ist ungünstig für den Geschiebetransport. Geschiebeablagerungen im Oberwasser können die Regulierbarkeit stark beeinträchtigen. Der Abfallboden muss besonders geschützt werden, weil insbesondere bei Eisgang der Korrosionsschutz zerstört werden kann [3].

Das Trommelwehr behindert auch den Geschiebetransport, was die Regulierbarkeit infolge Ablagerungen einschränken kann. Besonders nachteilig ist, dass auch das oberwasserseitige Scharnier die Lagerkräfte als Zugkräfte in den Beton abgetragen werden, was die Tiefbauarbeiten im Vergleich zum Sektorwehr noch aufwendiger macht. Die Trommel- und Sektorwehre werden heute ziemlich selten bzw. nicht mehr gebaut [3].

6. Entwurfsgrundlagen von Schlauchwehren

Schlauchwehre sind flexible Dammkörper, bei denen ein Gummigewebe so auf einem festen Wehrkörper verankert wird, dass ein dichter Innenraum, also ein Schlauch entsteht. Dieser Schlauch wird entweder mit Luft oder Wasser gefüllt und durch Regulierung der Füllmenge auf eine gewünschte Höhe eingestellt. Schlauchwehre sind die technischen Nachfolger der früheren Dachwehre, die ebenfalls mit Wasser gefüllt wurden und der Innendruck stützte die Bauteile gegen den Wasserdruck des Oberwassers. Das Schlauchwehr perfektioniert die Idee mittels der Verwendung gewebeverstärkter Gummibahnen. Schlauchwehre besitzen bei Bau, Betrieb und Instandhaltung gewisse wirtschaftliche Vorteile gegenüber Stahlwasserbauverschlüssen und zwar eine gute Einpassung in Flusslandschaft und deutlich niedrigeren Investitionskosten, deswegen dieser Wehrtyp in den vergangenen Jahren an Bedeutung gewonnen hat.

6.1. Anwendungsbereiche für die Schlauchwehre

Schlauchwehre werden momentan bis zu einer Stauhöhe von 6m eingesetzt, aktuell laufen Studien für Stauhöhen bis 8,50m. Einteilig können Schlauchwehre bis zu einer Breite von 200m ausgeführt werden. Durch den Einbau von Zwischenpfeilern ist die Wehrbreite nahezu unbegrenzt [3].

Schlauchwehre können eingesetzt werden als:

- Stauwehr mit festem Stauziel für Wasserkraftnutzung
- Stauwehr mit variablem Stauziel
- Temporäre Sperre als Ölwehr
- Temporäre Sperre als Hochwasserschutz
- Sperre zur Trennung von Süß- und Salzwasser
- Anwendungen im Küstenschutz

Es können also sehr unterschiedliche Anforderungen erfüllt werden. Dazu stehen verschiedene Regelungssysteme für folgende Aufgabenstellungen zur Verfügung [3]

- Niveau- oder Druckregulierung

- Durchflussregulierung und/oder –begrenzung

Schlauchwehrkonstruktion bieten den Vorteil, dass die aus dem Staudruck resultierenden Kräfte gleichmäßig auf die gesamte Wehrbreite verteilt eingeleitet werden. Darüber hinaus ist durch die konstruktiven Eigenschaften von Schlauchwehren ein einfacher Einbau in vorhandene Öffnungen möglich [3].

6.2. Gestaltung des Schlauchwehres

Bei der Wehrgeometrie können Schlauchwehre im Hinblick auf die Ausbildung des massiven Wehrkörpers, eben oder geneigt, oder die Gestaltung der Wehrpfeiler, senkrecht, geneigt oder ausgerundet unterschieden werden. Bei bestehenden Wehranlagen bestimmen häufig bauliche Randbedingungen die Wehrgeometrie.

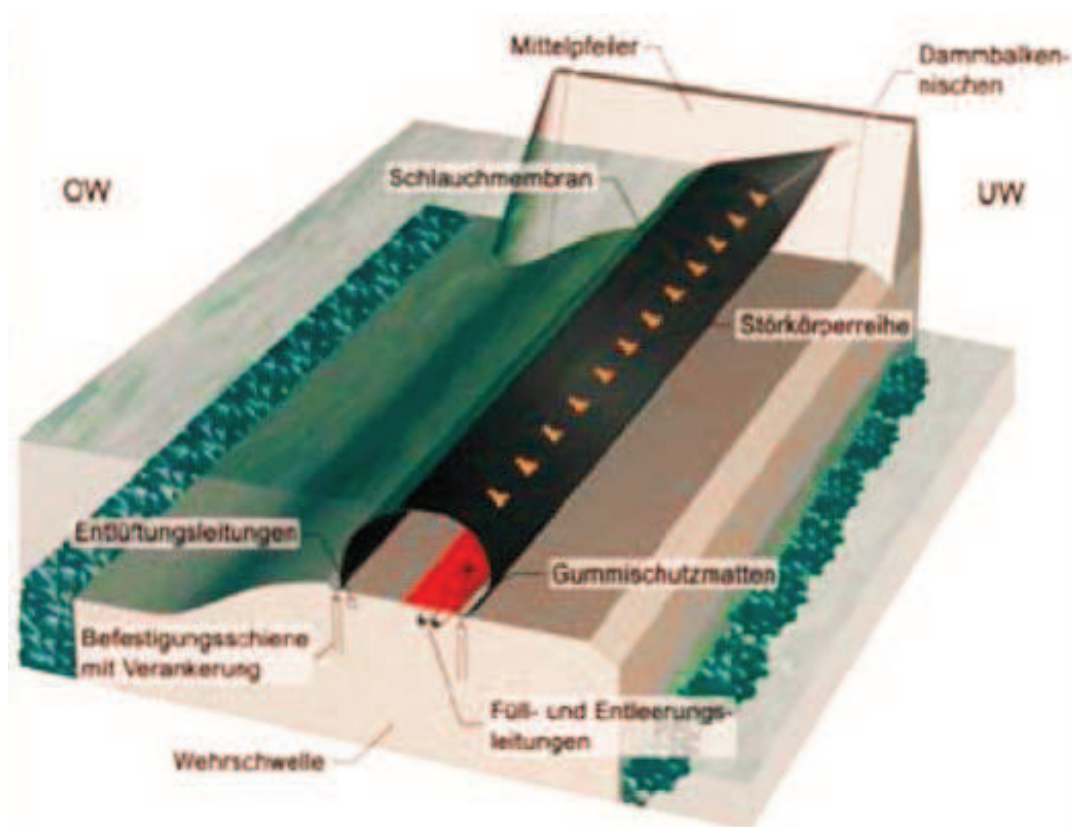
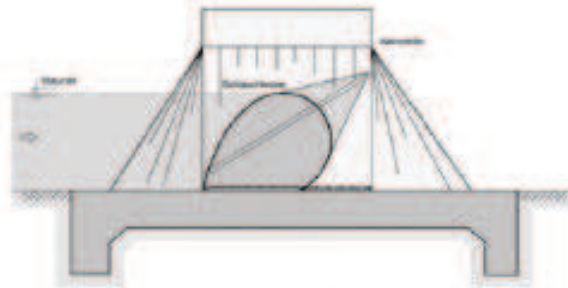


Abb. 6.1 Konstruktionselemente eines Schlauchwehres [28]

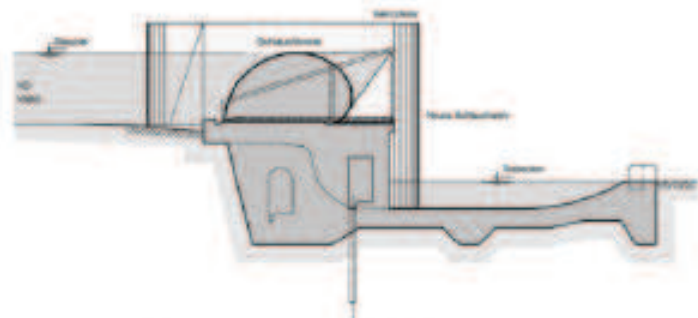
6.2.1. Wehrgeometrie

Betrachtet man die ausgeführten Schlauchwehranlagen, so lassen sich die Wehrgeometrien im Wesentlichen in 4 Wehrtypen unterteilen:

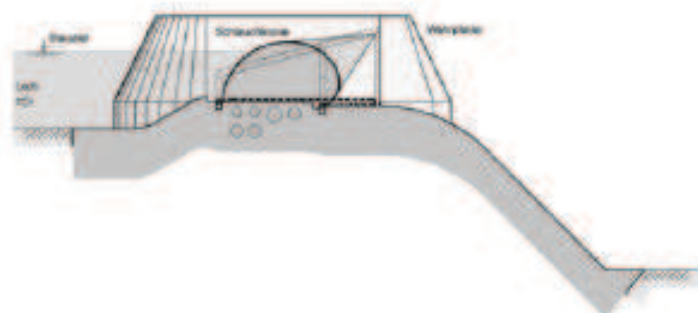
Ebener Wehrkörper



Wehrkörper mit senkrechtem Absturz



Wehrkörper mit ausgerundetem Wehrrücken



Schiffbare Schlauchwehre

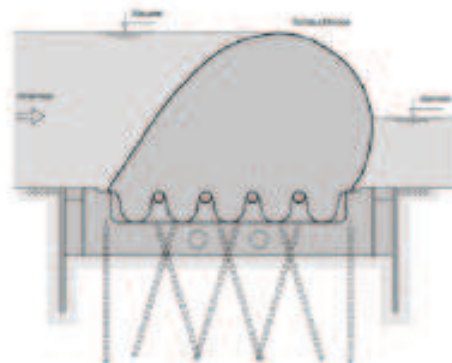


Abb. 6.2 Typische Wehrgeometrien für Schlauchwehre [21]

Wehrpfeiler und Wehrwangen werden, wenn möglich, mit geneigten Seitenflächen ausgeführt, da sich dadurch eine günstigere Faltenausbildung beim seitlichen Anschluss der Schlauchmembran ergibt. Dabei können die Geometrie des Flussbettes beibehalten und aufwendige Flügelmauern eingespart werden. Senkrechte Seitenflächen findet man dagegen bei Anlagen, bei denen aus baulichen oder wirtschaftlichen Gründen auf die Ausbildung geneigter Seitenflächen verzichtet wurde. Bei den schiffbaren Schlauchwehren gilt die besondere Aufmerksamkeit der Lagerung der abgelegten Membran, damit diese Membran bei Überfahren nicht durch den Schraubenstrahl angezogen und beschädigt wird.



Abb. 6.3 An Schräge Seitenwände angeschlossene Schlauchwehr [www.wol-tec.de]

6.2.2. Befestigungssystem

Das Befestigungssystem erfüllt zwei Aufgaben:

- Die Einleitung der Kräfte aus Innendruck und Stauhaltung in das Fundament
- Die Herstellung der Dichtheit des Schlauchwehres

Das Befestigungssystem besteht aus Schienen zur Befestigung des Schlauches. Dadurch entsteht zusammen mit den Seitenwandschienen eine umlaufende Verklemmung, sodass ein dichter Raum im Schlauchinneren entsteht.

Zur Verklemmung des Schlauches können entweder eine oder zwei Befestigungsschienen (Abb. 6.4) verwendet werden. Bei wassergefüllten Schlauchwehren wird immer mit zwei Schienen gearbeitet, bei luftgefüllten Schlauchwehren ohne Unterwassereinstau kann auch eine Befestigungsschiene genügen. Reicht der Unterwasserrückstau im nicht überströmten Zustand bis an das Schlauchwehr zurück und übersteigt der Wasserspiegel eine Höhe von mehr als 20% der Schlauchhöhe, muss eine zweite Befestigungsschiene vorgesehen werden [3].

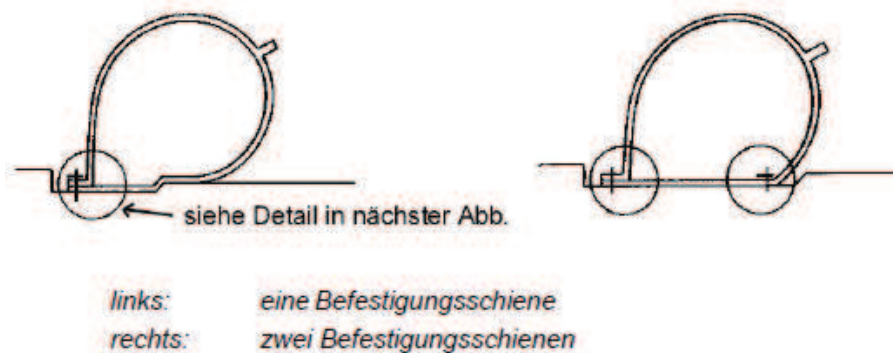


Abb. 6.4 Verklemmung des Schlauches [3]

Die Schienen müssen folgende Anforderungen erfüllen:

- Aufnahme der Schrauben zur Schlauchbefestigung
- Dichtfläche zur Herstellung eines dichten Schlauchanschlusses
- Übertragung der Lasten auf den Wehrkörper

Dies wird erreicht durch:

- eine lastfreie Schiene, die nur Dichtfläche und Geometriekörper für die Schrauben ist
- einen durchgehenden Anker, der die Lasten direkt in den Beton und die Bewehrung überträgt

Die Befestigungsschienen (Abb. 6.5) bestehen aus profilierten Ober- und Unterschienen, die feuerverzinkt ausgeführt sind. Anker und Mutter werden aus Edelstahl hergestellt [3].

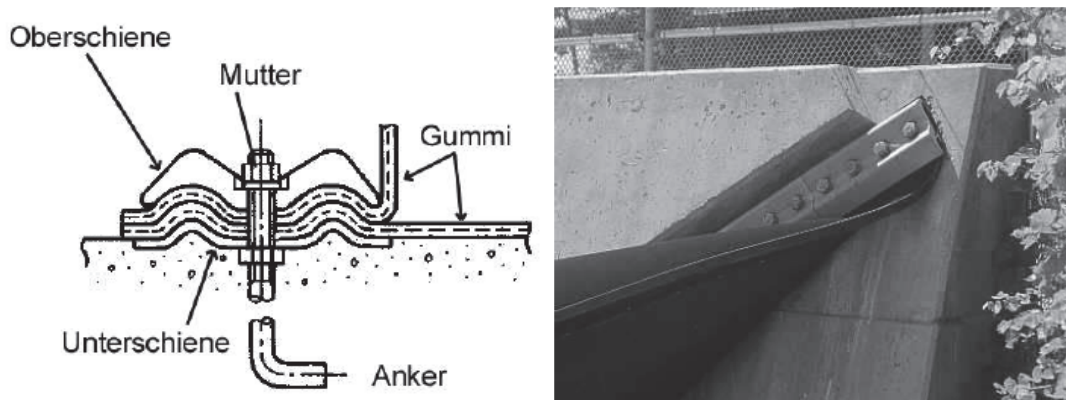


Abb. 6.5 Detail einer Befestigungsschiene, rechts- Seitenwandschiene [Floeksmühle Energietechnik GmbH, Deutschland]

Unter der Voraussetzung, dass der vorhandene Wehrkörper eine homogene Struktur aufweist und die Betonqualität B 25 oder B 35 entspricht, können Schlauchwehre auch angedübelt werden.

Das Befestigungssystem wird durch die Seitenwandschienen und besondere Anker im Seitenwandbereich ergänzt, die einfache Betonarbeiten ermöglichen [3].

6.2.3. Material

Das Gummigewebe des Schlauchwehres ist folgenden Belastungen ausgesetzt:

- Innendruck (mindestens achtfache Sicherheit durch Gewebeeinlagen)
- Abtrieb und Stöße durch Geschiebe und Geschwemmsel (Gummidicke)
- Chemische Belastungen im Wasser
- UV-Strahlung der Sonne, Ozon in der Atmosphäre

Die Auslegung des Gummimaterials erfolgt speziell in Hinblick auf diese Belastungen, so dass eine hohe Lebensdauer und Betriebssicherheit erreicht werden [3].

Die Dicke der Gummimembran ist abhängig von den lokalen Gegebenheiten wie Geschwemmsel- und Geschiebeaufkommen und von der Schlauchwehrröhe. In Tab. 6.1 sind Richtwerte für die Gummidicken in Abhängigkeit von der Schlauchwehrröhe angegeben.

Schlauchwehrhöhe H_0 [m]	Gummidicke [mm]
$H_0 < 1.0$	8.6
$1.0 < H_0 < 2.2$	10.6
$2.2 < H_0 < 2.9$	12.4
$2.9 < H_0 < 3.5$	13.8
$3.5 < H_0 < 4.0$	15.2
$4.0 < H_0 < 6.0$	22.5

Tab. 6.1 Richtwerte für Gummidicken in Abhängigkeit von der Schlauchwehrhöhe [3]

Geschiebe in Form von Sand und Kies wird durch die Abtriebsfestigkeit des Gummis bewältigt. Auch nach einigen Betriebsjahren sind keine Wirkungen festzustellen. Werden jedoch größere Steine mitgerissen, so reicht die Elastizität des Schlauchwehrmaterials möglicherweise nicht mehr aus, um die Energie abzubauen. Dann besteht die Gefahr des „Durchstanzes“. Dem lässt sich konstruktiv auf zwei Wegen begegnen: zum einen durch Verstärkung (Verdickung) des Schlauchmaterials, zum anderen durch den Einbau spezieller Gummi-Schichten. Durch Variationen der Dicke lässt sich in jedem Fall erreichen, dass auftretende Gesteinsbrocken elastisch abgebremst und wieder zurückgeworfen werden, ohne dass der Schlauch beschädigt wird [3].

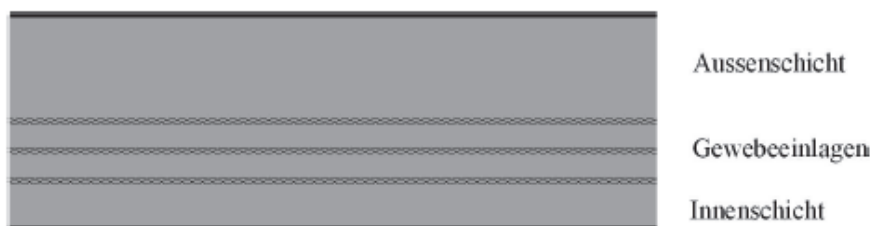


Abb. 6.6 Aufbau des Gummimembran [3]

Auf der Unterseite des Schlauches kann zusätzlich eine Schlauchwehrunterlage als Verschleißschutz angebracht werden. Diese verhindert bei wassergefüllten Anlagen die schädliche Wirkung von Geschiebe, das unter den abgelegten Schlauch eingezogen wird.

Kann es trotz allen Vorkehrungen dazu kommen, dass der Schlauch verletzt wird. Kleine Schäden wie Löcher durch Stiche, Schnitte etc. Können rasch durch Kaltvulkanisation oder

Pfropfen behoben werden. Erfahrungen zeigten bisher auch, dass sich allfällige Risse, von einer örtlichen Schadstelle ausgehend, wegen der hohen Reissfestigkeit nur langsam fortsetzen, so dass sich der Schlauch entsprechend verzögert entleert. Ein plötzliches Platzen des Wehres ist nicht möglich, womit die Gefahr eines Schwalles in das Unterwasser ausgeschlossen werden kann.

6.3. Betrieb von Schlauchwehren

Schlauchwehre können mit Wasser oder Luft gefüllt werden. In beiden Fällen bildet sich an der Außenhaut des Schlauches ein Gleichgewicht zwischen den inneren Druckkräften und der äußeren Wasserauflast. Durch Variation des Füllvolumens kann die Höhe des Schlauches verändert und damit den Erfordernissen bei der Stauhaltung angepasst werden.

Das Füllmedium wird dem Schlauchwehr durch Rohrleitungen zugeführt, die mit dem Regulierteil in Verbindung stehen. Bei steigendem Wasser im Staubereich wird der Schlauch sukzessive entleert, bis er schließlich die volle Wehröffnung freigibt (Abb. 6.7).

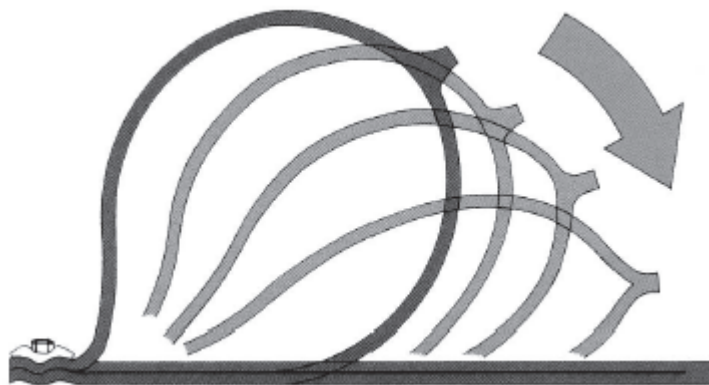


Abb 6.7 Ablegen des Schlauches [3]

Umgekehrt wird der Schlauch bei fallendem Wasserstand wieder aufgeblasen und hält auf diese Weise den Oberwasserstand konstant [3].

Die Veränderung des Stauziels ist mit wassergefüllten Schlauchwehren sehr gut möglich. Das Wehr muss dann in der Planung auf die größte Stauhöhe ausgelegt werden. Bei luftgefüllten Wehren kann das Wehr ohne Überströmung nur auf die volle Höhe aufgeblasen werden. Der

Schlauch steht dann entsprechend höher als der Wasserspiegel. Bei steigendem Wasserspiegel lässt das Reguliernsystem Luft ab und der Schlauch wird überströmt. Bis zu einer Absenkung auf ca. 95 bis 90% der Maximalhöhe verhalten sie sich ähnlich wie wassergefüllte Schlauchwehre. Bei weiterer Absenkung bildet sich an einer Stelle eine V-förmige Vertiefung (Abb. 6.8), an der eine stärkere Überströmung des Wehres erfolgt. Die Variation der Schlauchhöhe zur Anpassung an verschiedene Stauziele ist daher nur begrenzt möglich [3].



Abb. 6.8 Absenkung des luftgefüllten Schlauchwehres in Kibling [www.pnp.de]

Bei Betriebsverhältnissen mit unterschiedlichen Stauzielen und einer Differenz von mehr als 5 bis 10cm und einer zeitlichen Dauer von mehr als einigen Tagen im Jahr ist ein wassergefülltes Schlauchwehr besser geeignet, da die Schlauchwehrrhöhe individuell im Bereich von 60 bis 100% der Stauhöhe angepasst werden kann. Auch bei mehrfeldrigen Wehranlagen werden die wassergefüllten Schlauchwehre gleichmäßig überströmt.



Im Winterbetrieb haben luftgefüllte Schlauchwehre erhebliche Vorteile gegenüber den wassergefüllten, da bei langhaltenden Frostperioden die Möglichkeit einer teilweisen Vereisung des Füllwassers besteht. Dies gilt jedoch nur für die Luftseite des Schlauches, da die benetzte Seite immer vom Flusswasser erwärmt wird. Zur Verhinderung der Vereisung sind verschiedene Gegenmassnahmen denkbar:

- Ständige Überströmung zur Verminderung der Luftkontaktfläche
- Zwangszirkulation des Füllwassers
- Beheizung

6.4. Regulierte Systeme

Moderne Regulierte Systeme von Schlauchwehren haben, unabhängig vom Füllmedium, folgende Eigenschaften:

- genaue Einhaltung des Stauziels
- externe Einhaltung des Stauziels
- Verknüpfung mit anderen Regelsystemen
- Einstellung des Schlauches nach Programm möglich
- Aufrechterhaltung des Staus auch bei Netzausfall
- Notabsenkeinrichtung

6.4.1. Luftgefüllte Schlauchwehre

Luftgefüllte Schlauchwehre reagieren im Gegensatz zu den wassergefüllten Ausführungen schnell auf veränderte Bedingungen. Ein Regulierschacht ist nicht erforderlich. Die Rohrleitung kann direkt in den oberirdischen Schaltschrank geführt werden, in dem die Ventile und der Kompressor untergebracht sind. Zusätzlich ist eine Anlage zur Kondensatabfuhr erforderlich. Die Regulierung luftgefüllter Schlauchwehre erfolgt über zwei voneinander unabhängige Systeme, die nachfolgend beschrieben werden sollen [3].

- **Kontrolle des Oberwasserstandes**

Im ersten Fall wird die Schlauchwehrröhe über die Erfassung des Oberwasserstandes reguliert. Mit einer Veränderung des Innendruckes des Schlauchwehres wird auf schwankende Oberwasserstände reagiert. So kann das gewünschte Stauziel jederzeit eingehalten werden. Eine Prinzipskizze dazu ist in *Abb. 6.8* dargestellt [3].

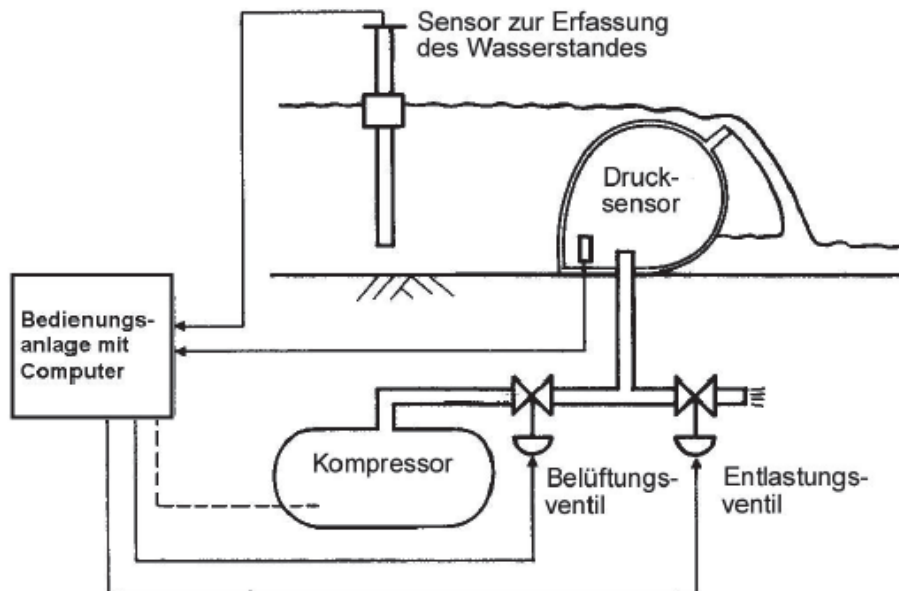


Abb 6.9 Prinzipskizze zur Funktionsweise des Reglersystems über die Messung des Oberwasserstandes [3]

Die Regulierung läuft folgendermaßen ab:

- 1) Der Oberwasserspiegel wird mit einem Sensor gemessen. Die Werte zum Computer übertragen
- 2) Durch spezielle computergesteuerte Berechnungen mit den in (1) ermittelten Daten werden die Bedienungszeiten für den Kompressor oder für das Entlastungsventil bestimmt. Der Oberwasserspiegel schwankt so nur $\pm 50\text{mm}$ um das Stauziel.
- 3) Das Schlauchwehr füllt oder entleert sich automatisch in Abhängigkeit von den in (2) berechneten Bedienungszeiten
- 4) Der Oberwasserspiegel wird an das Stauziel durch Wiederholen der Schritte (1) bis (3) weiter angenähert.

- **Absenken mittels mechanisch wirkendem Schwimmersystem**

Da im Hochwasserfall der Absenkvorgang unbedingt störungsfrei ablaufen muss, bedient man sich hier eines mechanischen Systems. Das Schwimmersystem arbeitet vollautomatisch. Das Ventil wird rein mechanisch über einen Schwimmer im Pegelschacht betätigt. Steigt der Wasserspiegel im Pegelschacht unzulässig hoch an, öffnet sich dieses Ventil und lässt Luft aus dem Schlauchwehr ab, bis der Wasserspiegel wieder sinkt. Der Schwimmerschacht muss, wenn erforderlich, beheizt werden [3].

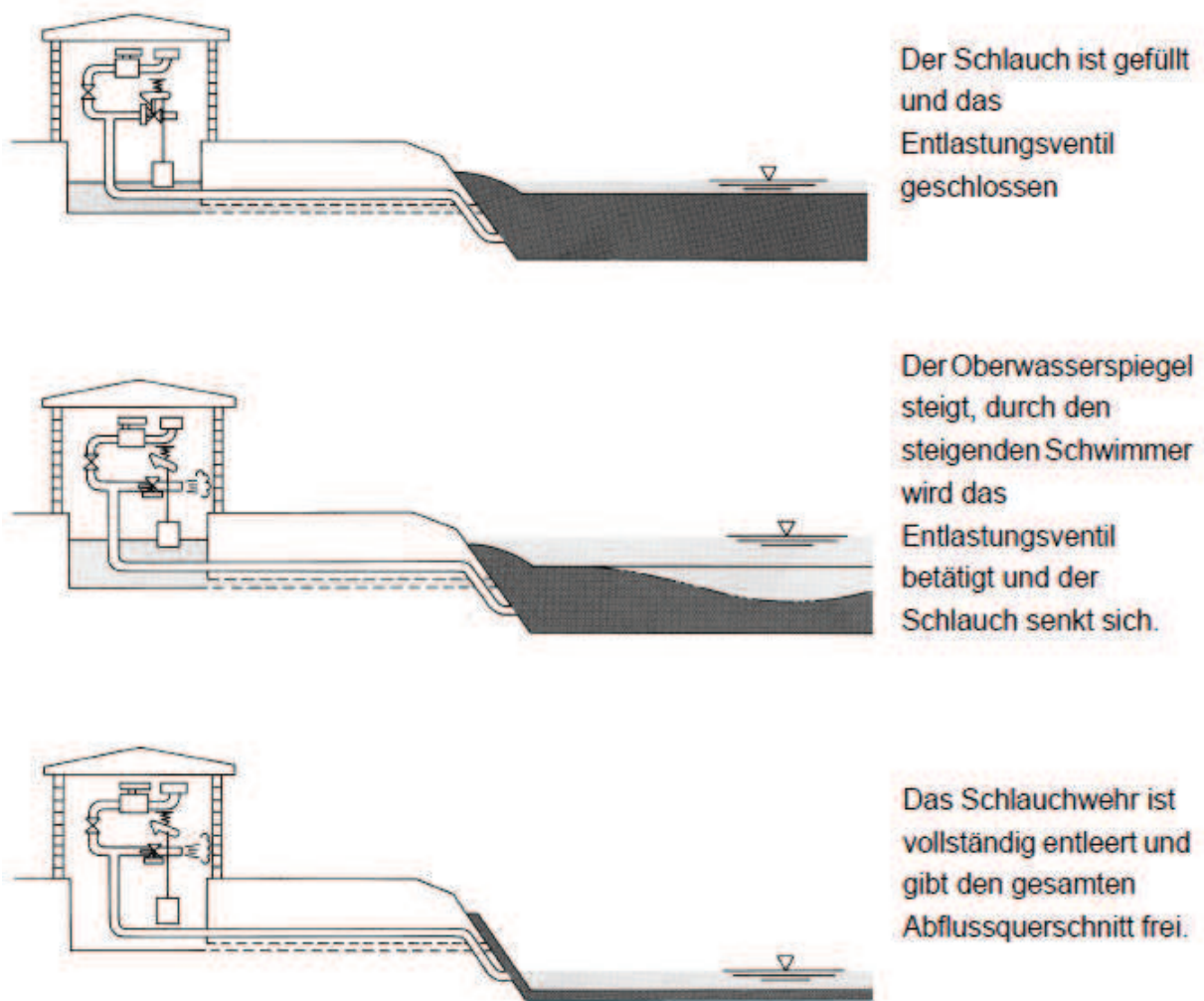


Abb. 6.10 Funktionsweise eines mechanisch wirkenden Schwimmersystems [Bridgestone Corporation, Japan]

6.4.2. Wassergefüllte Schlauchwehre

Wassergefüllte Schlauchwehre reagieren im Vergleich zu luftgefüllten träge, deshalb dauert der Füll- und Entleerungsvorgang signifikant länger.

- **Konventionelle Regulierung**

Das Füllmedium Wasser gelangt durch eine Rohrleitung innerhalb des Betonkörpers in das Schlauchinnere. Zum Aufrichten des Schlauches genügt bereits ein geringer Überdruck von ca. 20% im Schlauchinneren. Dieser Überdruck wird durch einen offenen Schacht am Ufer bereitgestellt, der über die Füllrohrleitung mit dem Schlauch verbunden ist. Eine Tauchpumpe fördert Wasser in den Regulierschacht. Mit zunehmender Schlauchfüllung wird das Oberwasser aufgestaut [3].

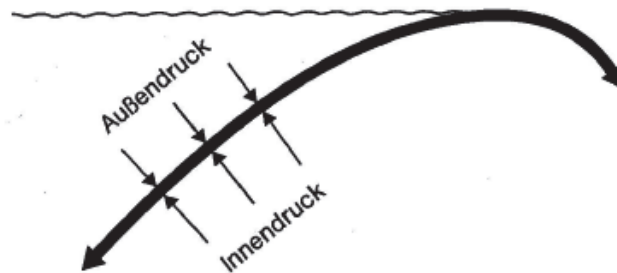


Abb. 6.11 Lastverteilung (Gleichgewicht) längs der Gummimembran [Dumont, 1988]

Es bildet sich schließlich ein Gleichgewicht zwischen dem Druck des Oberwassers auf den Schlauch und dem Innendruck aus (Abb.6.11). Jede Veränderung des Gleichgewichts führt zu einer Bewegung des Schlauches: Wird der Aussendruck erhöht, steigt auch der Innendruck. Das aber bedeutet, dass Wasser über die Kante des Regulierschachtes fließt und damit das Oberwasser, so wird der Innendruck kleiner: innerhalb des Schlauches sinkt der Wasserspiegel und durch eine automatische Schaltung wird über die Pumpe Wasser nachgefördert, wodurch sich der Schlauch wieder aufrichtet [3].

Damit ist dieses Schlauchsystem ein automatisch arbeitendes Wehr. Bei Hochwasser wird der Schlauch soweit entleert, dass er schließlich völlig flach am Boden liegt und die volle Wehröffnung freigibt.

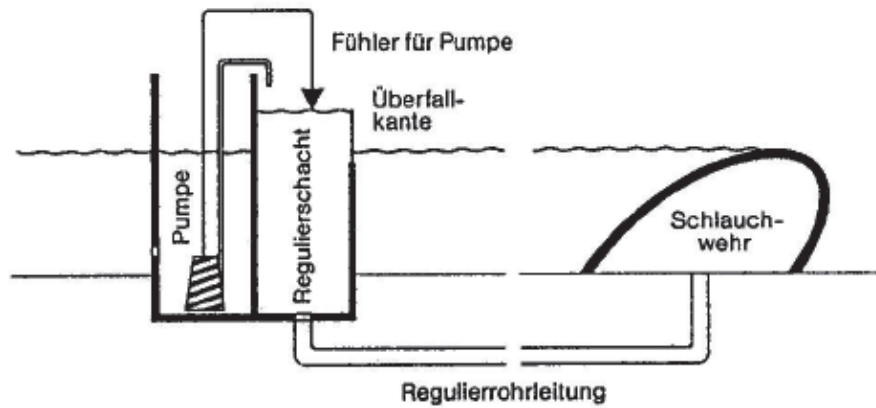


Abb. 6.12 Wassergefülltes Schlauchwehr mit konventioneller Regulierung [Dumont, 1988]

Diese konventionelle Gleichgewichtsregelung ist allerdings nicht besonders feinfühlig. So ist in den meisten Fällen ein Überstau um ca. 10 bis 15cm erforderlich, um den Schlauch völlig zu entleeren. Da jedoch oft ein konstanter Oberwasserstand eingehalten werden muss, wurde dieses alte Regelsystem weiterentwickelt [3].

- **Automatische Regulierung**

Zusätzlich zum konventionellen Reglersystem mit Tauchpumpe wird über dem Regulierschacht die Schaltanlage errichtet. Diese erfasst den Oberwasserspiegel elektronisch. Ein Regler gibt je nach Wasserstand Stellbefehle an das Reglersystem, um die Füllung des Schlauches zu verändern. Eine Prinzipskizze dieses Reglersystems ist in der folgenden Abb. 6.13 dargestellt.

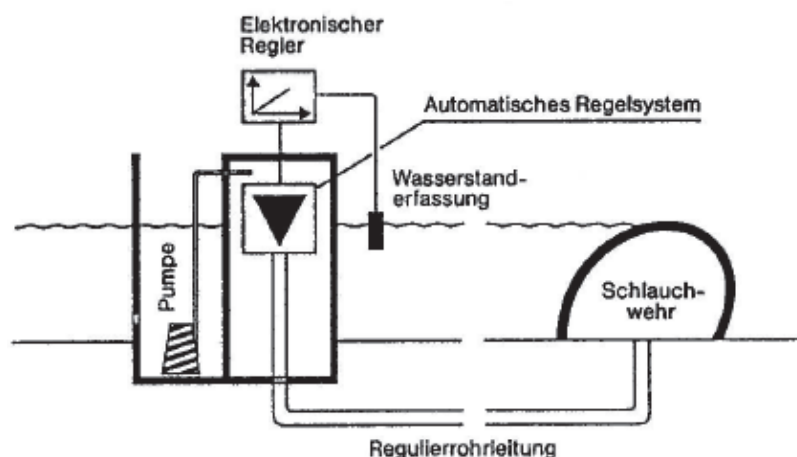


Abb. 6.13 Ein Wassergefülltes Schlauchwehr mit automatischer Regulierung [Dumont, 1988]

Auf diese Weise ist, von Anfangsschwingungen abgesehen, die Regulierung des Wasserspiegels mit einer Genauigkeit von wenigen Zentimetern möglich. Die von der konventionellen Ausführung bekannte Sicherheitsfunktion bei Hochwasser bleibt erhalten: auch bei Netzausfall wird der Schlauch abgesenkt [3].

6.4.3. Vergleich wasser- und luftgefüllter Schlauchwehre

In jedem einzelnen Anwendungsfall muss entschieden werden, welches das optimale Füllmedium ist. Dabei weist Luft jedoch Vorteile hinsichtlich Kosten, Winterbetrieb und Stellgeschwindigkeit auf.

	Wassergefüllte Systeme	Luftgefüllte Systeme
Ablagelänge des Schlauches	2.4 mal Schlauchhöhe	1.9 mal Schlauchhöhe
Überströmen	gleichmässiges Überströmen	Überströmung erfolgt nicht gleichmässig; Bildung von V-förmiger Vertiefung unterhalb 90 bis 95% der Maximalhöhe
Überströmbarkeit	Überströmhöhe kann bis zu 50% der Stauhöhe betragen	Überströmhöhe kann nur bis zu 20% der Stauhöhe betragen
Anpassung an verschiedene Stauziele	einfach	nur begrenzt möglich
Rohrleitungsdurchmesser	gross	klein
Winterbetrieb	konstruktive Massnahmen bei harten Winterbedingungen erforderlich, um das Einfrieren zu verhindern	keine Eisbildung
Stellzeiten	lang (Füllprozess 44 mal länger als mit Luft)	kurz
Reguliersystem	Regulierschacht erforderlich	Regulierschacht nicht erforderlich
Kosten	teuer	billig

Tab. 6.2 Vergleich der Füllmedien Wasser und Luft [3]

In *Tab. 6.2* wurden luft- und wassergefüllte Systeme nach verschiedenen Kriterien miteinander verglichen.

Der Vergleich der Querschnitte wasser- und luftgefüllter Schlauchwehre in *Abb. 6.14* zeigt, dass luftgefüllte Schlauchwehre kleinere Dimensionen aufweisen. Das heißt, dass bei wassergefüllten Baukörper größer wird und auch längere Seitenwandschienen benötigt werden [3].

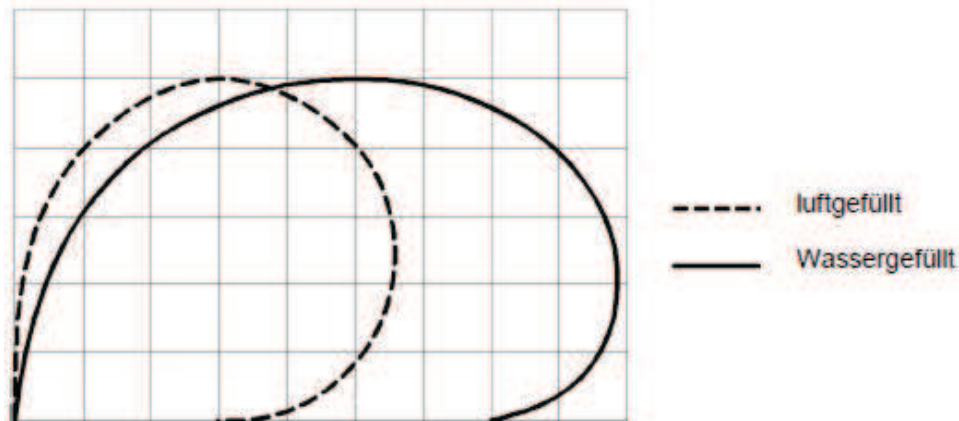


Abb. 6.14 Vergleich der Querschnitte wasser- und luftgefüllter Schlauchwehre [3]

6.4.4. Wasser- und luftgefüllte Schlauchwehre

Bei wenigen Anlagen werden die Füllmedien Wasser und Luft kombiniert, um die Vorteile beider Typen auszunutzen. Durch die Kombination mit Luft ergeben sich insgesamt kürzere Füllzeiten, ein geringerer Schlauchumfang und eine kleinere Schlauchmembran, die einen erheblichen Kostenfaktor darstellt. Jedoch erfordert die Kombination beider Füllmedien allerdings eine doppelte Antriebstechnik einschließlich der Füll- und Entleerungsleitungen sowie eine aufwändigere Steuer- und Regeltechnik. Daher ist die Verwendung beider Füllmedien selten.

6.5. Statische Bemessung von Schlauchwehren

Im Gegensatz zu Stahlwasserbauverschlüssen gibt es bei Schlauchwehren keine geometrische Stellgröße, die einfach erfasst und in die Steuerung einer Wehranlage angewendet werden kann. Daher ist es naheliegend bei Schlauchwehren den Innendruck als physikalische Stellgröße heranzuziehen und den Zusammenhang von Innendruck und Schlauchform zu beschreiben [21].

Neben der Möglichkeit der numerischen Berechnung der Schlauchmembran mit Hilfe von Finite-Elemente-Verfahren gibt es in der Literatur verschiedene analytische Ansätze, von denen die wichtigsten sicherlich von *Anwar 1967* und von *Watson 1985* sind. In *Ministry of Land, Infrastructure an Transport, River Bureau [MLIT 200]* wird ein weiteres analytisches Verfahren vorgestellt, bei der Berechnung von Membrankraft und Geometrie berücksichtigt werden kann. Dieses Näherungsverfahren mit einem einfachen hydrostatischen Ansatz deckt gegenüber den von *Anwar 1967* und *Watson 1985* beschriebenen Berechnungsverfahren das Spektrum möglicher hydraulischer Zustände vollständig ab. Die Dehnungen werden ebenfalls bei diesem Verfahren, wegen der geometrisch linearen Berechnung, vernachlässigt [21].

Für die Membrankraft T gilt allgemein:

$$T = \Delta p \cdot R \quad (6.1)$$

mit:

- T Membrankraft in der Schlauchmembran
- Δp Druckdifferenz zwischen Innen- und Außendruck
- R Krümmungsradius der Schlauchmembran

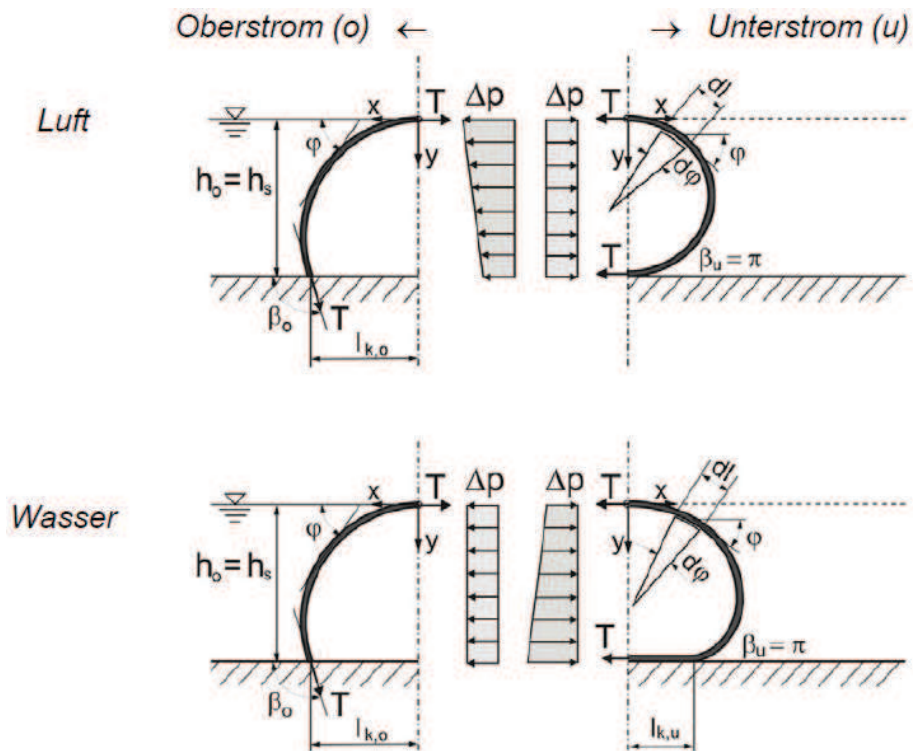


Abb. 6.15 Definitionsskizze aus MLIT 2000 für den luft- und den wassergefüllten Schlauch ohne Überströmung [21].

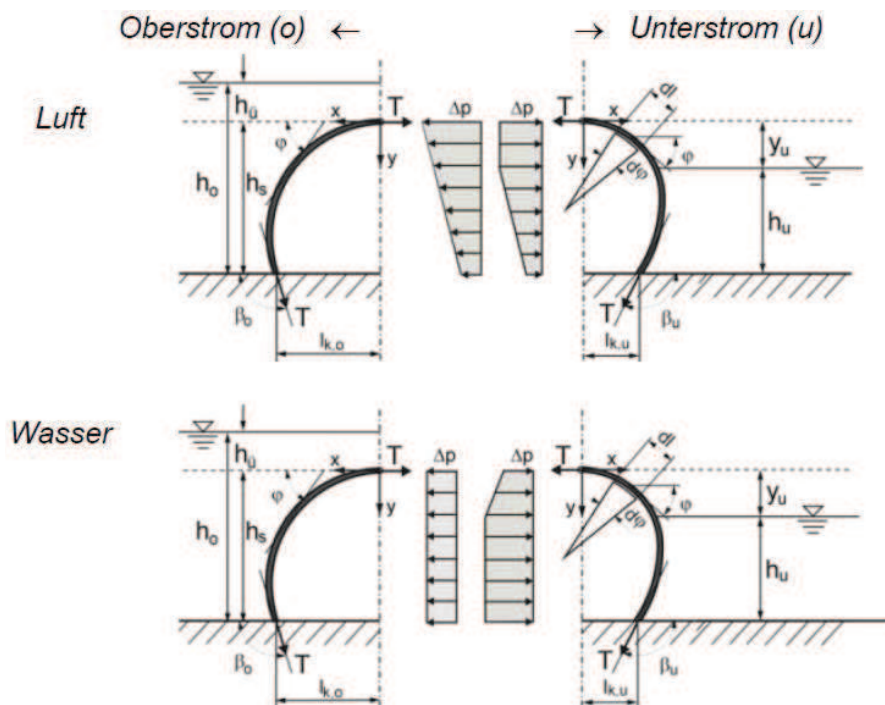
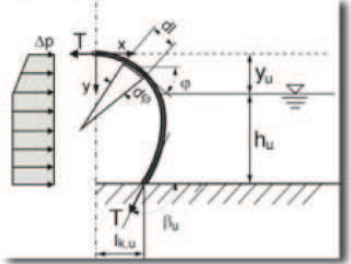


Abb. 6.16 Definitionsskizze aus MLIT 2000 für den luft- und den wassergefüllten Schlauch mit Überströmung und Unterwassereinfluss [21].

Bei dem Näherungsverfahren wird die Berechnung jeweils getrennt für beide Seiten durchgeführt, wobei vorausgesetzt wird, dass die Membrankraft T und der Innendruckkoeffizient α im Koordinatenursprung gleich sind. In den *Tab. 6.3* und *Tab. 6.4* sind die Gleichungen zusammengestellt, die für die Berechnung erforderlich sind. Da es sich hierbei um dimensionslose Größen handelt, sind die Längen l_K und l_S sowie die Koordinaten x und y durch Multiplikation mit h_S in dimensionsbehaftete Größen umzurechnen. Entsprechend ist die Querschnittsfläche A_S mit h_S^2 und die Membrankraft t mit $\rho_S g h_S^2$ zu multiplizieren [21].

Membrankraft	$t = \frac{\alpha' y_u + \frac{1}{2} y_u^2}{1 - \cos \varphi_u}$	WASSER, <u>unter</u>strom
Tangentenwinkel	$\cos \varphi_u = \cos \beta_u + \frac{(\alpha' + y_u) h_u}{t}$	mit: $\alpha' = \alpha - 1$
Kontaktlänge	$l_{k,u} = x_u + \frac{t}{\alpha' + y_u} (\sin \beta_u - \sin \varphi_u)$	mit: $k^2 = \frac{4t}{\alpha'^2 + 4t}$
mit:	$x_u = \frac{2t}{\sqrt{\alpha'^2 + 4t}} \left\{ F\left(\frac{\pi - \varphi_u}{2}, k\right) - F\left(\frac{\pi}{2}, k\right) - \frac{2}{k^2} \left[F\left(\frac{\pi - \varphi_u}{2}, k\right) - E\left(\frac{\pi - \varphi_u}{2}, k\right) - F\left(\frac{\pi}{2}, k\right) + E\left(\frac{\pi}{2}, k\right) \right] \right\}$	
Umfang	$l_{s,u} = \frac{2t}{\sqrt{\alpha'^2 + 4t}} \left[F\left(\frac{\pi}{2}, k\right) - F\left(\frac{\pi - \varphi_u}{2}, k\right) \right] + \frac{t}{\alpha' + y_u} (\beta_u - \varphi_u)$	
Querschnitt	$A_{s,u} = x_u (\alpha' + y_u) - \sin \varphi_u \cdot t + \frac{t^2}{(\alpha' + y_u)^2} \left[\left(\frac{1}{2} \beta_u - \frac{\sin 2 \beta_u}{4} \right) - \left(\frac{1}{2} \varphi_u - \frac{\sin 2 \varphi_u}{4} \right) + \left[\frac{t^2}{(\alpha' + y_u)^2} \sin \varphi_u - \frac{t x_u}{\alpha' + y_u} \right] (\cos \beta_u - \cos \varphi_u) \right]$	
Koordinaten	$x = \frac{2t}{\sqrt{\alpha'^2 + 4t}} \left\{ F\left(\frac{\pi - \varphi}{2}, k\right) - F\left(\frac{\pi}{2}, k\right) - \frac{2}{k^2} \left[F\left(\frac{\pi - \varphi}{2}, k\right) - E\left(\frac{\pi - \varphi}{2}, k\right) - F\left(\frac{\pi}{2}, k\right) + E\left(\frac{\pi}{2}, k\right) \right] \right\}$	
für $0 \leq y \leq y_u$:	$y = \sqrt{\alpha'^2 + 2t(1 - \cos \varphi)} - \alpha'$	
für $y_u \leq y \leq 1$:	$x = x_u + \frac{t}{\alpha' + y_u} (\sin \varphi - \sin \varphi_u)$ $y = y_u + \frac{t}{\alpha' + y_u} (\cos \varphi_u - \cos \varphi)$	

Membrankraft	$t = \frac{\alpha' - h_u}{1 - \cos \beta_o}$	WASSER, <u>ober</u>strom
Kontaktlänge	$l_{k,o} = \sin \beta_o \frac{t}{\alpha' - h_u}$	
Umfang	$l_{s,o} = \beta_o \frac{t}{\alpha' - h_u}$	
Querschnitt	$A_{s,o} = \frac{1}{2} (\beta_o - \sin \beta_o \cdot \cos \beta_o) \left(\frac{t}{\alpha' - h_u} \right)^2$	
Koordinaten	$x^2 + \left(y - \frac{t}{\alpha' - h_u} \right)^2 = \left(\frac{t}{\alpha' - h_u} \right)^2$	

Tab. 6.3 Gleichungen zur Berechnung von Membrankraft und Geometrie nach dem Näherungsverfahren für Wasserfüllung [MLIT 2000]

Membrankraft	$t = \frac{\alpha y_u}{1 - \cos \varphi_u}$	LUFT, <u>unter</u>strom
Tangentenwinkel	$\cos \varphi_u = \cos \beta_u + \frac{\frac{1}{2} - h_u(1 - a) - \frac{1}{2} y_u^2}{t}$	
Kontaktlänge für $k^2 > 1$	$l_{k,u} = \frac{t}{\alpha} \sin \varphi_u + \frac{2t}{\sqrt{\alpha^2 + 2\alpha y_u}} \left\{ F\left(\frac{\beta_u}{2}, k\right) - F\left(\frac{\varphi_u}{2}, k\right) - \frac{1}{k^2} \left[F\left(\frac{\beta_u}{2}, k\right) - E\left(\frac{\beta_u}{2}, k\right) - F\left(\frac{\varphi_u}{2}, k\right) - E\left(\frac{\varphi_u}{2}, k\right) \right] \right\}$	mit: $k^2 = \frac{4t}{\alpha^2 + 2\alpha y}$
für $k^2 < 1$	$l_{k,u} = \frac{t}{\alpha} \sin \varphi_u + \sqrt{t} \left\{ -F\left(b, \frac{1}{k}\right) + F\left(a, \frac{1}{k}\right) + 2 \left[E\left(b, \frac{1}{k}\right) - E\left(a, \frac{1}{k}\right) \right] \right\}$	
	mit: $\sin b = k \sin \frac{\beta_u}{2}$ $\sin a = k \sin \frac{\varphi_u}{2}$	
Umfang für $k^2 > 1$	$l_{s,u} = \frac{t}{\alpha} \varphi_u + \frac{2t}{\sqrt{\alpha^2 + 2\alpha y_u}} \left[F\left(\frac{\beta_u}{2}, k\right) - F\left(\frac{\varphi_u}{2}, k\right) \right]$	
für $k^2 < 1$	$l_{s,u} = \frac{t}{\alpha} \varphi_u + \sqrt{t} \left[F\left(b, \frac{1}{k}\right) - F\left(a, \frac{1}{k}\right) \right]$	

Querschnitt

$$A_{s,u} = \frac{1}{2} \left(\frac{t}{\alpha} \right)^2 (\varphi_u - \sin \varphi_u \cos \varphi_u) + l_{A,u} (h_o - \alpha) + t \sin \beta_u$$

Koordinaten

für $0 \leq y \leq y_u$:

$$x^2 + \left(y - \frac{t}{\alpha} \right)^2 = \left(\frac{t}{\alpha} \right)^2 \quad \text{wobei } x, y \geq 0$$

für $y_u \leq y \leq 1$

$$x = \frac{t}{\alpha} \sin \varphi_u + \frac{2t}{\sqrt{\alpha^2 + 2\alpha y_u}} \left\{ F\left(\frac{\varphi}{2}, k\right) - F\left(\frac{\varphi_u}{2}, k\right) - \frac{2}{k^2} \left[F\left(\frac{\varphi}{2}, k\right) - E\left(\frac{\varphi}{2}, k\right) - F\left(\frac{\varphi_u}{2}, k\right) + E\left(\frac{\varphi_u}{2}, k\right) \right] \right\}$$

und $k^2 \leq 1$:

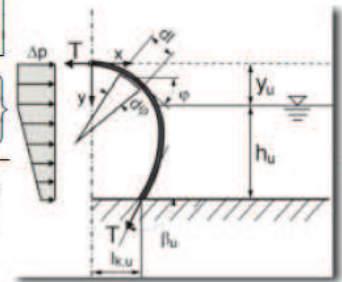
$$t(\cos \varphi_u - \cos \varphi) = (\alpha + y_u)y - \frac{1}{2}y^2 - \left(\alpha + \frac{1}{2}y_u \right) y_u$$

$k^2 > 1$:

$$x = \frac{t}{\alpha} \sin \varphi_u + \frac{2t}{\sqrt{\alpha^2 + 2\alpha y_u}} \left\{ \frac{1}{k} \left[F\left(\frac{b}{2}, k\right) - F\left(\frac{a}{2}, k\right) \right] - \frac{2}{k} \left[F\left(b, \frac{1}{k}\right) - E\left(b, \frac{1}{k}\right) - F\left(a, \frac{1}{k}\right) + E\left(a, \frac{1}{k}\right) \right] \right\}$$

mit: $\sin b = k \sin \frac{\varphi}{2} \quad \sin a = k \sin \frac{\varphi_u}{2}$

sowie: $\varphi = f(y)$ wie für $k^2 \leq 1$:



Membrankraft

$$t = \frac{\alpha - h_u - \frac{1}{2}}{1 - \cos \beta_o}$$

LUFT, oberstrom

Kontaktlänge

für $k^2 > 1$

$$l_{k,o} = \sqrt{t} \left[2E\left(\theta, \frac{1}{k}\right) - F\left(\theta, \frac{1}{k}\right) \right]$$

mit: $k^2 = \frac{4t}{(\alpha - h_u)^2}$

mit: $\cos \theta = \left(1 - \frac{1}{\alpha - h_u} \right)$

für $k^2 \leq 1$

$$l_{k,o} = \frac{2t}{\alpha - h_u} \left\{ F\left(\frac{\beta_o}{2}, k\right) - (\alpha - h_u) \left[F\left(\frac{\beta_o}{2}, k\right) - E\left(\frac{\beta_o}{2}, k\right) \right] \right\}$$

Umfang

für $k^2 > 1$

$$l_{s,o} = \sqrt{t} F\left(\theta, \frac{1}{k}\right)$$

für $k^2 \leq 1$

$$l_{s,o} = \frac{2t}{\alpha - h_u} F\left(\frac{\beta_o}{2}, k\right)$$

Querschnitt

$$A_{s,o} = (1 - \alpha + h_u) l_{A,o} + t \sin \beta_o$$

Koordinaten

für $k^2 > 1$:

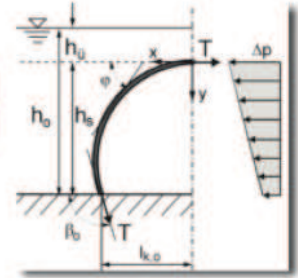
$$x = \sqrt{t} \left[2E\left(\theta, \frac{1}{k}\right) - F\left(\theta, \frac{1}{k}\right) \right]$$

mit: $\cos \theta = \left(1 - \frac{y}{\alpha - h_u} \right)$

für $k^2 \leq 1$:

$$x = \frac{2t}{\alpha - h_u} \left\{ F\left(\frac{\varphi}{2}, k\right) - (\alpha - h_u) \left[F\left(\frac{\varphi}{2}, k\right) - E\left(\frac{\varphi}{2}, k\right) \right] \right\}$$

mit: $\sin \frac{\varphi}{2} = \sqrt{\frac{2(\alpha - h_u)y - y^2}{4t}}$



Tab. 6.4 Gleichungen zur Berechnung von Membrankraft und Geometrie nach dem Näherungsverfahren für Luftfüllung [MLIT 2000]

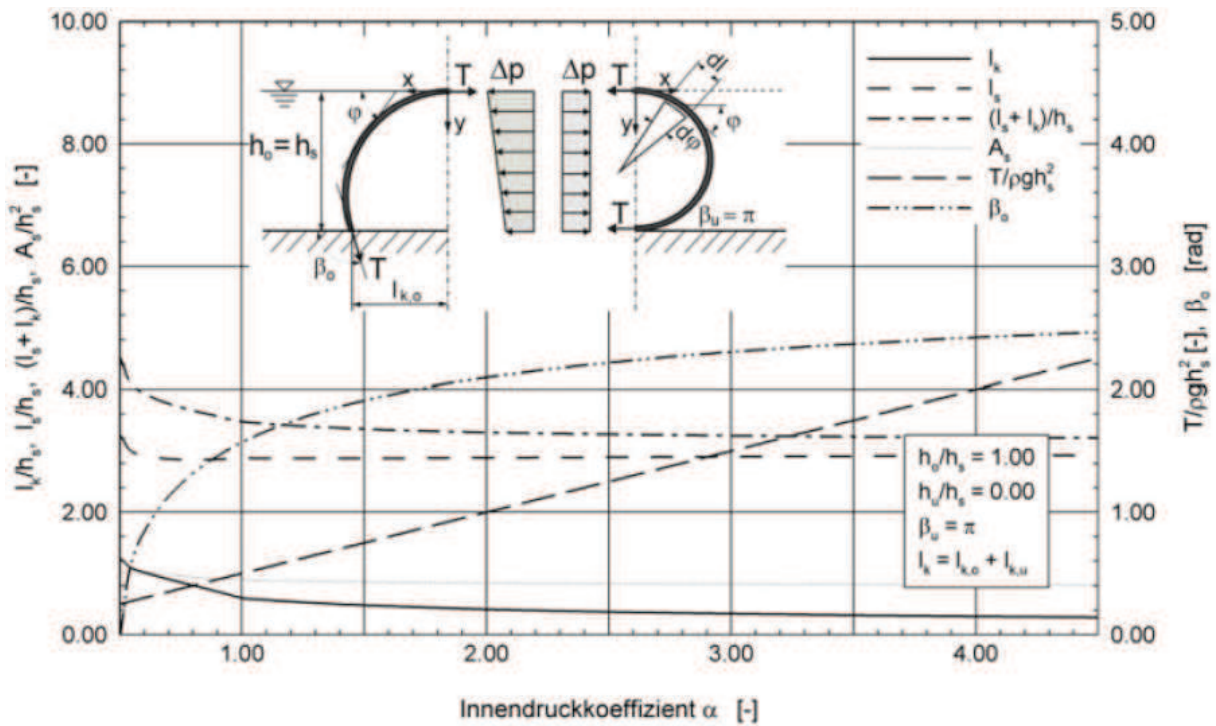


Abb. 6.17 Membrankraft und geometrische Parameter für den luftgefüllten Schlauch, hydrostatisch (nicht überströmt), ohne Unterwasser [MLIT 2000]

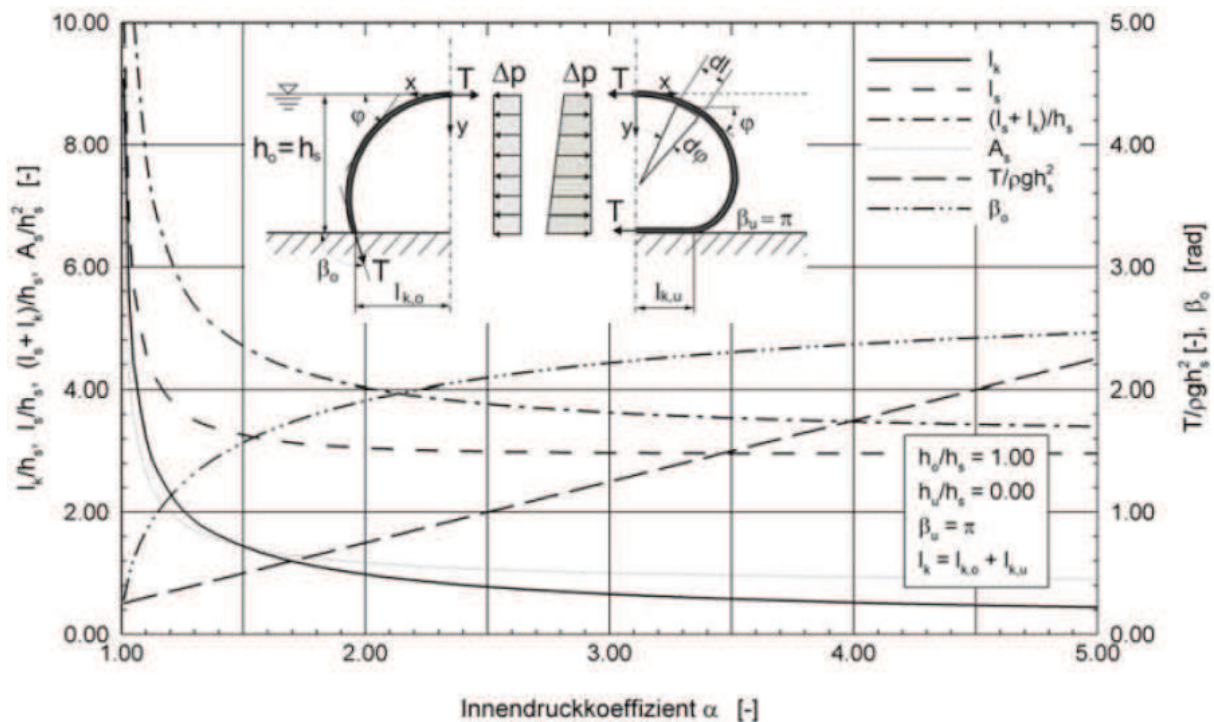


Abb. 6.18 Membrankraft und geometrische Parameter für den wassergefüllten Schlauch, hydrostatisch (nicht überströmt), ohne Unterwasser [MLIT 2000]

In den Abb. 6.17 und Abb. 6.18 sind die Ergebnisse des Näherungsverfahrens für die vollständigen Schlauchformen (Tangentenwinkel $\beta_u = \pi$) ohne Überströmung und ohne Unterwassereinfluss als dimensionslose Bemessungsdiagramme dargestellt. Wenn man die beide Diagramme vergleicht, muss erkennen, dass der Einfluss des Innendrucks auf die Schlauchform bei Wasserfüllung erheblich größer ist als bei Luftfüllung, insbesondere im Bereich $0 < \alpha < 2,0$ [21].

6.6. Hydraulische Bemessung von Schlauchwehren

- **Vollkommener Überfall bei wassergefüllten Schlauchwehren**

Dabei ist zu erkennen, dass der Überfallbeiwert für kleine Überströmungshöhen am höchsten ist, was auf den Coanda-Effekt zurückzuführen ist. Kommt ein Strahl nahe an einer Oberfläche zu liegen, bilden sich Wirbel und damit eine Unterdruckzone, die den Strahl an

der Oberfläche entlang gleiten lässt. Bei geringen Abflüssen löst sich der Überfallstrahl nicht ab, sondern haftet quasi bis zum Fußpunkt des Schlauchkörpers an der Oberfläche.

Mit steigender Überströmungshöhe löst sich die Strömung auf die Unterwasserseite ab. Gleichzeitig kann der Schlauchkörper, dessen Form nicht mehr dominant durch den Überdruck im Schlauchinneren bestimmt wird, auf den Strömungsdruck reagieren und eine strömungsgünstigere Form mit einem geringeren Formwiderstand annehmen [21].

„Mit abnehmender Schlauchhöhe wird der Einfluss des festen Wehrkörpers größer, so dass er schließlich wieder abnimmt und sich dem Überfallbeiwert der festen Wehrschwelle, in diesem Fall einem breitkronigen Wehr, annähert“ [21].

- **Unvollkommener Überfall bei wassergefüllten Schlauchwehren**

„Bei Unterwasserständen unterhalb der Wehrkrone ist ein Einfluss auf die Überfallströmung ausgeschlossen, es sei denn, dass Unterdruck auf dem Überfallrücken vorliegt [Bollrich 2000]. Solange der Unterwasserstand noch unterhalb der Grenztiefe liegt, ist der Einfluss auf den Abfluss gering. Darüber ist die Abflussleistung und damit der Überfallbeiwert gleicher Überfallhöhe merklich kleiner. Neben dem Einfluss auf die Überströmung wirkt sich der Unterwasserstand beim Schlauchwehr aber auch zusätzlich auf die Schlauchform aus: Dieser Einfluss ist implizit im Überfallbeiwert erhalten. Der Überfallbeiwert wird aber auch schon bei kleinen Überströmungshöhen vom Unterwasser beeinflusst, was darauf zurückzuführen ist, dass der Unterdruckbereich unterhalb des Scheitels nicht mehr auftritt“ [21].

- **Vollkommener Überfall bei luftgefüllten Schlauchwehren**

Luftgefüllte Schlauchwehr haben die Eigenschaft, dass sie mit abnehmendem Innendruck nicht mehr gleichmäßig überströmt werden, sondern an einer Stelle zumeist im Bereich der Wehrwangen, einknicken.

„Ohne Reduzierung des Innendrucks, also mit konstanter Luftmenge im Schlauchinneren, steigt der Oberwasserstand mit zunehmendem Abfluss an und der Einknickbeginn ist dann als eine Funktion der Überströmungshöhe und des Innendrucks zu erkennen“ [21].

„Die Ermittlung von Überfallbeiwerten beim luftgefüllten Schlauch beschränkt sich in dieser Arbeit auf den Bereich, in dem der Schlauch nicht einknickt und noch eine annähernd konstante Schlauchhöhe aufweist“ [21].

Ständig überströmte Schlauchwehre, das bedeutet $h_0 \neq const$, wurden bei *Anwar 1967* und *MLIT 2000* untersucht. Letztere geben für einen Bemessungssinnendruck von $\alpha_0 = 1,25$ folgende empirische Beziehung für den Überfallbeiwert im Bereich $0,1 < h_{\ddot{u}} / h_S < 0,6$ an:

$$\mu = 0,122 \cdot \frac{h_{\ddot{u}}}{h_S} \quad \text{Überfallbeiwert nach MLIT 2000} \quad (6.2)$$

6.7. Schwingungen bei den Schlauchwehren

Schwingungen als Folge von Geschwindigkeitsänderungen und eingeschlossenen Lufträumen sind für Schlauchwehre weniger problematisch als für starre Stahlkonstruktionen. Allerdings können Schwingungen Verschleiß an der Membran durch Betrieb an der Wehrkonstruktion verursachen. Die Firma Bridgestone hat für luftgefüllte Schlauchwehre eine spezielle Abreißkante (sog. Fin) entwickelt, die das Überströmbild des Wasserstrahls völlig ändert (siehe *Abb. 6.19*). Der Wasserstrahl wird vom Wehr weggeführt, so dass der hintere Raum belüftet ist und ein Unterdruck auf die hintere Schlauchwehrseite vermieden wird. Der Punkt, an dem der Wasserstrahl auf den Beton auftritt und diesen im Laufe der Zeit aufraut, wird weiter nach hinten verlegt.

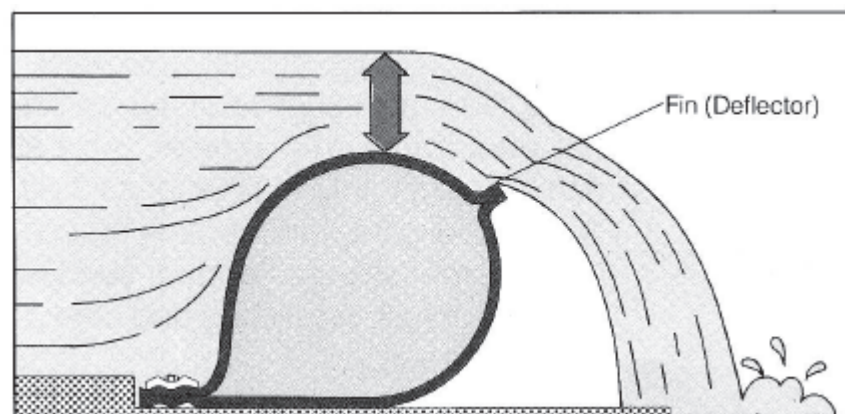


Abb. 6.19 Fin als Strahlaufreisser [Flöcksmühle Energietechnik GmbH, Deutschland]

Bei völlig entleeren Schlauchwehren, wenn die Membran auf der Betonoberfläche abgelegt ist, besteht durch die Überströmung die Gefahr des Flatterns der Membran. Nach einschlägigen Untersuchung tritt dieses Flattern aber nur bei konventionellen Schlauchwehren ohne Fin und bei bestimmten Strömungsbedingungen auf. Dabei spielt die Knickung des Schlauches am hinteren Knickpunkt und die dadurch entstehende Spannung im Gummi eine entscheidende Rolle. Die Folge ist Abrasion zwischen Beton und Gummi. Wassergefüllte Wehre (ohne Fin) können mit einer Schutzunterlage aus Gummi zwischen Beton und Schlauchwehr gegen die Abrasionsgefahr geschützt werden [3].

6.8. Vergleich mit konventionellen Stauwehren

• Vorteile von Schlauchwehren

Schlauchwehre sind sehr anpassungsfähige und betriebssichere Verschlussorgane. Sie weisen eine Reihe von Vorteilen gegenüber konventionellen Konstruktionen (Stahlverschlüssen) auf:

- einfacher konstruktiver Aufbau
- keine Korrosionsgefahr durch Verzicht auf mechanische Wehrteile
- flexibler Wehrkörper ohne Behinderung für Eis und Treibgut
- einfache Form des Betonaufbauwerks, da der Aufwand für Aussparungen und Bewehrung gering ist
- senkrechte und schräge Wehrwangen und der Aufbau gebogenen oder gekrümmten Wehrkronen sind möglich
- autonome, selbständige Hochwasserentlastung
- niedrige Bauhöhe, dadurch gute Einpassung in die Landschaft
- Wehrcbreiten einteilig bis zu 100m möglich
- geringer Wartungsaufwand
- kostengünstig
- geringere Betriebskosten durch minimalen Fremd- und Energieeinsatz

- **Nachteile von Schlauchwehren**

- Grosse Kronenbreite der festen Wehrschwelle erforderlich infolge der Ablegelänge des Schlauches
- Gefahr der Beschädigung durch spitze Gegenstände
- Schwingungen des Schlauches können ein frühzeitiges Versagen des Wehrkörpers durch Abrasionseffekte verursachen
- Nicht unterströmbar

7. Bemessung eines Segmentschützes

Als praktische Aufgabenstellung folgt die statisch konstruktive Bemessung eines Segmentschützes der Hochwasserentlastungsanlagen am Kopf der Staumauer „Watscha“. Die Bemessung erfolgt nach dem russischen Handbuch „*Methodische Hinweise zur Gestaltung von Segmentverschlüssen für Studenten in Fachrichtung - Wasserbau 29.04*“.

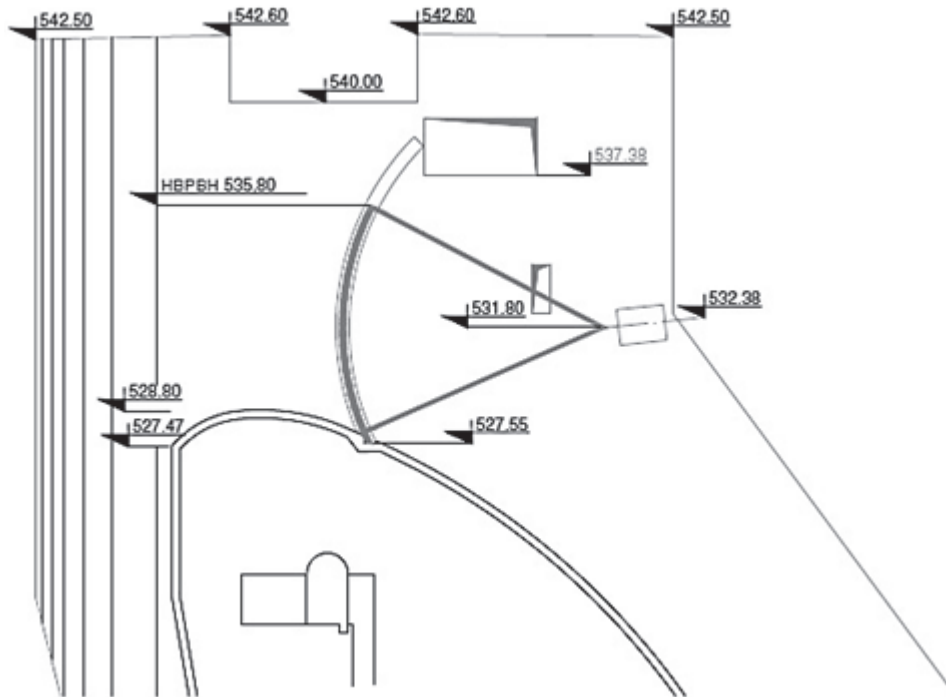


Abb. 7.1 Überfallfeld der Staumauer Watscha

7.1. Grunddaten des Segmentschützes

- Dimensionen

$L = 7,00 \text{ m}$ – Breite des Segmentschützes;

$H = 8,25 \text{ m}$ - Höhe des Segmentschützes;

$h' = 0,10 \text{ m}$ – relative Befestigungslage;

$r = 2 \cdot H = 2 \cdot 8,25 \text{ m} = 16,5 \text{ m}$ — Segmentradius;

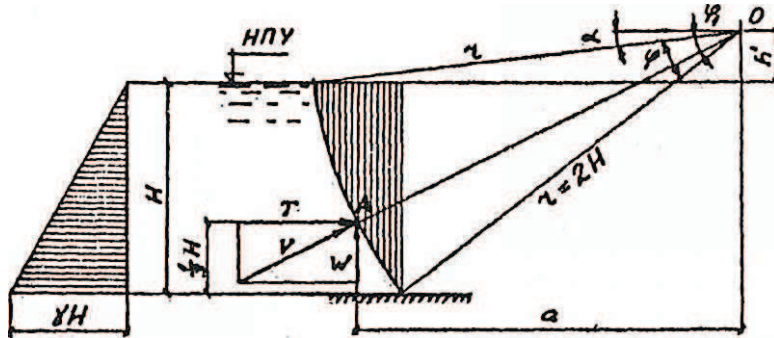


Abb. 7.2 Skizze des Wasserdrucks [22]

- Ermittlung der wirkenden Kräfte

Der Wasserdruck W wird für ein Meter Breite des Schützes als eine Summe aus der horizontalen und vertikalen Komponenten der Kraft ermittelt.

$$W_x = \gamma \cdot \frac{H^2}{2} = 9,81 \cdot \frac{8,250^2 \text{ m}}{2} = 333,847 \frac{\text{kN}}{\text{m}} - \text{Horizontale Komponente des Wasserdrucks}$$

$$\alpha = \arcsin \frac{h'}{r} = \arcsin \frac{0,10 \text{ m}}{16,50 \text{ m}} = 0,00606$$

$$\alpha + \varphi = \beta = \arcsin \frac{H + h'}{r} = \arcsin \frac{8,250 \text{ m} + 0,10 \text{ m}}{16,50} = 0,5306 \text{ rad} =$$

$$\varphi = \beta - \alpha = 0,5306 - 0,00606 = 0,5245 - \text{Winkel auf dem Segment}$$

$$W_z = \frac{1}{2} g \cdot r^2 \cdot \left[\varphi + 2 \cdot \sin \alpha \cdot \cos \beta - \frac{1}{2} (\sin 2\alpha + \sin 2\beta) \right]$$

$$W_z = \frac{1}{2} \cdot g \cdot 16,50^2 \text{ m} \cdot 0,5245 + 2 \cdot \sin 0,00606 \cdot \cos 0,5306 - \frac{1}{2} \sin 2 \cdot 0,00606 + \sin 2 \cdot 0,5306$$

$$W_z = 123,481 \text{ kN/m} - \text{Auftriebskraft}$$

Die Resultierende V geht durch den Punkt A - $1/3H$ von der Schwelle.

$$V = \sqrt{T^2 + W^2} = \sqrt{333,847^2 + 123,481^2} = 355,951 \text{ kN/m}$$

$$\varphi_1 = \arctan \frac{W}{T} = \arctan \frac{123,481}{333,847} = 0,3543 - \text{Richtung der Resultierende}$$

$$\alpha = \frac{T}{W} \cdot \frac{2}{3} \cdot H + h' = \frac{333,847}{123,481} \cdot \frac{2}{3} \cdot 8,25 \text{ m} + 0,10 \text{ m} = 14,97 \text{ m}$$

7.2. Ermittlung der Lage der Träger

Bei Segmentschützen werden Lagerelementen – Träger benutzt, die symmetrisch um die Wirkungslinie der Resultierende angeordnet sind. In diesem Fall soll die obere Bogenlänge den Wert $0,45H$ nicht übersteigen und die untere Bogenlänge bis der Schwelle sollte nicht kürzer(kleiner) als $0,4m$ für einfachen Ersatz der Bodendichtung sein.

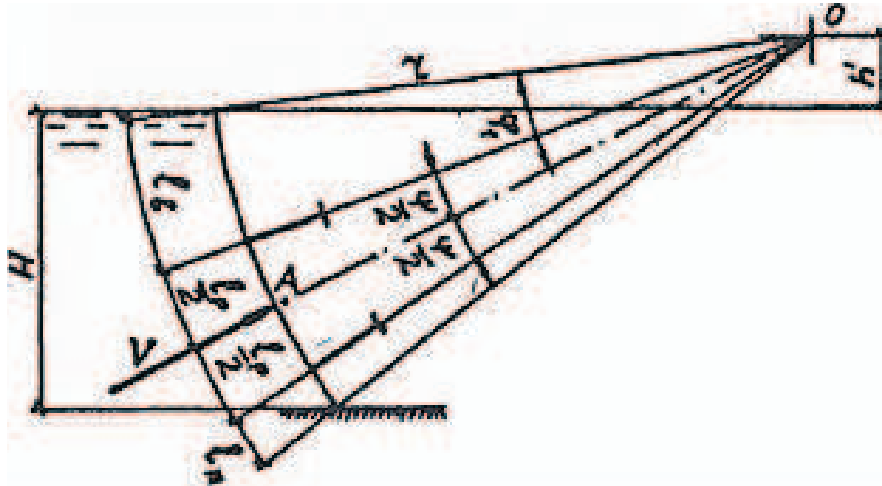


Abb. 7.3 Lage der Hauptträger [22]

$$\frac{l_p}{2} = r \cdot \varphi_1 - 0,45 \cdot H = 16,50m \cdot 0,3543 - 0,45 \cdot 8,25m = 2,133m$$

$$\psi = \frac{2 \cdot l_p/2}{r} = \frac{2 \cdot 2,133m}{16,50} = 0,2585$$

$$l_o = 0,45 \cdot H = 0,45 \cdot 8,25 = 3,713m$$

$$l_u = r \cdot \varphi - l_o - l_p = 16,50m \cdot 0,5245 - 3,713 - 2 \cdot 2,133 = 0,677m > 0,40m$$

$$q = \frac{V}{2 \cdot \cos \frac{\psi}{2}} = \frac{355,951}{2 \cdot \cos \frac{0,2585}{2}} = 179,473 \text{ kN/m}$$

7.3. Bauform der Hauptrahmen

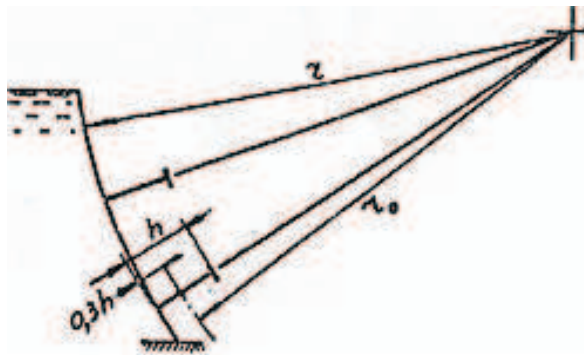


Abb. 7.4 Bauform der Hauptrahmen [22]

Die Belastung wird von den Träger getragen. Sie stützen sich auf die Stützarme, die der Last auf die Drehlager übertragen. Die Träger bilden zusammen mit den Stützarmen einen Rahmen mit Lichtbreite H und Höhe r_0 (Abb. 7.5). Die Höhe des Rahmens ist der Abstand vom Drehlager bis die Nullachse des Trägers. Da die Nullachse des Trägers mit einem Abstand von $0,3 \cdot H$ von der Stauwand verläuft, bekommt man die Höhe des Rahmens $r_0 = r - 0,3 \cdot h$, wo $h = \frac{1}{2} \cdot L$.

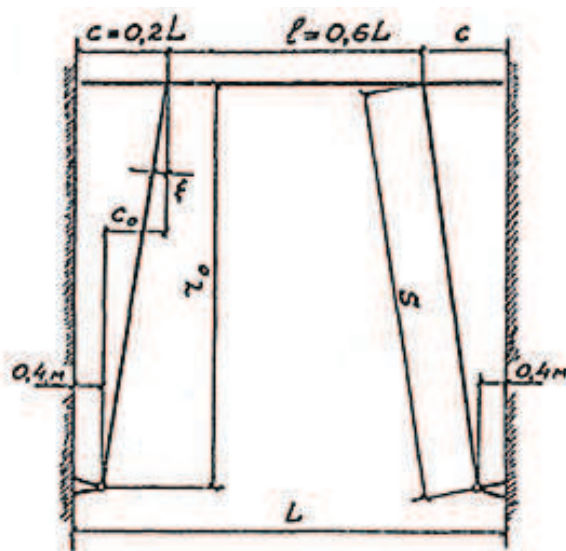


Abb. 7.5 Größe des Rahmens [22]

7.4. Ermittlung der Spannungen des Rahmens

Der Rahmen ist statisch unbestimmt. Da Grundsystem ist bei einer Lösung des Kraftgrößenverfahrens wie folgt dargestellt:

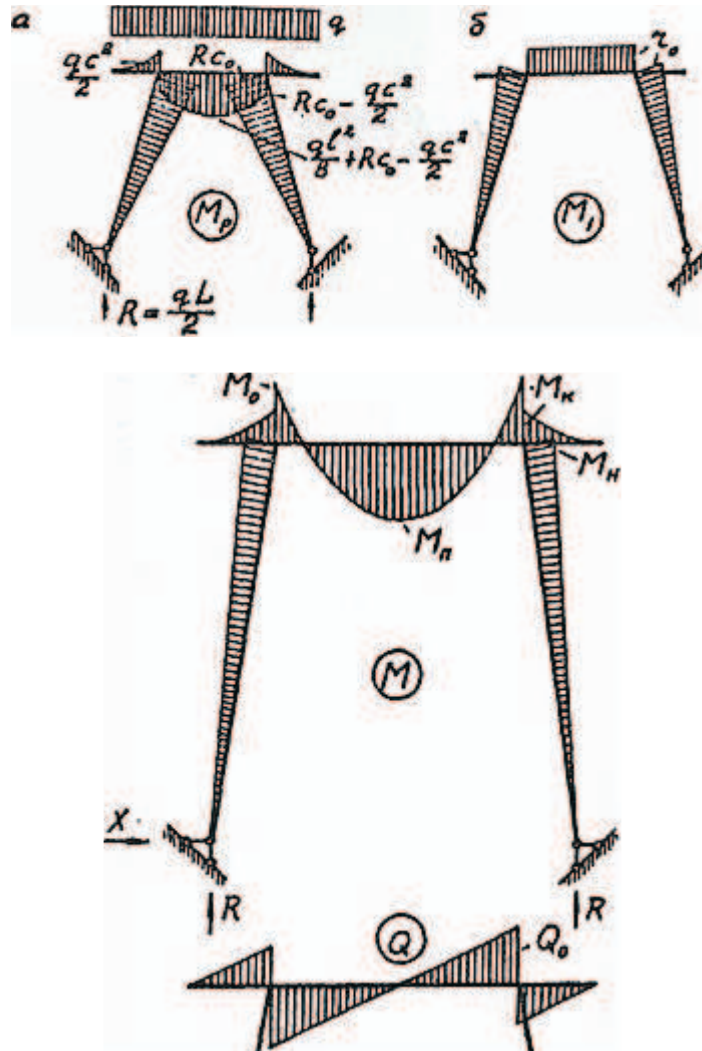


Abb. 7.6 Statische System des Rahmens [22]

Erstens werden die Dimensionen des Rahmens ermittelt:

$$c = 0,2L = 0,2 \cdot 7,00\text{m} = 1,40\text{m}$$

$$l = 0,6L = 0,6 \cdot 7,00\text{m} = 4,20\text{m}$$

$$h = \frac{1}{12}l = \frac{1}{12} \cdot 4,20\text{m} = 0,35\text{m}$$

$$r_0 = r - 0,3 \cdot h = 16,50\text{m} - 0,3 \cdot 0,35\text{m} = 16,395\text{m}$$

$$c_0 = c - 0,4 = 1,40m - 0,4 = 1,00m$$

$$S = \sqrt{r_0^2 + c_0^2} = \sqrt{16,395^2 + 1,00^2} = 16,4255m$$

Angenommen: $\frac{J_p}{J_H} = 6$

$$k = \frac{J_p}{J_H} \cdot \frac{S}{l} = 6 \cdot \frac{16,426}{4,2} = 23,465 - \text{Verhältnis der lineare Festigkeit des Trägers und der}$$

Stützarmen. Aus der Praxis kann das Verhältnis $\frac{J_p}{J_H}$ zwischen 4-8 angenommen werden.

$$\begin{aligned} X &= \frac{q}{2 \cdot r_0} \cdot \left(\frac{0,5l^2 - 3 \cdot c^2}{2 \cdot k + 3} + L \cdot c_0 \right) \\ &= \frac{179,473kN/m}{2 \cdot 16,395m} \cdot \left(\frac{0,5 \cdot 4,20^2m - 3 \cdot 1,4^2m}{2 \cdot 23,465 + 3} + 7,00m \cdot 1 \right) \end{aligned}$$

$$X = 38,6361kN/m - \text{Schubspannung in dem Drehlager}$$

$$R = \frac{q \cdot L}{2} = \frac{179,473kN/m \cdot 7,00m}{2} = 628,155kN - \text{Reaktionskraft}$$

Wenn die beide Momentenverläufe M_K und M_1 miteinander multipliziert werden, bekommt man das Momentendiagramm M und das Q -Diagramm des Rahmens, wo sich die Maximummomente ergeben:

$$M_K = \frac{q \cdot c^2}{2} = \frac{179,473kN/m \cdot 1,40^2m}{2} = 175,884kN - \text{maximaler Moment in der Konsole}$$

$M_{St} = r_0 \cdot X - R \cdot c_0 = 16,395m \cdot 38,636kN/m - 628,155kN \cdot 1,00m = 5,284kN/m$ -
maximaler Moment in den Stützarmen

$M_T = M_K + M_{St} = 175,884kN - 5,284kN/m = 181,167kN/m$ - maximaler
Moment im Träger

$M_M = \frac{q \cdot l^2}{8} - M_T = \frac{179,473kN/m \cdot 7,00m^2}{8} - 181,167kN/m = 214,570kN/m$ - Maximum
in der Mitte des Trägers

$Q_T = R - q \cdot c = 628,155kN - 179,473kN/m \cdot 1,40m = 376,893kN$ - maximale
Querkraft im Träger

7.5. Auswahl der Stahlgüte für die Elemente der Konstruktion

Die Stahlgüte des Segmentschützes wird von den Betriebsbedingungen der Anlage und aus wirtschaftlichen Gründen bestimmt.

Für das gegebene Gebiet ist die Temperatur mehr als -40° , deswegen steht die Anlage in erster Gruppe von *Tab.7.1*.

Stahlgüte	ГОСТ oder ТУ	t>-40			-50<t<-40	-65<t<-50
		H2/L				
		2	4	6		
18гп, 18Гпс, 18Гсп, ВСт3сп5-1	ГОСТ 23570-79, ТУ 14-1-3023-80	+	+			
ВСт3сп5-2	ТУ 14-1-3023-80		+	+		
ВСт3сп5	ГОСТ 380-71*	+	+	+		
09Г2С-12 rp.1, 09Г2С-12	ТУ 14-1-3023-80, ГОСТ 19282-73			+		
09Г2С-12 rp.1, 09Г2С-13	ТУ 14-1-3023-80, ГОСТ 19282-73				+	
09Г2С-12 rp.1, 09Г2С-15	ТУ 14-1-3023-80, ГОСТ 19282-73					+

Tab. 7.1 Stahlgüte nach Betriebsbedingungen [22]

Stahlgüte	ГОСТ oder ТУ	Dicke	R	
		[mm]	[Mpa]	[Mpa]
			Blech	Str. Elemente
18гп	ГОСТ 23570-79	4-20	230	240
18Гпс		21-30	220	220
18Гсп		31-40	230	230
ВСт3сп5-1	ТУ	4-10	240	250
		11-20	230	240
ВСт3сп5-2	14-1-3023-80	4-10	270	280
		11-20	260	270
ВСт3сп5	ГОСТ 380-71*	21-40	215	215
09Г2С rp.1 alle Kategorien	ТУ 14-1-3023-80	4-10	335	335
		11-20	315	315
		21-30		300
09Г2С alle Kategorien	ГОСТ 19282-73	31-32	290	
		33-60	270	

Tab. 7.2 Stahlgüte nach der Dicke [22]

$$\frac{H^2}{L} = \frac{8,25^2 m}{7,00 m} = 9,7232$$

Gemäß *Tab. 7.1* könnten die folgenden Stahlgüten verwendet werden: ВСт3сп5, СВТ3сп5-П, 09Г2С-12.

Wegen der Dicke von 30-60mm ist Stahlgüte 09Г2С-12 alle Kategorien ausgewählt worden.

Es soll berücksichtigt werden, dass die Auswahl anderer Stahlgüte zur Reduzierung der Festigkeit folgen wird.

7.6. Bemessung der Stauwand und der Horizontalrippen

- Ermittlung der Lage der Rippen

Die Stauwand (1) führt den Wasserdruck weiter auf den Hauptträgern (4) durch ein System von Rippen (2). Die Horizontalrippen (Horizontalträger) sind parallel zu den Trägern angeordnet und stützen sich auf die Querrippen (3), die wiederum mit den Trägern (4) befestigt sind (*Abb. 7.7*).

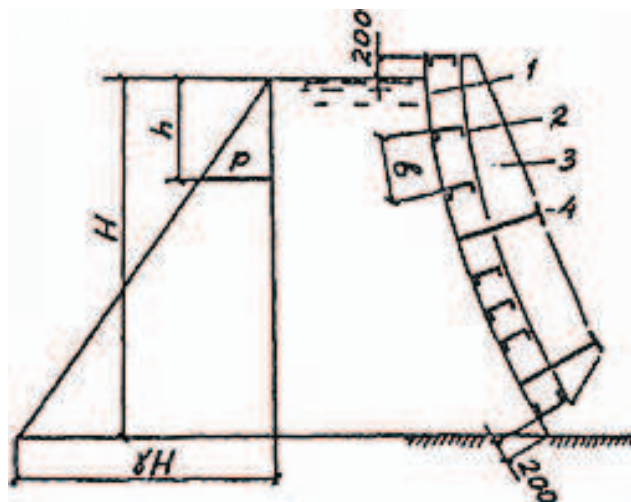


Abb. 7.7 Strukturelemente [22]

Auf diese Weise wird die Stauwand direkt auf den Rippen und den Trägern gestützt und wirkt auf den spezifischen Bogen im Bereich zwischen die beide Elementen. Das Diagramm sieht wie folgt aus:

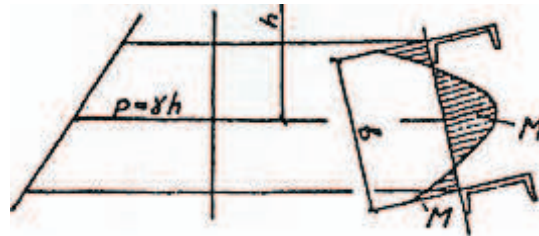


Abb. 7.8 Skizze des Momentendiagramms [22]

Die Stauwand ist in drei Bereiche geteilt: über dem oberen Träger, zwischen den beiden Trägern und unter dem zweiten Träger.

Blech mit Dicke kleiner als 6mm soll nicht im Schützt zugelassen werden. Es wurde Stahl **09Г2С-12** mit Festigkeit $R = 27 \text{ kN/cm}^2 = 270 \text{ MPa}$.

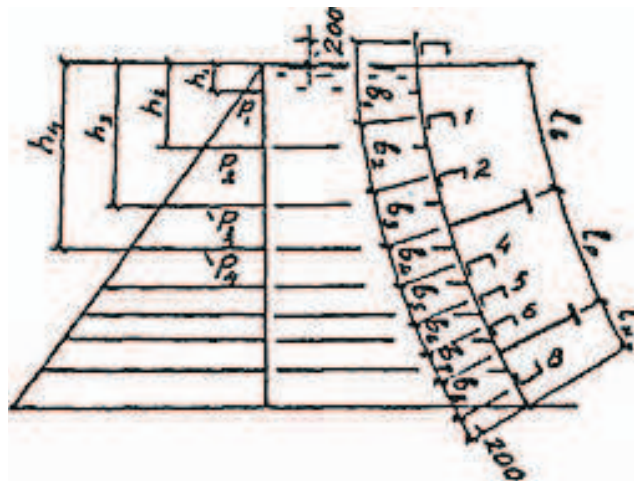


Abb. 7.9 Bemessung der Stauwand und Lage der Rippen [22]

$$h_1 = r \cdot \sin \frac{h' - 0,20\text{m} + b_1 \cdot h'}{r}$$

$$h_2 = r \cdot \sin \frac{h' - 0,20\text{m} + b_1 + b_2 \cdot h'}{r}$$

Für die übrigen h_i die Formeln sind analogisch:

No	b_i [m]	h_i [m]	$2,3/\sqrt{h_i}$ [m]	$b_i < 2,3/\sqrt{h_i}$ [m]
1	1,33	0,46445	3,37488	Ja
2	1,33	1,787607	1,720251	Ja
3	1,33	1,787607	1,720251	Ja
4	0,85	1,549691	1,847588	Ja
5	0,85	1,549691	1,847588	Ja
6	0,85	1,549691	1,847588	Ja
7	0,85	1,549691	1,847588	Ja
8	0,85	1,549691	1,847588	Ja

Tab. 7.3 Kontrolle der Lage der Horizontalrippen

Es ist nach Tab. 7.3 deutlich, dass das gewählte Schema die Sicherheitsbedingungen der Stauwand erfüllt.

- **Wahl des Querschnittes der Horizontalrippen**

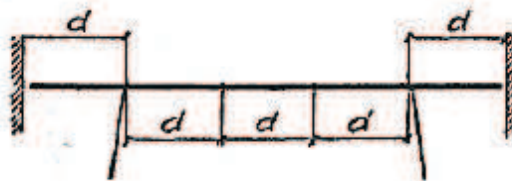


Abb. 7.10 Lage der Querrippen [22]

Die Querrippen sind die Querelemente der Konstruktion. Sie sind entlang der Länge der Träger angeordnet und mit einem Schritt von $d = 0,2 \cdot L = 0,2 \cdot 7,00 = 1,40\text{m}$ voneinander entfernt.

Entsprechend ist die Rippe einen Balken mit vielen Öffnungen, der mit gleichmäßig verteilter Last q_c über die gesamte Länge belastet ist.



Abb. 7.11 Belastete Horizontalrippe [22]

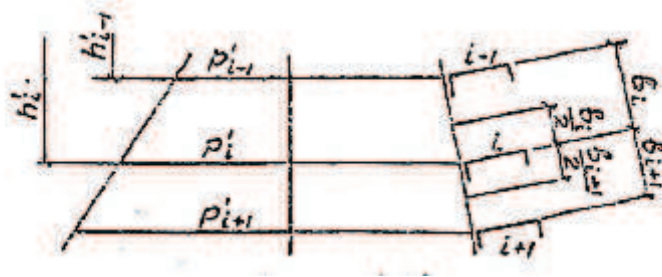


Abb. 7.12 Bemessung der Lage der Querrippen [22]

q_R wird für jedes Bereich des Segmentschützes berechnet.

$$q_{R,i} = p'_i \cdot \frac{b_i + b_{i+1}}{2} - 9,81 \cdot h'_i \cdot \frac{b_i + b_{i+1}}{2}$$

No	b_i	h_i	$\frac{b_i + b_{i+1}}{2}$	$q_{R,i}$
	[m]	[m]	[m]	[kN/m]
1	1,33	0,46445	1,33	6,059818058
2	1,33	1,787607	1,33	23,32344745
3	1,33	1,787607	1,09	19,11470505
4	0,85	1,549691	0,85	12,92210179
5	0,85	1,549691	0,85	12,92210179
6	0,85	1,549691	0,85	12,92210179
7	0,85	1,549691	0,85	12,92210179
8	0,85	1,549691	0,425	6,461050895

Tab. 7.4 Berechnung der gleichmäßig verteilten Last q_R

Der maximale Biegemoment ist im 2-ten Querschnitt erreicht.

$$M_R = \frac{q_{R2} d^2}{10} = \frac{23,32 \text{ kN/m} \cdot 1,4^2}{10} = 4,57 \text{ kN} \cdot \text{m} = 457,00 \text{ kN} \cdot \text{cm}$$

$$R = 27 \text{ kN/cm}^2 \text{ - Festigkeit des verwendeten Stahls - 18cm}$$

$$W_R = \frac{M_R \cdot \gamma_n}{R} = \frac{457,0 \text{ kNcm} \cdot 1,25}{27 \text{ kN/cm}^2} = 21,164 \text{ cm}^3 \text{ - notwendiger Widerstandsmoment}$$

Nachdem der maßgebende Widerstandsmoment bestimmt ist, wird von Tab. 7.7 ein U-Profil №12 mit Widerstandsmoment $W_R = 50,6 \text{ cm}^3$ gewählt. Das ausgewählte U-Profil wird für alle Querschnitte verwendet werden.

7.7. Bemessung und Gestaltung des Trägers

- Auswahl des Querschnittes des Trägers

Die flache Stauhaut des Stützes wird direkt auf dem Träger verschweißt. So wird ein Teil von ihr in der Tragfähigkeit des Trägers berücksichtigt.

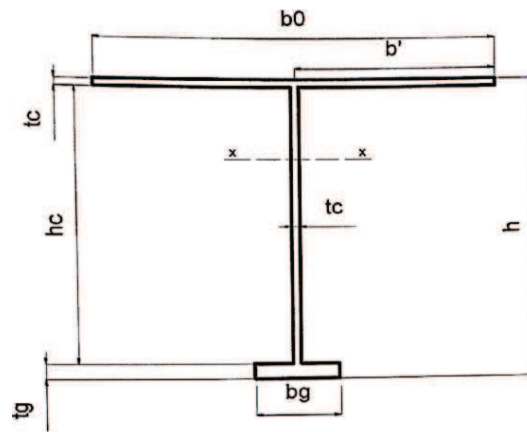


Abb. 7.13 Skizze eines Trägers [22]

Im Feld:

$$l_0 = 0,75 \cdot l = 0,75 \cdot 4,20m = 3,15m$$

$$b' = 0,15 \cdot l_0 = 0,15 \cdot 3,15m = 0,47m$$

$$l_U = 0,677m > 0,47m \quad b' = 0,47m$$

$$\frac{l_P}{2} = 2,133m > 0,47m$$

$$b_0 = 2 \cdot b' = 2 \cdot 0,47m = 0,94m, \quad \text{weil } b' < l_U$$

Angenommene Breite $b_0 = 0,94m$

In der Stütze:

$$b' \leq 0,3 \cdot c = 0,3 \cdot 1,4 = 0,42m$$

$$b_0 = l_U + b' = 0,677m + 0,42m = 1,097m$$

Als maßgebend wird die folgende Breite angenommen: $b_0 = 1,097m$

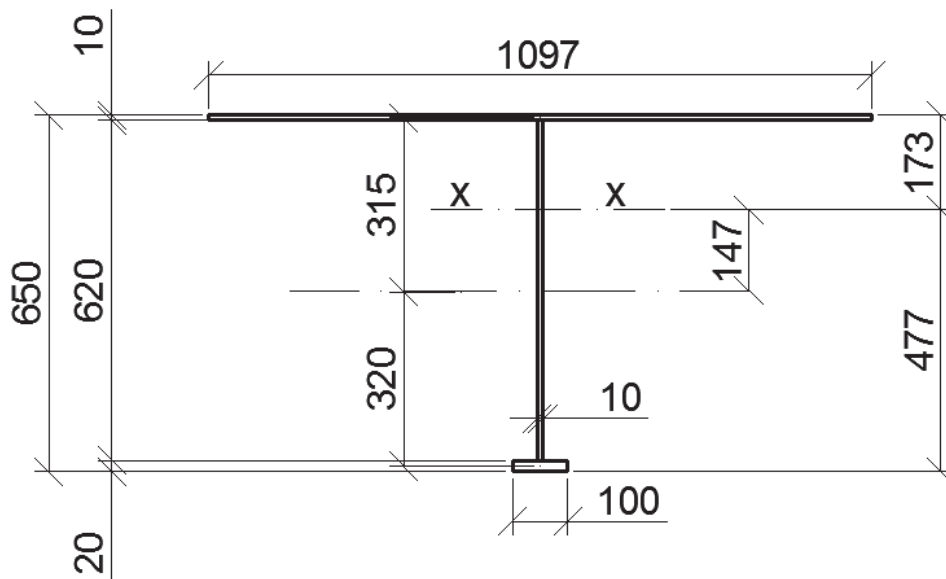


Abb. 7.14 Querschnitt des Trägers

Für den Querschnitt des Trägers wird auch Stahl 09Г2С-12 mit $R = 270\,000\text{ kN/m}^2 = 270\text{MPa}$ genutzt.

Dann,

$$W_T = \frac{M \cdot \gamma_n}{R} = \frac{21457,0\text{ kN/cm} \cdot 1,25}{27\text{ kN/cm}^2} = 993,38\text{ cm}^3 - \text{erforderliche Wanddicke des Schnittes}$$

$$h_0 = 5 \cdot \sqrt[3]{W_T} = 5 \cdot \sqrt[3]{993,38} = 49,8895\text{ cm} - \text{optimale Höhe des Querschnitts}$$

$$h'_{\min} = 4,8 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{R b'}{\gamma_n} = 4,8 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{27\text{ kN/cm}^2 \cdot 42,0\text{ cm}}{1,25} = 29,6673\text{ cm} - \text{minimale Höhe}$$

Für die Höhe des Querschnittes wird als maßgebend Höhe $h = 65,0\text{ cm}$ genommen.

$$R_s = 0,58 \cdot R = 0,58 \cdot 27\text{ kN/cm}^2 = 15,66\text{ kN/cm}^2$$

$$t_c \geq \frac{1,2 \cdot Q \cdot \gamma_n}{h \cdot R_s} = \frac{1,2 \cdot 376,893\text{ kN} \cdot 1,25}{65,0\text{ cm} \cdot 15,66\text{ kN/cm}^2} = 0,5554\text{ cm} - \text{erforderliche Wanddicke des Schnittes}$$

$t_c = 10\text{ mm}$ – auf der sicheren Seite

$$t_g = 2 \cdot t_c = 2 \cdot 10\text{ mm} = 20\text{ mm} - \text{Dicke des Gurtes}$$

Dann kann man die Höhe des Schaftes des Querschnittes bestimmen:

$$h_s = h - t_c - t_g = 65,0\text{ cm} - 1,0\text{ cm} - 2,0\text{ cm} = 62,0\text{ cm} - \text{Höhe des Schaftes}$$

Die Fläche des Gurtes:

$$\mu = \frac{b_0}{h_s} = \frac{109,7\text{cm}}{62,0\text{cm}} = 1,7689$$

$$\begin{aligned} b_g \cdot t_g &\approx \frac{6 \cdot W_T \cdot (2 \cdot \mu + 1) - t_c \cdot h_s^2 \cdot (4\mu + 1)}{4h_s \cdot (3\mu + 1)} \\ &\approx \frac{6.993,38\text{cm}^3 \cdot (2 \cdot 1,7689 + 1) - 1,0\text{cm} \cdot 62,0^2\text{cm} \cdot (4 \cdot 1,7689 + 1)}{4 \cdot 62,0\text{cm} \cdot (3 \cdot 1,7689 + 1)} \\ &= 17,87\text{cm}^2 \end{aligned}$$

Die Fläche des Gurtes ist auf 20cm^2 abgerundet, was ergibt, dass seine Breite beträgt:

$$b_g \cdot t_g = 20\text{cm}^2 \Rightarrow b_g = 100\text{mm}$$

- **Sicherheit und Stabilität des Trägers**

- **Sicherheit**

Der Querschnitt des Trägers soll die folgende Sicherheitsbedingungen erfüllen:

$$\sigma \leq \frac{R}{\gamma_n}; \tau \leq \frac{R_s}{\gamma_n}; \sigma_{EFF} \leq \frac{R}{\gamma_n}$$

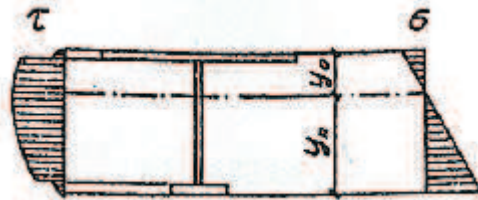


Abb 7.15 Belastungsdiagramme des Querschnittes [22]

Von Abb. 7.14 werden die folgende Länge genommen:

$$\gamma_0 = 17,3\text{cm} ; \quad \gamma_g = 47,7\text{cm}$$

$$A = b_0 \cdot t_c + h_s \cdot t_c + b_g \cdot t_g =$$

$$109,672\text{cm} \cdot 1,0\text{cm} + 62,0\text{cm} \cdot 1,0\text{cm} + 10,0\text{cm} \cdot 2,0\text{cm} = 191,672\text{cm}^2 - \text{Fläche des Querschnittes}$$

$$a = \frac{b_0 \cdot t_0 \cdot 31,5 \text{ cm} - b_g \cdot t_g \cdot 32,0 \text{ cm}}{A} = \frac{109,672 \text{ cm} \cdot 1,0 \text{ cm} \cdot 31,5 - 10,0 \text{ cm} \cdot 2,0 \text{ cm} \cdot 32,0 \text{ cm}}{191,672 \text{ cm}^2} = 14,7 \text{ cm} -$$

Position des Schwerpunktes

Trägheitsmoment des Querschnittes in Bezug auf X-X:

$$J = \frac{1,0 \text{ cm} \cdot 62,0^3 \text{ cm}}{12} + 109,672 \text{ cm} \cdot 1,0 \text{ cm} \cdot 31,5^2 \text{ cm} + 10,0 \text{ cm} \cdot 2,0 \text{ cm} \cdot 32,0^2 \text{ cm} - 191,672 \text{ cm}^2 \cdot 14,7^2 \text{ cm} = 1,078 \cdot 10^5 \text{ cm}^4$$

Statischer Moment der Teile des Querschnittes in der Nähe von dem Schwerpunkt:

$$S = 10,0 \text{ cm} \cdot 2,00 \text{ cm} \cdot (32,0 \text{ cm} + 14,7 \text{ cm}) + \left(\frac{62,0 \text{ cm}}{2} + 14,7 \text{ cm} \right)^2 \cdot \frac{1,0 \text{ cm}}{2} = 1977,25 \text{ cm}^3$$

Statischer Moment des Gurtes:

$$S_g = 10,0 \text{ cm} \cdot 2,00 \text{ cm} \cdot (32,0 \text{ cm} + 14,7 \text{ cm}) = 933,7 \text{ cm}^3$$

$$\sigma = \frac{N}{A} \pm \frac{M}{J} \cdot y; \tau = \frac{Q \cdot S}{J t_c}; \sigma_{EFF} = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

Wo die Normalspannungen eine Summe von den Axialkräften $N = X$ und dem Biegemoment M sind.

Kontrolle der Spannungen:

$$\sigma = \frac{N}{A} \pm \frac{M}{J} \cdot y_{II} = \frac{38,636 \text{ kN}}{191,672 \text{ cm}^2} \pm \frac{214,5704 \text{ kNm}}{1,078 \cdot 10^5 \text{ cm}^4} \cdot 47,7 \text{ cm} = 9,693 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma = 9,693 \text{ kN/cm}^2 < \frac{R}{\gamma_n} = \frac{27,0}{1,25} = 21,6 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau = \frac{Q \cdot S}{J t_c} = \frac{376,8931 \text{ kN} \cdot 1977,247 \text{ cm}^3}{1,078 \cdot 10^5 \text{ cm}^4 \cdot 1,0 \text{ cm}} = 6,911 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau = 6,911 \text{ kN/cm}^2 < \frac{R_s}{\gamma_n} = \frac{15,66}{1,25} = 12,528 \text{ kN/cm}^2$$

Spannungen in Unterteil des Schaftes::

$$\sigma = \frac{N}{A} \pm \frac{M}{J} \cdot y_{II} = \frac{38,636 \text{ kN}}{191,672 \text{ cm}^2} \pm \frac{214,5704 \text{ kNm}}{1,078 \cdot 10^5 \text{ cm}^4} \cdot 47,7 \text{ cm} - 2,0 \text{ cm} = 9,295 \text{ kN/cm}^2$$

$$9,295kN/cm^2 < 21,6kN/cm^2$$

$$\tau = \frac{Q \cdot S}{J t_c} < \frac{R_s}{\gamma_n}$$

$$\tau = \frac{376,8931kN \cdot 1977,247cm^3}{1,078 \cdot 10^5 cm^4 \cdot 1,0cm} = 6,911kN/cm^2 < \frac{15,66}{1,25} = 12,528kN/cm^2$$

Kontrolle in den Bereichen der gleichzeitig wirkenden Normal- und Tangentialkräfte.

$$\sigma_{EFF} = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2} = \sqrt{9,295^2 kN/cm^2 + 3 \cdot 6,911^2 kN/cm^2} = 15,156kN/cm^2$$

$$\sigma_{EFF} = 15,156kN/cm^2 < \frac{R_s}{\gamma_n} = \frac{27,0}{1,25} = 21,6kN/cm^2$$

Kontrolle der Normalspannungen:

$$\sigma = \frac{M}{J} \cdot 47,7cm - \frac{N}{A} = \frac{214,5704kNm}{1,078 \cdot 10^5 cm^4} \cdot 47,7cm - \frac{38,636kN}{191,672cm^2} = 9,29kN/cm^2$$

$$\sigma = 9,29kN/cm^2 < \frac{R_s}{\gamma_n} = \frac{27,0}{1,25} = 21,6kN/cm^2$$

Nachweis erfüllt!

- Stabilität

Die geometrischen Eigenschaften des Trägers sind:

$$i = \sqrt{\frac{J}{A}} = \sqrt{\frac{1,078 \cdot 10^5 cm^4}{191,672 cm^2}} = 23,719cm - \text{Trägheitsradius}$$

$$\lambda = \frac{l}{i} - \text{bedingte Flexibilität}$$

$$\bar{\lambda} = \lambda \cdot \sqrt{\frac{R}{E}} = \frac{l}{i} \cdot \sqrt{\frac{R}{E}} = \frac{420,0cm}{23,719cm} \cdot \sqrt{\frac{270MPa}{206000MPa}} = 0,6411 - \text{relative Schlankheit}$$

$$e = \frac{M_{II}}{N} = \frac{214,5704kNm}{38,636kN} = 5,5536m = 555cm - \text{absolute Exzentrizität in der Mitte des}$$

Trägers

$$\rho = \frac{J}{y_0 \cdot A} = \frac{1,078 \cdot 10^5 cm^4}{17,3cm \cdot 191,672 cm^2} = 32,5188cm$$

$$m = \frac{e}{\rho} = \frac{555,0\text{cm}}{32,5188\text{cm}} = 17,08 \text{ – relative Exzentrizität}$$

$\eta = 1,8$ – Beiwert des Einflusses der Querschnittsform

$$m_{EFF} = \eta \cdot m = 1,8 \cdot 17,08 = 30,74 \text{ – ausgerichtet relative Exzentrizität}$$

Relative Schlankheit $\bar{\lambda}$	Ausgerichtet relative Exzentrizität m_{EFF}									
	0,1	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0
0,5	0,967	0,850	0,722	0,620	0,538	0,417	0,337	0,280	0,237	0,210
1,0	0,925	0,778	0,653	0,563	0,484	0,382	0,307	0,259	0,225	0,196
1,5	0,875	0,716	0,593	0,507	0,439	0,347	0,283	0,240	0,207	0,182
2,0	0,813	0,653	0,536	0,457	0,397	0,315	0,260	0,222	0,193	0,170
2,5	0,742	0,587	0,480	0,410	0,357	0,287	0,238	0,204	0,178	0,158
3,0	0,667	0,520	0,425	0,365	0,320	0,260	0,217	0,187	0,166	0,147
3,5	0,587	0,455	0,375	0,325	0,287	0,233	0,198	0,172	0,153	0,137
4,0	0,505	0,394	0,330	0,289	0,256	0,212	0,181	0,158	0,140	0,127
4,5	0,418	0,342	0,288	0,257	0,229	0,192	0,165	0,146	0,130	0,118
5,0	0,354	0,295	0,253	0,225	0,205	0,175	0,150	0,135	0,120	0,111

Tab. 7.5 Teil der Tabelle von Anhang A: Beulwert φ [22]

$\varphi_e = 0,0375$ wird von Tab. 7.5 ermittelt

$$\sigma = \frac{N}{\varphi_e \cdot A} = \frac{38,636\text{kN}}{0,0375 \cdot 191,672\text{cm}^2} = 5,375\text{kN/cm}^2 < \frac{R_s}{\gamma_n} = 21,6\text{kN/cm}^2$$

Der Nachweis für Stabilität des Trägers ist erfüllt!

Es wurde eine Beule von 8mm (6-8mm) zu der Wanddicke des Querschnitts als Korrosionszuschlag berücksichtigt und nach einer auf der sicheren Seite Rundung. Der endgültige Querschnitt des Trägers sieht so aus:

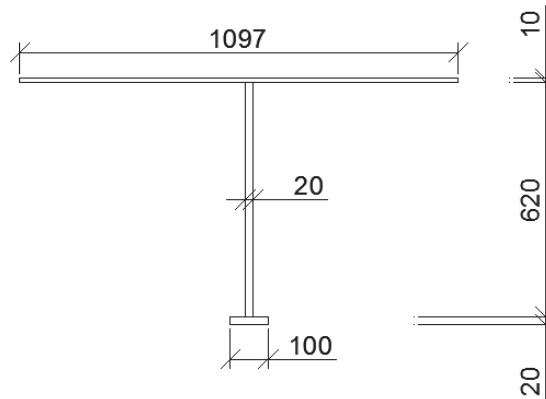


Abb. 7.16 Endgültiger Querschnitt des Trägers

- **Lokale Stabilität der Elementen des Trägers**

Die lokale Stabilität der Wände des Trägers wird gerechnet, wenn die folgenden Bedingungen erfüllt sind:

$$\bar{\lambda} = \frac{h_s}{t_c} \cdot \sqrt{\frac{R}{E}} = \frac{62,0\text{cm}}{1,0\text{cm}} \cdot \sqrt{\frac{270\text{MPa}}{206000\text{MPa}}} = 2,245 < 3,5$$

In diesem Fall $\bar{\lambda} < 3,5$, deshalb wird nicht geprüft.

Druckspannung in der Stauhaut, wenn der Träger auf Biegung arbeitet.

$$\sigma_0 = \frac{N}{A} + \frac{M_{II}}{J} \cdot \gamma_0 = \frac{38,636\text{kN}}{191,672\text{cm}^2} + \frac{214,5704\text{kNm}}{1,078 \cdot 10^5\text{cm}^4} \cdot 17,7\text{cm} = 3,7237\text{kN/cm}^2$$

Die Voraussetzung für Stabilität des Gurtes ist folgendes:

$$\frac{b_g}{t_g} \leq \sqrt{\frac{E}{R}}$$

$$\frac{b_g}{t_g} = 5 < \sqrt{\frac{E}{R}} = 27,6 \text{ – die Bedingung ist erfüllt.}$$

- **Berechnung der Schweißnähte**

Die Schweißnähte befestigen der Stauwand an der Wand des Trägers. Der bilaterale Naht K wird durch den Zustand der Metallnahtfestigkeit bestimmt.

Bei Betriebstemperaturen $t_0 > -40^\circ C$, ist der Betriebsbeiwert $\gamma_W = 1,0$. Da die Träger werden in einer Fabrik hergestellt werden, wo Maschinen zum Schweißen vorhanden sind, ist der Rate der Eindringtiefe $\beta_f = 1,1$, $\beta_z = 1,15$.

Der Stahl 09Г2С-12 hat Streckgrenze der Schweißverbindung:

$$R_{Wz} = 200MPa, \quad R_{Wf} = 200MPa$$

Der statische Moment beim Schweißen von Stauwand beträgt:

$$S_{SW} = 109,6719cm \cdot 1,0cm \cdot 17,7cm - 5,0cm = 1261,227cm^3$$

$$\gamma_W = 1,0 - \text{Betriebsbeiwert der Naht}$$

Der notwendige Schenkel wird:

$$K_{SW} \geq \frac{Q_0 \cdot S_{SW} \cdot \gamma_n}{2\beta_f \cdot \gamma_W \cdot R_{Wf} \cdot J} = \frac{376,8931kN \cdot 1261,227cm^3 \cdot 1,25}{2 \cdot 1,1 \cdot 1,0 \cdot 20kN/cm^2 \cdot 1,078 \cdot 10^5 cm^4} = 0,13cm$$

$$K_{SW} \geq \frac{Q_0 \cdot S_{SW} \cdot \gamma_n}{2\beta_z \cdot \gamma_W \cdot R_{Wz} \cdot J} = \frac{376,8931kN \cdot 1261,227cm^3 \cdot 1,25}{2 \cdot 1,15 \cdot 1,0 \cdot 20kN/cm^2 \cdot 1,078 \cdot 10^5 cm^4} = 0,12cm$$

Angenommen:

$$K_{SW} = 5mm - (4mm - \text{Minimalwert})$$

Der statische Moment bei Schweißen des Gurtes am Schaft ist:

$$S_g = 10,0cm \cdot 2,00cm \cdot (32,0cm + 14,7cm) = 933,7cm^3$$

Der notwendige Schenkel wird

$$K_g \geq \frac{Q_0 \cdot S_g \cdot \gamma_n}{2\beta_f \cdot \gamma_W \cdot R_{Wf} \cdot J} = \frac{376,8931kN \cdot 933,7cm^3 \cdot 1,25}{2 \cdot 1,1 \cdot 1,0 \cdot 20kN/cm^2 \cdot 1,078 \cdot 10^5 cm^4} = 0,093cm$$

$$K_g \geq \frac{Q_0 \cdot S_g \cdot \gamma_n}{2\beta_z \cdot \gamma_W \cdot R_{Wz} \cdot J} = \frac{376,8931kN \cdot 933,7cm^3 \cdot 1,25}{2 \cdot 1,15 \cdot 1,0 \cdot 20kN/cm^2 \cdot 1,078 \cdot 10^5 cm^4} = 0,089cm$$

den Minimalwert $K_g = 4mm$ angenommen:

7.8. Bemessung der Stützarme des Segmentschützes

- Ermittlung der Schnittgrößen

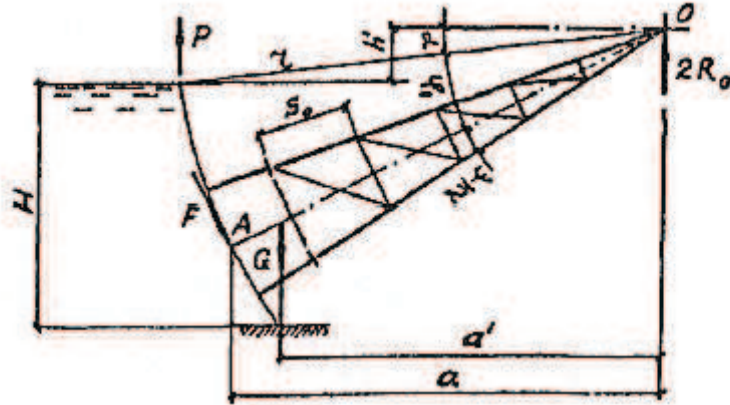


Abb. 7.17 Axialkräfte der Konstruktion [22]

Die Normalkraft im Stützarm durch den Wasserdruck wird als die Summe der Projektionen der Auflagerkräfte R und X in der Achse der Stützarme definiert.

$$N_{St} = \frac{1}{S} \cdot R \cdot r_0 + X \cdot c_0 = \frac{1}{16,425m} \cdot 628,155kN \cdot 16,395m + 38,636kN \cdot 1,0m$$

$$= 629,342kN$$

Gleichgewichtsbedingung:

$$P \cdot r = F \cdot r + G \cdot a'$$

Reibungskraft:

$$F = 1,2 \cdot f \cdot \gamma \cdot H \cdot \varphi \cdot r \cdot b_y$$

1,2 – Beiwert, der die mögliche Veränderung der Reibungskraft von der Bemessungskraft berücksichtigt

$$f = 0,8 \text{ - Reibungsbeiwert}$$

$$b_y = 60mm \text{ – Breite der Seitendichtung (6cm für die Gummidichtung der Winkelprofils)}$$

$$F = 1,2 \cdot f \cdot \gamma \cdot H \cdot \varphi \cdot r \cdot b_y = 1,2 \cdot 0,8 \cdot 9,81 \cdot 8,25m \cdot 0,5246 \cdot 16,5m \cdot 0,06m = 40,8137kN$$

Gewicht des Segmentschützes:

$$G = 0,24 \cdot (V \cdot L^2)^{0,69} = 0,24 \cdot (355,951 \text{ kN} \cdot 7,0^2)^{0,69} = 202,724 \text{ kN}$$

Kraft der Hubeinrichtung:

$$a' = 0,8 \cdot a = 0,8 \cdot 14,97 = 11,976 \text{ m}$$

$$P = F + G \cdot \frac{a'}{r} = 40,8137 \text{ kN} + 202,724 \text{ kN} \cdot \frac{11,976 \text{ m}}{16,5 \text{ m}} = 187,954 \text{ kN}$$

Vertikale Reaktionskraft des Drehlagers:

$$R_0 = \frac{1}{2} \cdot \left(P \cdot \frac{r-a'}{a} + 0,2G \right) = \frac{1}{2} \cdot \left(187,954 \text{ kN} \cdot \frac{16,50 \text{ m} - 11,976 \text{ m}}{11,976 \text{ m}} + 0,2 \cdot 202,724 \text{ kN} \right) = 29,878 \text{ kN}$$

Zusatzkraft am Ende des Stützarmes bei der Aufhebung des Verschlusses- die Gleichgewichtsbedingung des Punktes O erlaubt die unbekannte Kräfte in die Stützarme zu berechnen.

$$N_{StE} = \frac{R_0}{\sin \psi} \cdot \cos \left(\alpha + \varphi_1 + \frac{\psi}{2} \right) = \frac{29,878 \text{ kN}}{\sin 0,2585} \cdot \cos \left(0,0606 + 0,3542 + \frac{0,2585}{2} \right) = 103,133 \text{ kN}$$

Bemessungsaxialkraft im Stützarm:

$$N = N_{St} + \frac{N_{StE}}{\cos \xi} = N_{St} + \frac{N_{StE} \cdot S}{r_0} = 629,342 \text{ kN} + \frac{103,133 \text{ kN} \cdot 16,425 \text{ m}}{16,395 \text{ m}} = 732,667 \text{ kN}$$

- **Auswahl des Querschnitts der Stützarme**

Der Querschnitt ist als HE Profil von der Stabilitätsbedingung der Warmwalzprofile ausgewählt, woher es die erforderliche Fläche A erhalten wird.

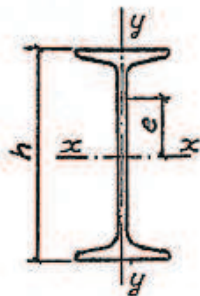


Abb. 7.18 Querschnitt der Stützarme [22]

$\varphi_e = 0,7$ - angenommen Beulwert

$R = 27,0kN/cm^2$ - voraussichtliches Widerstand des Stahls (Tab. 7.2)

$$A \geq \frac{N \cdot \gamma_n}{\varphi_e \cdot R} = \frac{732,667kN \cdot 1,25}{0,7 \cdot 27,0kN/cm^2} = 48,457cm^2$$

wo

$\varphi_e = 0,7$ – angenommenen Beulwert

Von Anhang A, Tab. 7.6 ist Profil №36 gewählt worden. Die Werte des Profils sind:

$$h = 36,0cm; A = 61,9cm^2; W_x = 743cm^3; i_x = 14,7cm$$

Folgt die Rechnung für φ_e :

$$e = \frac{M_{St}}{N} = \frac{5,2839kNm}{732,667kN} = 0,721cm$$

$$m = \frac{e \cdot A}{W_x} = \frac{0,721cm \cdot 61,9cm^2}{743} = 0,06$$

$$\lambda = \frac{S_0}{i_x} = \frac{16,4255m}{0,147m} = 111,74$$

$$\bar{\lambda} = \lambda \cdot \sqrt{\frac{R}{E}} = 111,74 \cdot \sqrt{\frac{270MPa}{206000MPa}} = 4,045$$

$$m_{EFF} = [(1,75 - 0,1 \cdot m) - 0,02 \cdot (5 - m) \cdot \lambda] \cdot m \\ = [(1,75 - 0,1 \cdot 0,06) - 0,02 \cdot (5 - 0,06) \cdot 4,045] \cdot 0,06 = 1,344$$

Beulwert von Anhang A Tab. 7.5: $\varphi_e = 0,303$

$$\sigma = \frac{N}{\varphi_e \cdot A} = \frac{735,6669kN}{0,303 \cdot 61,9cm^2} = 39,0637kN/cm^2 > \frac{R}{\gamma_n} = 21,6kN/cm^2$$

Es soll ein neues Profil ausgewählt werden!

Profil №50 ist von Anhang A Tab. 7.6 mit folgenden Werten gewählt worden:

$$h = 50,0cm; A = 100,0cm^2; W_x = 1589cm^3; i_x = 19,9cm$$

$$m = \frac{e \cdot A}{W_x} = \frac{0,721 \text{ cm} \cdot 100,0 \text{ cm}^2}{1589 \text{ cm}^3} = 0,045$$

$$\lambda = \frac{S_0}{i_x} = \frac{16,4255 \text{ m}}{0,199 \text{ m}} = 82,54$$

$$\bar{\lambda} = \lambda \cdot \sqrt{\frac{R}{E}} = 82,54 \cdot \sqrt{\frac{270 \text{ MPa}}{206000 \text{ MPa}}} = 2,988$$

$$m_{EFF} = [(1,75 - 0,1 \cdot m) - 0,02 \cdot (5 - m) \cdot \lambda] \cdot m \\ = [(1,75 - 0,1 \cdot 0,045) - 0,02 \cdot (5 - 0,045) \cdot 2,988] \cdot 0,045 = 1,45$$

Beulwert von Anhang A Tab. 7.5: $\varphi_e = 0,375$

Kontrolle der Festigkeit der Stützarme:

$$\sigma = \frac{N}{\varphi_e \cdot A} = \frac{735,6669 \text{ kN}}{0,375 \cdot 100,0 \text{ cm}^2} = 19,54 \text{ kN/cm}^2 < \frac{R}{\gamma_n} = 21,6 \text{ kN/cm}^2$$

Der Nachweis ist erfüllt!

- **Bemessung der Befestigungsknoten des Stützarmes**

Die Profile sind zum Drehlager mit vier Eckenschweißnähte verbunden. Die Seiten der Nähte werden in Verbindung mit der Dicke der Platte bestimmt.

$$K \leq 0,8 \cdot t \text{ – Seite der Naht}$$

Angenommen:

$$K \leq 0,8 \cdot 13,0 \text{ mm} = 9,84 \sim 10 \text{ mm}$$

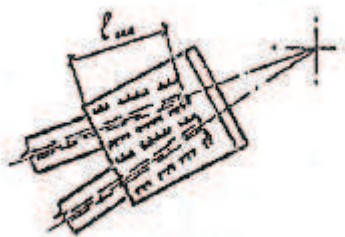


Abb. 7.19 Eckenschweißnähte [22]

Die erforderliche Länge der Naht wird von der Festigkeitsbedingung des Schichtmaterials und der Grenze des Schweißens bestimmt.

Für halb-maschinelle Schweißnaht: $\beta_f = 0,9$; $\beta_z = 1,05$

$$l_N \geq \frac{N \cdot \gamma_n}{4 \cdot \beta_f \cdot K \cdot R_{Wf} \cdot \gamma_W} + 1 = \frac{735,6669 \text{ kN} \cdot 1,25}{4 \cdot 0,9 \cdot 1,0 \text{ cm} \cdot 20,0 \cdot 1,0} + 1 = 13,72 \text{ cm}$$

$$l_N \geq \frac{N \cdot \gamma_n}{4 \cdot \beta_z \cdot K \cdot R_{Wz} \cdot \gamma_W} + 1 = \frac{735,6669 \text{ kN} \cdot 1,25}{4 \cdot 1,05 \cdot 1,0 \text{ cm} \cdot 20,0 \cdot 1,0} + 1 = 11,90 \text{ cm}$$

Angenommen:

$$l_N = 14 \text{ cm}$$

7.9. Bemessung der Querrippen

- Konstruktions- und Bemessungsschema

Die Querrippe ist einen Querbalken, der mit dem Träger befestigt ist. Die Berechnungsdiagramm der Querrippe kann wie einen Träger auf zwei Stützen mit ungleichmäßig verteilten Last Q von dem Wasserdruck q dargestellt werden.

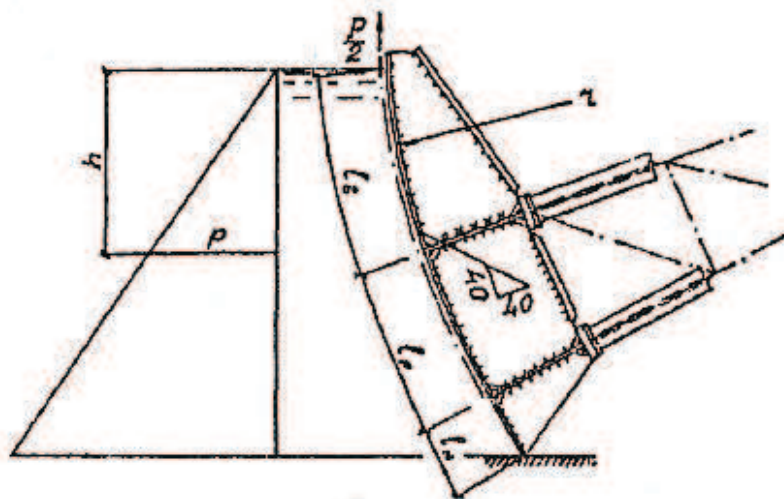


Abb. 7.20 Skizze der Konstruktion [22]



Abb. 7.21 Last auf den Querrippen [22]

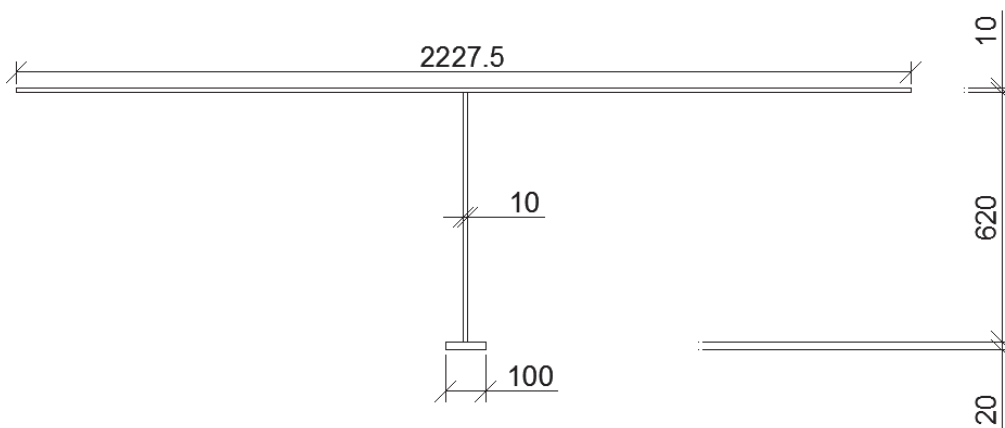


Abb. 7.22 Querschnitt der Querrippe

- **Kontrolle der Sicherheit der Querrippen**

In der Knoten der Annäherung an die oberen Konsolen wirken große Biegemoment und Querkraft und deshalb soll die Stärke der Eckenschweißnaht der Bindung der Querrippe zum Träger überprüft werden. Die berechnete Festigkeit der Bodenverbindung wird wie manuellen Schweißen angenommen.

Die Biegemoment und die Querkraft in der Knoten werden wie folgt bestimmt:

$$q = 9,81 \cdot \left(r \cdot \sin \frac{l_B + h'}{r} \right) \cdot d = 9,81 \cdot \left(16,5m \cdot \sin \frac{3,7125m + 0,10m}{16,5m} \right) \cdot 1,6m$$

$$= 57,7403kN/m$$

$$q_t = \frac{P}{2 \cdot r} = \frac{187,954kN}{2 \cdot 16,5m} = 5,696kN/m$$

$$M = \frac{1}{6} \cdot q \cdot l_B^2 + \frac{1}{2} \cdot q_1 \cdot l_B^2 = \frac{1}{6} \cdot 57,7403 \text{ kN/m} \cdot 3,7125^2 \text{ m} + \frac{1}{2} \cdot 5,696 \text{ kN/m} \cdot 3,7125^2 \text{ m}$$

$$= 171,886 \text{ kNm}$$

$$Q = \frac{1}{2} \cdot q \cdot l_B + \frac{1}{2} \cdot q_1 \cdot l_B = \frac{1}{2} \cdot 57,7403 \text{ kN/m} \cdot 3,7125 \text{ m} + \frac{1}{2} \cdot 5,696 \text{ kN/m} \cdot 3,7125 \text{ m}$$

$$= 117,7529 \text{ kN}$$

Breite des Querschnittes wird nicht mehr als 0,6 von der Länge der oberen Konsole gewählt:

$$b_0 = 0,6 \cdot l_U = 0,6 \cdot 371,25 \text{ cm} = 222,75 \text{ cm}; \quad h_c = 62 \text{ cm}$$

$$A = 222,75 \text{ cm} + 62,0 \text{ cm} + 20,0 \text{ cm} = 304,75 \text{ cm}^2$$

$$a = \frac{b_0 t_0 \cdot 31,5 \text{ cm} - b_g t_g \cdot 32,0 \text{ cm}}{A}$$

$$= \frac{222,75 \text{ cm} \cdot 1,0 \text{ cm} \cdot 31,5 \text{ cm} - 10,0 \text{ cm} \cdot 2,0 \text{ cm} \cdot 32,0 \text{ cm}}{304,75 \text{ cm}^2} = 20,924 \text{ cm}$$

$$J_X = \frac{1,0 \text{ cm} \cdot 62,0^3 \text{ cm}}{12} + 222,75 \text{ cm} \cdot 1,0 \text{ cm} \cdot 31,5^2 \text{ cm} + 10,0 \text{ cm} \cdot 2,0 \text{ cm} \cdot 32,0 \text{ cm}$$

$$- 304,75 \text{ cm}^2 \cdot 10,0 \text{ cm}^2 = 2,38 \cdot 10^5 \text{ cm}^4$$

$$J_C = \frac{1,0 \text{ cm} \cdot 62,0^3 \text{ cm}}{12} + 1,0 \text{ cm} \cdot 62,0 \text{ cm} \cdot 22,275^2 \text{ cm} = 5,62 \cdot 10^4 \text{ cm}^4$$

$$M_C = \frac{50620 \text{ cm}^4}{238000 \text{ cm}^4} \cdot 171,886 \text{ kNm} = 36,488 \text{ kNm}$$

Annahme:

$$K_N = 0,6 - \text{Breite der Naht}$$

$$\beta_f = 0,7 \text{ cm} - \text{für manuelles Schweißen}$$

$$l_N = 62,0 \text{ cm} - 2,4,0 \text{ cm} = 54,0 \text{ cm}$$

$$A_N = 2 \cdot \beta_f \cdot K \cdot l_{\text{ШЕВ}} = 2 \cdot 0,7 \text{ cm} \cdot 0,6 \cdot 54,0 \text{ cm} = 45,36 \text{ cm}^2 - \text{Fläche der Naht}$$

Widerstandsmoment der Naht:

$$W_N = \frac{2 \cdot \beta_f \cdot K}{0,5 \cdot l_{\text{ШЕВ}} + \alpha} \cdot \left(\frac{l_{\text{ШЕВ}}^3}{12} + l_{\text{ШЕВ}} \cdot \alpha^2 \right)$$

$$= \frac{2,0,7 \text{ cm} \cdot 0,6}{0,5 \cdot 54,0 \text{ cm} + 20,9 \text{ cm}} \cdot \left(\frac{54,0^3 \text{ cm}^3}{12} + 54,0 \text{ cm} \cdot 20,9^2 \text{ cm} \right) = 644 \text{ cm}^3$$

Schubspannungen:

$$\tau_Q = \frac{Q}{A_{\text{ШЕВ}}} = \frac{117,753 \text{ kN}}{45,36 \text{ cm}^2} = 2,596 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_M = \frac{M_C}{W_{\text{ШЕВ}}} = \frac{36,488 \text{ kNm} \cdot 10^2}{644 \text{ cm}^3} = 5,662 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau = \sqrt{\tau_Q^2 + \tau_M^2} = \sqrt{2,596^2 \text{ kN/cm}^2 + 5,662^2 \text{ kN/cm}^2} = 6,23 \text{ kN/cm}^2$$

Kontrolle der Schubspannungen:

$$\tau = 6,23 \text{ kN/cm}^2 < R_{Wf} \cdot \frac{\gamma_m}{\gamma_n} = 21,6 \text{ kN/cm}^2$$

Nachweis ist erfüllt!

Es wurde eine Beule von 8mm (6-8mm) zu der Wanddicke des Querschnitts als Korrosionszuschlag berücksichtigt und nach einer auf der sicheren Seite Rundung. Der endgültige Querschnitt des Trägers sieht so aus:

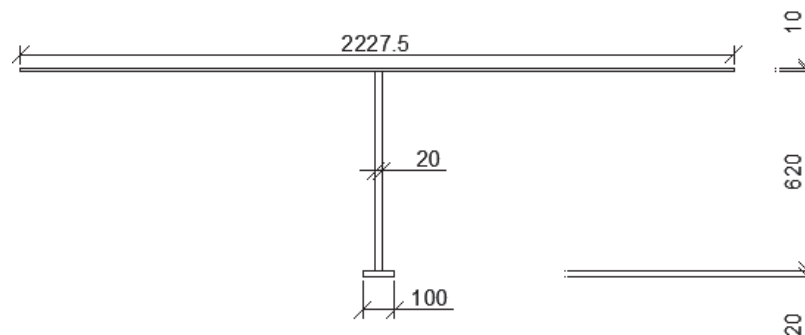


Abb. 7.23 Endgültiger Querschnitt der Querrippe

7.10. Bemessung des Drehlagers

Das Drehlager bekommt die Reaktion der beiden Rahmen senkrecht F_0 , und entlang der Achse ausgerichteten Druck T_0 .

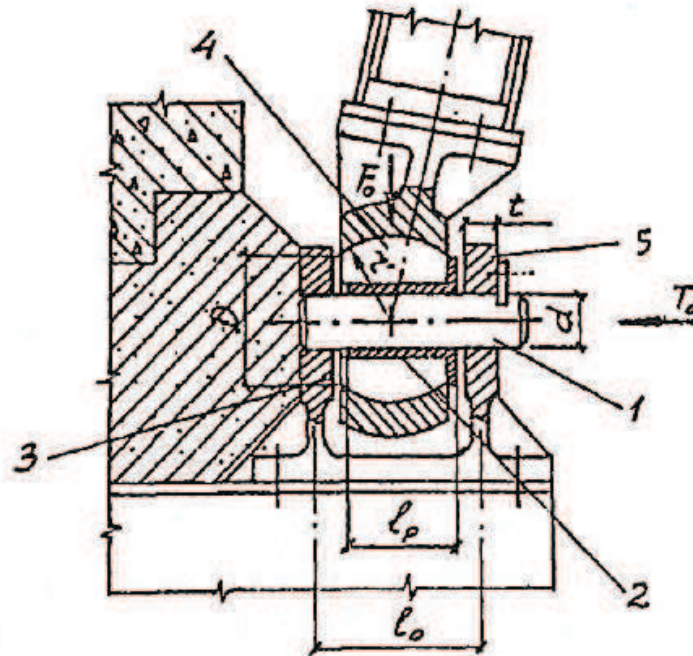


Abb. 7.24 Skizze des Drehlagers [22]

$$F_0 = \frac{V \cdot L}{2} = \frac{355,951 \text{ kN/m} \cdot 7,0 \text{ m}}{2} = 1245,83 \text{ kN}$$

$$T_0 = 2 \cdot X = 2 \cdot 38,6361 \text{ kN} = 77,2722 \text{ kN}$$

$$d \cdot l_p = \frac{F_0}{4} = \frac{1245,83}{4} = 311,457 \text{ cm}^2$$

Angenommenes Verhältnis: $l_p \approx 2 \cdot d$

$$d \cdot 2d = 311,457 \text{ cm}^2$$

$$\Rightarrow d = 12,69 \text{ cm} \approx 13,0 \text{ cm}$$

$$l_p = 2 \cdot d = 26,0 \text{ cm}$$

$$q' = 17 \text{ MPa} \geq \sigma = \frac{T_0}{A_K} \Rightarrow A_K \geq \frac{T_0}{q'} = \frac{77,2722}{1,7} = 45,45 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_{GR} = 130\text{MPa} \geq \frac{0,637 \cdot F_0}{d \cdot t} \Rightarrow t \geq \frac{0,637 \cdot F_0}{d \cdot \sigma_{GR}} = \frac{0,637 \cdot 1245,83}{13,0 \cdot 13,0} = 4,7\text{cm} \approx 5\text{cm}$$

$$l_0 = l_p + t = 26,0\text{cm} + 5\text{cm} = 31,0\text{cm}$$

Der Biegemoment:

$$M_L = \frac{F_0 \cdot l_0}{8} = \frac{1245,83\text{kN} \cdot 31,0\text{cm}}{8} = 4827,58\text{kNcm}$$

Axialwiderstandsmoment:

$$W_L = \frac{\pi \cdot d^3}{32} = \frac{\pi \cdot 13^3}{32} = 215,581\text{cm}^3$$

Spannung:

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{4827,58\text{kNcm}}{215,581\text{cm}^3} = 22,3934\text{kN/cm}^2$$

Kontrolle der Spannung: $\sigma_{zul} = 35,0 \text{ kN/cm}^2$

$$\sigma = \frac{M}{W} = 22,3934\text{kN/cm}^2 < \sigma = 35,00\text{kN/cm}^2$$

8. Ausführungstechnologie und Grundbetriebsanforderungen von Verschlüssen im Stahlwasserbau

Die Segmentverschlüsse werden nur bei Hochwasser komplett angehoben. Während der übrigen (meisten) Zeit bleiben diese heruntergelassen. Bei normalem Betrieb können sie zum Zweck des Ab- bzw. Durchlassens angesammelter Ablagerungen sowie saisonbedingten Durchsichten geöffnet werden. Das Anheben der Segmentschütze kann in diesen Fällen durch ein hydraulisches Öldrucksystem und aufeinanderfolgendes Umschalten auf jedes einzelne Segment erfolgen oder aber mittels Seilrollen, die mit Hilfe von am unteren Teil des Segments befestigten Seilen das gesamte Segment anheben können. Im Fall von Reparaturen sind Reparaturschütze – Dammbalken vorgesehen.

8.1. Bauliche Durchbildung nach DIN- 19704, Teil 2 (Mai 1998)

- **Grundsätze an Stahlwasserbauten**
 - Einfache, robuste und betriebsichere Konstruktion.
 - Nutzungsdauer der Stahlkonstruktionen – 70 Jahre.
 - Nutzungsdauer der Maschinenteile und deren elektrischer Ausrüstung – 35 Jahre.
 - „Bei der Formgebung der Stahlkonstruktion sowie Art und Konstruktion der Dichtungen sind insbesondere die hydrodynamischen Einwirkungen zu beachten“ [8].
 - „Einer möglichen Kavitation ist durch besondere Maßnahmen, wie Formgebung, Belüftung und dergleichen zu begegnen“ [8].

- **Allgemeine Anforderungen an Stahlwasserbauten**
 - Zugänglichkeit
 - Leichte Zugänglichkeit, Prüfbarkeit, Auswechselbarkeit der Konstruktionsteile und wirtschaftliche Unterhaltung.
 - Der Verschlusskörper soll nach Möglichkeit begehbar sein – Leitern, Mannlöcher, Roste und Laufstege werden vorgesehen.
 - Belüftung des Segmentschützes – Reinigungsöffnungen werden vorgesehen.

- Antriebsräume
 - „Die Antriebsräume sind zu entwässern, zu belüften und wenn notwendig gegen Schwitzwasserbildung zu schützen“ [8].
 - Die umweltgefährdende Betriebsmedien können auf keiner Weise in die Umwelt gelangen.
 - Die Antriebsräume liegen unter dem höchsten Wasserspiegel, deshalb sind die Antriebsräume sowie Kabel- und Rohrdurchdringungen druckwasserdicht auszuführen.
 - Zugänglichkeit bei Bemessungshochwasser.

- Verriegelungen

Verschlusskörper müssen mechanisch verriegelt werden können:

- in Abhängigkeit vom Verschlusssystem
- in Abhängigkeit von den betrieblichen Sicherheitsanforderungen
- zur Erleichterung von Montage- und Instandsetzungsarbeiten

- Korrosionsschutz
 - Nichtrostende Materialien – nichtrostende Stähle und unlegierte Baustähle sollen auf der Baustelle getrennt gelagert werden.
 - Mittels chemischer Stoffe – z.B. einbetonieren.
 - Schutzbeschichtung – Anstrich bzw. Verzinkung.
 - Bei Beschichtungsaufbringen soll der Grund in meisten Fällen entrostet werden.

Aktive Korrosionsschutzmaßnahmen sind: entsprechende Materialauswahl, konstruktive Maßnahmen, Zusatz von Inhibitoren, Kathoden- und Anodenschutz. Zu den *passiven Maßnahmen* zählen das Phosphatieren (Oberflächenbehandlung von Metallen) als Vorbehandlung, temporärer Schutz (Ölanstrich, farbloser Lackanstrich, Schwärzung, Verzinkung u.a) sowie anorganische Bearbeitung oder das Auftragen einer Metallschicht.

- **Mechanische und elektrische Ausrüstung**

DIN 19704-1 (Stahlwasserbauten – Berechnungsgrundlagen)

Einführung der charakteristischen Einwirkungen, Berechnung und Konstruktion von Stahlwasserbauten, bestehend aus Konstruktionen des Stahlbaus, des Maschinenbaus und der elektrischen Ausrüstung.

DIN 19704-2 (Stahlwasserbauten – Bauliche Durchbildung und Herstellung)

Grundsätze für Maschinenkonstruktion und für spezielle Maschinenteile

DIN 19704-3 (Stahlwasserbauten – elektrische Ausrüstung)

	Mechanische Antriebe	Ölhydraulische Antriebe
Kraftquelle	Elektromotor (Handantrieb)	Elektromotor
Kraftübertragung	Reduktor, Welle	Hydro- pumpe- rohrleitung, Hydrozylinder, Haspel
Hubeinrichtungen	Ketten, Zahnstange, Spindel	Hubstange
Überlast-Schutzeinrichtungen	Kupplungen	Druckbegrenzungsventil (Beipass)
Geschwindigkeitsregelung	Nur bei Zweigangsmotoren	Hydraulikregler
Schnellreglung	Nur bei gestimmten Motoren und Antrieben	geöffneter Hydraulikkreis
Synchronisierungskontroll	Mechanische- und elektrische Wellen	Elektronenmonitoring
Betrieb bei niedrigen Temperaturen	keine wesentliche Auswirkung auf den Betrieb	Erreichung die Ölbetriebsviskosität mittels Anheizung
Umweltverschmutzungsgefähr	Schmiermittel	Hydrauliköl

Tab. 8.1 Antriebskomponenten und Anforderungen [24]

Zusammenfassung

Im Zuge der Durchführung dieser Arbeit wurden die Entwurfsgrundlagen von drei der heutzutage gängigsten und modernsten Wehrverschlüsse untersucht. Im Gegensatz zu früher ausgeführten Wehrverschlüssen finden Segmentverschlüsse, Fischbauchklappen und Schlauchwehre wegen ihrer Wirtschaftlichkeit in der Praxis weltweit immer häufiger Verwendung.

In der vorliegenden Untersuchung wurde ein allgemeiner Überblick über die Wehrrarten und deren Besonderheiten gegeben. Zuerst wurde ein kurzer Vergleich der festen und beweglichen Wehre durchgeführt. Schematisch wurde der Unterschied gemäß Gestaltung nach DIN 4048-1 dargestellt. Dann wurden einige der wichtigsten Wehrverschlüsse gemäß Zweck, Bauformen, Antrieben und Abfuhr des Wassers definiert. Ebenfalls ist ein grundsätzlicher Vergleich der Wehrverschlüsse nach Dimensionen und spezifischem Gewicht dargestellt, weil die richtige Wahl von der Art des Verschlusses und der Anzahl der Wehrfelder, die wiederum von der lichten Weite sowie von der Stauhöhe abhängt, eine wichtige Rolle in Bezug auf betriebssichere und wirtschaftliche Aspekte spielt. Die allgemeinen Anforderungen an Stahlwasserbauten wurden nach DIN 19704-2 definiert.

Eine ausführliche Behandlung wurde bezüglich der Entwurfsgrundlagen für Drucksegmente (1), Fischbauchklappen (2) und Schlauchwehre (3) durchgeführt, wobei folgende Bereiche im Blickpunkt standen:

- Beschreibung der Konstruktionskomponenten und geometrischen Gestaltung
- Darstellung der Antriebseinrichtungen
- Grundlagen der statischen Bemessung
- Ermittlung der Lagerkräfte – bei (1) und (2)
- Grundlagen der hydraulischen Bemessung
- Grundsätzliche Beschreibung der Schwingungen bei entsprechenden Wehrverschlüssen
- Vergleich mit früher ausgeführten Wehrverschlüssen

Weiterhin wurden die statischen Grundlagen für die Bemessung eines Segmentverschlusses erörtert. Segmente sind die heutzutage am meisten verwendeten Verschlusskonstruktionen. An einem Beispiel aus der Praxis wurde die Bemessung eines solchen nach einem russischen Handbuch durchgeführt. Es wurde ein Drucksegment der Hochwasserentlastungsanlagen am Kopf der Staumauer „Watscha“ in Bulgarien mit einer Höhe von 8,25m und einer Breite von 7,0m sowie einem Antrieb mit Hydraulikzylinder gewählt. Die Konstruktion wurde so dimensioniert, dass alle maßgebenden Nachweise erfüllt werden können. Zuerst wurde eine Ermittlung der wirkenden Kräfte, der Lage der Träger, der Bauform und der Spannungen des Rahmens durchgeführt. Wegen des Temperaturminimums von mehr als -40°C für die untersuchte Region und wegen der Dicke von 30-60mm wurde zur Bemessung der einzelnen Strukturelemente eine Stahlgüte O9Г2С-12 und eine Festigkeitsklasse von $R=27\text{kN/cm}^2$ ausgewählt. Nach den Berechnungen der einzelnen Strukturelemente wurden folgende Profile angenommen:

- für Horizontalrippen ein U-Profil mit Widerstandsmoment $W_R=50,6\text{cm}^3$;
- für die Träger ein Profil mit Breite $b_0=109,7\text{cm}$, Höhe $h=65,0\text{cm}$, Wanddicke $t_c=1,6\text{cm}$, Dicke des Gurtes $t_g=2\text{cm}$, Breite des Gurtes $b_g=10\text{cm}$, Fläche $A=191,672\text{ cm}^2$;
- für die Stützarme ein Profil mit Höhe $h=50,0\text{cm}$, Fläche $A=100,0\text{ cm}^2$, Widerstandsmoment $W_R=1589\text{cm}^3$, Inertionsradius $i_x=19,9\text{cm}$;
- für die Querrippen ein Profil mit Breite $b_0=222,75\text{cm}$, Höhe $h=65,0\text{cm}$, Wanddicke $t_c=1,6\text{cm}$, Dicke des Gurtes $t_g=2\text{cm}$, Breite des Gurtes $b_g=10\text{cm}$, Fläche $A=304,75\text{ cm}^2$

Nach dem Berechnungsbeispiel wurde eine Übersicht der Grundbetriebsanforderungen von Verschlüssen im Stahlwasserbau nach DIN 19704- Teil 1, 2 und 3 dargestellt.

Das entworfene Segmentschütz ist im Anhang B der Arbeit in Konstruktionsplänen detailliert abgebildet.

LITERATURVERZEICHNIS

- [1] Reinhard Prenner. 2012. *Skriptum zur Vorlesung „Stahlwasserbau“* Institut für Konstruktiver Wasserbau und Ingenieurhydrologie, Technische Universität Wien
- [2] Normenausschuß Wasserwesen im Deutsches Institut für Normung e.V. 1987. DIN 4048-1 Wasserbau Begriffe-Stauanlagen. Berlin: Beuth Verlag GmbH
- [3] Minor H.-E. 2004. *„Wasserbau“* Eidg. Techn. Hochschule Zürich Professur für Wassebau
- [4] Helmut MADER & Bernhard PELIKAN. *„Kleinwasserkraftwerke“ Projektierung und Entwurf, LVA Nr. 816.314.* Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiven Wasserbau. Universität für Bodenkultur Wien
- [5] Markus Auflager, Franz Joos, Klaus Jorde, Martin Kaltschmitt und Kornelia Lippitsch. *„Stromerzeugung aus Wasserkraft“.* Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2013
- [6] K. Zilch. Wasserbau, Siedlungswasserwirtschaft, Abfalltechnik. *„Handbuch für Bauingenieure“.* Springer-Verlag Heidelberg 2012
- [7] Theodor Strobl, Franz Zunic. *„Wasserbau-Aktuelle Grundlagen-Neue Entwicklungen“.* Lehrstuhl und Versuchsanstalt für Wasserbau und Wasserwirtschaft , Technische Universität München. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2006
- [8] Normenausschuss Wasserwesen im Deutsches Institut für Normung e.V.2012 DIN 19704-2 ENTWURF, Stahlwasserbauten- Teil 2: Bauliche Durchbildung und Herstellung. Berlin: Beuth Verlag GmbH

- [9] DI Valentin Weber- Wille, Dissertation „*Architektur von Wasserkraftwerken in Österreich*“, TU Wien 2013
- [10] Kaczynski J., „*Stauanlagen, Wasserkraftanlagen*“, 1991
- [11] US Army Corps of Engineering, „*Design of Spillway Tainter Gates*“, 2000
- [12] Jack Lewin, „*Hydraulic gates and valves in free surface flow and submerged outlets*“, 1995
- [13] G. Wickert, G. Schmausser, „*Stahlwasserbau*“, 1971
- [14] HST-Systemtechnik, <http://www.hst.de/produkte/segmentwehr/>
- [15] J. Seyerl (2001), Seite 94
- [16] H. Patt, P. Gonsowski 2001, „*Kapitel 4- Ausbaumethoden und Anlagen im Flussbau*“
- [17] P. Tschernutter 2011, „*Konstruktiver Wasserbau- 1*“
- [18] Minor H.-E. 2002, „*Moderne Methode und Konzepte im Wasserbau*“
- [19] Michael Siems, 2002. Dissertation „*Untersuchung zum Tragverhalten von Fischbauchklappen*“
- [20] Strenn H. 2013, „*Grundlagen zum hydraulischen Entwurf von Grundablässen*“, Master Thesis, TU Wien

- [21] M. Gebhardt 2006, „*Hydraulische und statische Bemessung von Schlauchwehren*“, Dissertation, Universität Fridericiana zu Karlsruhe
- [22] Митогов, Е. А., 1991: „*Сегментные затворы. Методические указания к курсовому проектированию для студентов специальности 29.04 „Гидротехническое строительство“*“
- [23] Normenausschuss Wasserwesen im Deutsches Institut für Normung e.V.2012 DIN 19704-1 ENTWURF, Stahlwasserbauten- Teil 1: Berechnungsgrundlagen. Berlin: Beuth Verlag GmbH
- [24] Normenausschuss Wasserwesen im Deutsches Institut für Normung e.V.2012 DIN 19704-3 ENTWURF, Stahlwasserbauten- Teil 3: Elektrische Ausrüstung. Berlin: Beuth Verlag GmbH
- [25] <http://www.taringa.net/post/noticias/16882379/Alerta-Parana-el-embalse-Yacyreta-esta-al-limite.html>
- [26] <http://www.gobizkorea.com/blog/ProductView.do?blogId=hj9441&id=1047558>
- [27] <https://www.verbund.com/de-at/ueber-verbund/kraftwerke/unsere-kraftwerke/kellerberg>
- [28] https://www.ifm.kit.edu/15_2315.php
- [29] https://www.researchgate.net/figure/278660903_fig27_Figure-5-Abb-85-Schema-eines-beweglichen-Wehres-Zugsegment-mit-Aufsatzklappe

Anhang A: Profiltabelle inklusive Beulwerte

relative Schlankheit λ	Ausgerichtet relative Exzentrizität m_{eff}																										
	0,1	0,3	0,5	0,8	1	1,3	1,5	1,8	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	8	9	10	12	14	17	17,08	20
0,5	0,967	0,92	0,85	0,78	0,722	0,669	0,62	0,58	0,538	0,47	0,42	0,37	0,34	0,31	0,28	0,26	0,24	0,22	0,21	0,18	0,16	0,15	0,125	0,106	0,09	0,0896	0,077
0,647	0,958	0,9	0,83	0,76	0,699	0,66	0,6	0,56	0,522	0,46	0,41	0,36	0,33	0,3	0,27	0,25	0,24	0,22	0,21	0,18	0,16	0,15	0,123	0,105	0,0882	0,0885	0,0761
1	0,925	0,85	0,78	0,71	0,653	0,6	0,56	0,52	0,484	0,43	0,38	0,34	0,31	0,28	0,26	0,24	0,23	0,21	0,2	0,18	0,16	0,14	0,121	0,103	0,086	0,0857	0,074
1,5	0,875	0,8	0,72	0,65	0,593	0,548	0,51	0,47	0,439	0,39	0,35	0,31	0,28	0,26	0,24	0,22	0,21	0,2	0,18	0,16	0,15	0,13	0,114	0,099	0,082	0,0816	0,07
2	0,813	0,74	0,65	0,59	0,536	0,496	0,46	0,43	0,397	0,35	0,32	0,29	0,26	0,24	0,22	0,21	0,19	0,18	0,17	0,15	0,14	0,13	0,107	0,094	0,079	0,0786	0,067
2,5	0,742	0,67	0,59	0,53	0,48	0,442	0,41	0,38	0,357	0,32	0,29	0,26	0,24	0,22	0,2	0,19	0,18	0,17	0,16	0,14	0,13	0,12	0,101	0,09	0,076	0,0757	0,065
3	0,667	0,6	0,52	0,47	0,425	0,4	0,37	0,34	0,32	0,29	0,26	0,24	0,22	0,2	0,19	0,18	0,17	0,16	0,15	0,14	0,12	0,11	0,097	0,084	0,073	0,0727	0,063
3,5	0,587	0,52	0,46	0,41	0,375	0,35	0,33	0,3	0,287	0,26	0,23	0,22	0,2	0,18	0,17	0,16	0,15	0,15	0,14	0,13	0,12	0,11	0,092	0,082	0,069	0,0687	0,06
4	0,505	0,45	0,39	0,36	0,33	0,309	0,29	0,27	0,256	0,23	0,21	0,2	0,18	0,17	0,16	0,15	0,14	0,14	0,13	0,12	0,11	0,1	0,088	0,078	0,066	0,0657	0,057
4,5	0,42	0,38	0,34	0,31	0,29	0,27	0,26	0,24	0,23	0,21	0,19	0,18	0,17	0,16	0,15	0,14	0,13	0,13	0,12	0,11	0,1	0,09	0,08	0,08	0,064	0,0631	0,055
5	0,35	0,33	0,3	0,27	0,25	0,24	0,23	0,22	0,21	0,19	0,18	0,16	0,15	0,14	0,14	0,13	0,12	0,12	0,11	0,1	0,1	0,09	0,08	0,07	0,062	0,0612	0,053

Tab. 7.5 Beulwert φ

Profil Ne	Abmessungen						Flächen cm ²	G kg/m	Biegung um die Achse						
	h	b	s	t	R	r			X-X				Y-Y		
					mm						I _x , cm ⁴	W _x , cm ³	i _x , cm	S _x , cm ³	I _y , cm ⁴
	10	100	55	4.5	7.2	7.0			2.5	12.0	9.46	198	39.7	4.06	23.0
12	120	64	4.8	7.3	7.5	3.0	14.7	11.50	350	58.4	4.88	33.7	27.9	8.72	1.38
14	140	73	4.9	7.5	8.0	3.0	17.4	13.70	572	81.7	5.73	46.8	41.9	11.50	1.55
16	160	81	5.0	7.8	8.5	3.5	20.2	15.90	873	109.0	6.57	62.3	58.6	14.50	1.70
18	180	90	5.1	8.1	9.0	3.5	23.4	18.40	1290	143.0	7.42	81.4	82.6	18.40	1.88
20	200	100	5.2	8.4	9.5	4.0	26.8	21.00	1840	184.0	8.28	104.0	115.0	23.10	2.07
22	220	110	5.4	8.7	10.0	4.0	30.6	24.00	2550	232.0	9.13	131.0	157.0	28.60	2.27
24	240	115	5.6	9.5	10.5	4.0	34.8	27.30	3460	289.0	9.97	163.0	198.0	34.50	2.37
27	270	125	6.0	9.8	11.0	4.5	40.2	31.50	5010	371.0	11.20	210.0	260.0	41.50	2.54
30	300	135	6.5	10.2	12.0	5.0	46.5	36.50	7080	472.0	12.30	268.0	337.0	49.90	2.69
33	330	140	7.0	11.2	13.0	5.0	53.8	42.20	9840	597.0	13.50	339.0	419.0	59.90	2.79
36	360	145	7.5	12.3	14.0	6.0	61.9	48.60	13380	743.0	14.70	423.0	516.0	71.10	2.89
40	400	155	8.3	13.0	15.0	6.0	72.6	57.00	19062	953.0	16.20	545.0	667.0	86.10	3.03
45	450	160	9.0	14.2	16.0	7.0	84.7	66.50	27696	1231.0	18.10	708.0	808.0	101.00	3.09
50	500	170	10.0	15.2	17.0	7.0	100.0	78.50	39727	1589.0	19.90	919.0	1043.0	123.00	3.23
55	550	180	11.0	16.5	18.0	7.0	118.0	92.60	55962	2035.0	21.80	1181.0	1356.0	151.00	3.39
60	600	190	12.0	17.8	20.0	8.0	138.0	108.00	76806	2560.0	23.60	1491.0	1725.0	182.00	3.54

Tab. 7.6 IPE-Profile [22]

	h	b	tw	tf	r1	r2	A	M	Iy	Iz	iy	iz	Wy	Wz
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	cm ²	kg/m	cm ⁴	cm ⁴	cm	cm	cm ³	cm ³
C5	50	32	4.4	7	6	2.5	6.16	4.84	22.8	5.61	1.92	0.954	9.1	2.75
C6.5	65	36	4.4	7.2	6	2.5	7.51	5.9	48.6	8.7	2.54	1.08	15	3.68
C8	80	40	4.5	7.4	6.5	2.5	8.98	7.05	89.4	12.8	3.16	1.19	22.4	4.75
C10	100	46	4.5	7.6	7	3	10.9	8.59	174	20.4	3.99	1.37	34.8	6.46
C12	120	52	4.8	7.8	7.5	3	13.3	10.4	304	31.2	4.78	1.53	50.6	8.52
C14	140	58	4.9	8.1	8	3	15.6	12.3	491	45.4	5.6	1.7	70.2	11
C16	160	64	5	8.4	8.5	3.5	18.1	14.2	747	63.3	6.42	1.87	93.4	13.8
C16a	160	68	5	9	8.5	3.5	19.5	15.3	823	78.8	6.49	2.01	103	16.4
C18	180	70	5.1	8.7	9	3.5	20.7	16.3	1090	86	7.24	2.04	121	17
C18a	180	74	5.1	9.3	9	3.5	22.2	17.4	1190	105	7.32	2.18	132	20
C20	200	76	5.2	9	9.5	4	23.4	18.4	1520	113	8.07	2.2	152	20.5
C22	220	82	5.4	9.5	10	4	26.7	21	2110	151	8.89	2.37	192	25.1
C24	240	90	5.6	10	10.5	4	30.6	24	2900	208	9.73	2.6	242	31.6
C27	270	95	6	10.5	11	4.5	35.2	27.7	4160	262	10.9	2.73	308	37.3
C30	300	100	6.5	11	12	5	40.5	31.8	5810	327	12	2.84	387	43.6
C33	330	105	7	11.7	13	5	46.5	36.5	7980	410	13.1	2.97	484	51.8
C36	360	110	7.5	12.6	14	6	53.4	41.9	10820	513	14.2	3.1	601	61.7
C40	400	115	8	13.5	15	6	61.5	48.3	15220	642	15.7	3.23	761	73.4

Tab. 7.7 U-Profile [22]

Anhang B: Segmentschütz- Ansichten und Deteilen