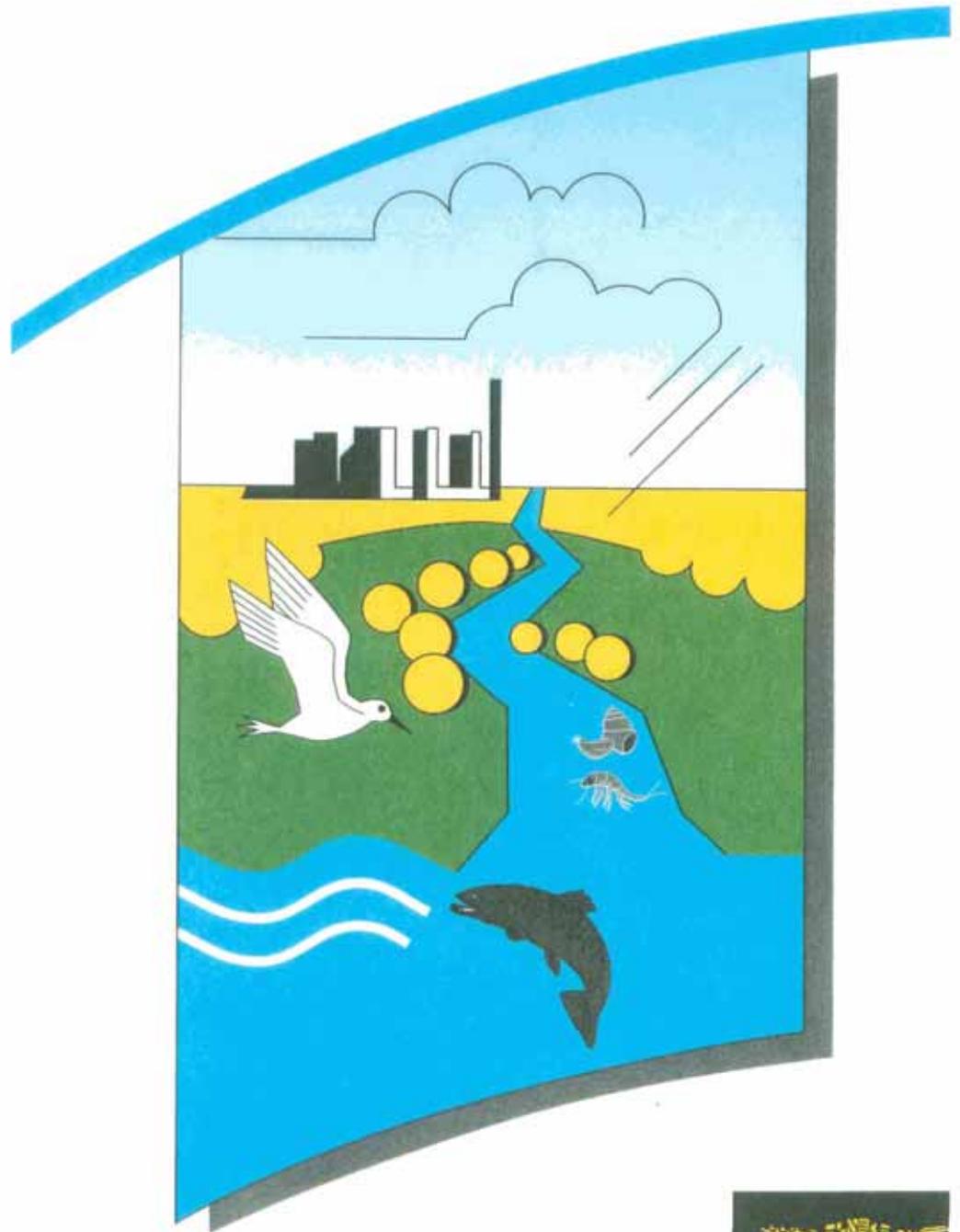


Studie über ökohydraulische Durchlaßbauwerke für regulierbare Hochwasserrückhalteräume



**Studie über ökohydraulische
Durchlaßbauwerke für
regulierbare
Hochwasserrückhalteräume**



Herausgegeben von der
Landesanstalt für Umweltschutz
Baden-Württemberg
1. Auflage

Karlsruhe 1998

IMPRESSUM

- Herausgeber** Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg
<http://www.uvm.baden-wuerttemberg.de/lfu>
- ISSN** 0946-0675 (Handbuch Wasser 2, Band 43)
- Bearbeitung** Ingenieurgesellschaft Breinlinger und Partner, Tuttlingen
unter Mitarbeit der Regierungspräsidien Tübingen, Stuttgart und Freiburg
jeweils Ref. 52, der Gewässerdirektion Südlicher Oberrhein/Hochrhein, der
Gewässerdirektion Rhein, Bereich Karlsruhe, der Gewässerdirektion
Donau/Bodensee, Bereich Rottweil und Riedlingen sowie von Dr. A. Kapfer
Tuttlingen (Kapitel 5)
- Redaktion** Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg
Abteilung 4 - Wasser und Altlasten
- Druck** Grässer, 76131 Karlsruhe
- gedruckt auf** Recyclingpapier aus 100 % Altpapier
- Bezug** Verlagsauslieferung der LfU bei
der JVA Mannheim - Druckerei
Herzogenriedstr. 111, 68169 Mannheim
Telefax 0621/398-370
- Preis** 18,00 DM

Nachdruck - auch auszugsweise - nur mit Zustimmung des Herausgebers unter
Quellenangabe und Überlassung von Belegexemplaren gestattet.

Die naturnahe Entwicklung der Gewässer und Auen ist eine Schwerpunktaufgabe der Umweltpolitik des Landes Baden-Württemberg; dabei dürfen jedoch nicht die Schutzmaßnahmen gegen Hochwassergefahren außer acht gelassen werden.

Eine denkbare Konzeption hierfür ist die optimierte Nutzung von Überschwemmungs- und Rückhalteflächen in der Talau, die durch geeignete Regulierorgane (Durchlaßbauwerke) entsprechend intensiv bewirtschaftet werden können.

Die vorliegende Studie „ökohydraulische Durchlaßbauwerke“ will die Möglichkeit zur Gestaltung solcher Regulierorgane aufzeigen, bei denen neben den hydraulischen Belangen auch ökologische Forderungen erfüllt werden können.

Hierbei werden insbesondere die Bauformen

- festerStaubalken, unterströmt*
- Staubalken mit gesteuerter Regulierklappe*
- selbsttätige Schwingklappe*

näher betrachtet und unter den Aspekten Betriebssicherheit, Wartungsaufwand und Baukosten bewertet.

In der Schriftenreihe Handbuch Wasser 2 werden im Rahmen des Zentralen Fachdienstes bei der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg Arbeitshilfen zur naturnahen Entwicklung, Unterhaltung und Umgestaltung der Gewässer und Auen herausgegeben. Diese Arbeitsmaterialien, vom Sachgebiet „Gewässerentwicklung, Gewässerstruktur und Wasserbau“ in Zusammenarbeit mit zahlreichen Fachleuten innerhalb und außerhalb der Wasserwirtschaftsverwaltung erarbeitet und zusammengestellt, richten sich an Behörden, Planer und Betroffene gleichermaßen.

1	Aufgabenstellung und Vorgehensweise	6
1.1	Allgemeines	6
1.2	Aufgabenstellung	6
1.2.1	Zweck	6
1.2.2	Ziel	6
1.2.3	Anforderungen	6
1.3	Vorgehensweise	8
2	Betrachtung der verschiedenen Bauformen	9
2.1	Übersicht über die Wehrbauarten	9
2.1.1	Durchlässige Wehre	9
2.1.2	Feste Wehre	9
2.1.3	Bewegliche Wehre ohne Drehachse	10
2.1.4	Bewegliche Wehre mit Drehachse	11
2.1.5	Kombinierte Wehre	12
2.1.6	Schlauchwehre	12
2.1.7	Grundformen von Verschlusstypen	13
2.2	Überprüfung der Wehrarten hinsichtlich ihrer Eignung als ökohydraulische Durchlaßbauwerke	14
2.2.1	Durchlässige Wehre	14
2.2.2	Feste Wehre	14
2.2.3	Bewegliche Wehre	14
2.2.4	Kombinierte Wehre	15
2.2.5	Schlauchwehre	15
3	Nähere Untersuchung ausgewählter Bauformen	16
3.1	Allgemeines	16
3.2	Feste Wehre	16
3.3	Bewegliche Wehre bzw. Regulierklappen	17
3.3.1	Schütz, Segmentverschluß	17
3.3.2	Schwingklappe	17
3.4	Kombinierte Wehre	19
3.5	Folgerungen, weiteres Vorgehen	19
4	Hydraulische Betrachtung	20
4.1	Allgemeines, Berechnungsgrundlagen	20
4.2	Vorgehensweise	22
4.3	Fester Staubalken	23
4.3.1	Abflußkurve Fall a	23
4.3.2	Abflußkurve Fall b	24
4.3.3	Resümee	24
4.4	Staubalken mit gesteuerter, beweglicher Regulierklappe	25
4.4.1	Abflußkurve Fall a	25
4.4.2	Abflußkurve Fall b	26
4.4.3	Resümee	26
4.5	Schwingklappe als selbsttätige Stauvorrichtung	26
4.5.1	Abflußkurve Fall a	27
4.5.2	Abflußkurve Fall b	28
4.5.3	Resümee	28

5	Landschaftsökologische Anforderungen	29
5.1	Einleitung	29
5.2	Erhaltung des Gewässer-Kontinuums	29
5.3	Erhalt der Durchgängigkeit	29
5.3.1	Fische	30
5.3.2	Makrozoobenthos	31
5.4	Landschaftliche Einbindung	32
5.4.1	Dämme	32
5.4.2	Durchlaßbauwerke	32
6	Gestaltung Sohle und Tosbecken	33
6.1	Gestaltung der Sohle	33
6.2	Energieumwandlung und Tosbecken	35
6.2.1	Allgemeines	35
6.2.2	Grundlagen zur Ermittlung der Kolkabmessungen	36
7	Ergänzende Betrachtung der geeigneten Durchlaßtypen	38
7.1	Anordnung	38
7.2	Gründung des Bauwerks	38
7.2.1	Flachgründung	38
7.2.2	Pfahlgründung	39
7.3	Maßnahmen gegen die Verlegung der Durchflußöffnung	39
7.4	Fester Staubalken	40
7.4.1	Betriebssicherheit	41
7.4.2	Wartungsaufwand	41
7.4.3	Baukosten	41
7.5	Fester Staubalken mit gesteuerter, beweglicher Regulierklappe	41
7.5.1	Betriebssicherheit	42
7.5.2	Wartungsaufwand	42
7.5.3	Baukosten	42
7.6	Selbsttätige Schwingklappe	43
7.6.1	Betriebssicherheit	44
7.6.2	Wartungsaufwand	44
7.6.3	Baukosten	44
8	Zusammenfassung	45
8.1	Durchlaßbauwerk	45
8.2	Gewässersohle	47
	Literaturverzeichnis	48

Anhang

Berechnungswerte für die Abflußkurven. Ermittlung der Kolkabmessungen.

1 Aufgabenstellung und Vorgehensweise

1.1 Allgemeines

Zum Schutz von Siedlungen vor Überflutung sollen in Baden-Württemberg in verschiedenen Flußtäälern die natürlichen Retentionsräume bewirtschaftet werden. Ziel der Bewirtschaftung ist die stärkere Rückhaltung von Hochwässern durch Verzögerung des Abflusses. Dies erfolgt durch Abriegelung des Talraums mit Dammbauwerken. Mit Hilfe von Durchlaßbauwerken in den Dämmen ist eine passive oder aktive Steuerung der Überstauung der Retentionsräume möglich. Dabei soll der Talraum als Lebens- und Wirtschaftsraum für Menschen sowie als Lebensraum für Tiere und Pflanzen möglichst wenig beeinträchtigt werden.

Die nachfolgende Studie über ökohydraulische Durchlaßbauwerke befaßt sich mit Durchlaßbauwerken, die zur Drosselung und evtl. Steuerung insbesondere großer Abflüsse von bewirtschafteten Rückhalteräumen aus hydraulischer wie auch aus ökologischer Sicht in Frage kommen.

Neben einer Literaturlauswertung stand vor allem der Vergleich von möglichen Durchlaßbauwerken im Vordergrund der Bearbeitung.

1.2 Aufgabenstellung

Der Leistungsumfang und die Leistungsanforderungen zur Studie für ökohydraulische Durchlaßbauwerke wurden von einer projektbegleitenden Arbeitsgruppe (siehe Impressum) unter Federführung der Landesanstalt für Umweltschutz (LfU), Außenstelle Stuttgart, detailliert vorgegeben. Sie lauten wie folgt:

1.2.1 Zweck

Bewirtschaftung von Überschwemmungsgebieten

1.2.2 Ziel

Hochwasserschutz bebauter Ortslagen

1.2.3 Anforderungen

Hydraulik:

- ▶ Stauhöhen: $h \leq 5 \text{ m}$
- ▶ Durchflußbereich:

Fall	Regelabfluß (konst.) Q	Bemessungs- hochwasser BHQ	Regelabflußtiefe im Unterwasser (H_u)	Stauhöhe über Unterwasserspiegel (Δh)
a.)	150 m ³ /s	500 m ³ /s	~ 1,5 m	3,5 m
b.)	300 m ³ /s	750 m ³ /s	~ 3,0 m	3,5 m

Energieumwandlung:

- ▶ in natürlicher "Löffel"-Grundform
- ▶ Gestaltung in naturnaher Bauweise
- ▶ Durchwanderungsmöglichkeit für Fische
- ▶ Bestandteil des Gewässers

Bauwerk, Anordnung der Anlage:

- ▶ im Hauptschluß

Bauwerk, Betriebsweise:

- ▶ fester hydraulischer Querschnitt ohne bewegliche Teile
- ▶ justierbar ($\pm 20\%$ wegen Unsicherheit der Hydraulik beim Schutzobjekt)
- ▶ steuerbar mit fester/variabler Regelfunktion

Bauwerksgründung:

- a.) durchlässige quartäre Kiese (z.B. Rhein)
- b.) Holozäne Talablagerungen mit der Schichtfolge Auelehm/Ton-Schluff-Sand, weich, humos/Kiessande (z.B. Rems)

Landschaftsverträglichkeit:

- ▶ Bauwerke weitgehend in den Damm integriert
- ▶ Bauwerke überfahrbar
- ▶ Einbindung von Bauwerken unter Berücksichtigung von ökologischen Gesichtspunkten
- ▶ Damm durch Geländemodellierung in das Landschaftsbild integrieren

Betriebssicherheit:

- ▶ kein unkontrolliertes Öffnen und Schließen
- ▶ keine Erhöhung der Gefährdung gegenüber der Situation ohne Bauwerk

Bauwerkskosten:

- ▶ Minimierung der Bau- und Betriebskosten einschließlich Unterhaltung
- ▶ Kostenvergleich der einzelnen Bau- und Betriebsweisen (Unterhaltung, Lebensdauer)

Ökologie:

- ▶ Durchgängigkeit für alle Gewässerlebewesen
- ▶ durchgehendes Sohlsubstrat
- ▶ Möglichkeit von ökologischen Flutungen/Anpassungsflutungen (Auswirkung auf Steuerkonzept starr/beweglich)

Sonstige Randbedingungen:

- ▶ in der Regel kein vollständiger Abschluß erforderlich
- ▶ Vorkehrungen so, daß möglichst schnell selbständig Substrat abgelagert wird
- ▶ evtl. Ökobypaß^{1.)} (mögl. Bandbreiten untersuchen)
- ▶ evtl. Sohlstufe $h \leq 1$ m integrieren (Energieumwandlung)
- ▶ Feststoffhaushalt/Geschiebedurchgängigkeit

- ▶ Bauwerk im "Katastrophenfall" Sonderlastfall überströmbar ($h_{\text{ü}} \leq 50 \text{ cm}$)
- ▶ sonstige Sicherheitsüberlegungen/Freibord usw.

^{1.)} Separate abgesetzte Anlagen, die die Durchgängigkeit für Gewässerlebewesen gewährleisten, z.B. Fischaufstiegshilfen im Nebenschluß, oder Gewässervernetzung im Bereich von vorhandenen Schluten.

1.3 Vorgehensweise

In einem ersten Schritt (Kapitel 2) wurden die bekannten und bewährten Wehrbauarten hinsichtlich ihrer Eignung als ökohydraulische Durchlaßbauwerke untersucht und eine Auswahl getroffen.

Offensichtlich nicht für den beabsichtigten Einsatz geeignete Bauarten wurden ausgeschlossen. Die zunächst günstig erscheinenden Bauformen wurden auf die Eignung als ökohydraulische Durchlaßbauwerke näher untersucht (Kapitel 3). Es zeigte sich, daß grundsätzlich drei Wehrbauweisen dem Anforderungsprofil entsprechen. Diese wurden hydraulisch untersucht (Kapitel 4). Die Ergebnisse sind in Form von Abflußkurven dargestellt.

In Kapitel 5 wurden die Anforderungen der Landschaftsökologie an die Durchlaßbauwerke formuliert.

Die Gestaltung der Gewässersohle fand bei der Bearbeitung besondere Beachtung (Kapitel 6). Es wird ein System vorgestellt, das neben einem guten Erosionsschutz gegenüber herkömmlichen Bauweisen in gewässerökologischer Hinsicht Vorteile bietet.

Die Studie wurde vertieft durch Betrachtungen zur Anordnung, Gründung, Betriebssicherheit, Wartung und Kosten der grundsätzlich geeigneten Bauarten (Kapitel 8).

Die Hochwasserentlastungsanlage ist nicht Bestandteil dieser Studie. Sie ist entsprechend der geltenden Richtlinien zu dimensionieren. Die Hochwasserentlastung kann, u.U. zusammen mit dem Durchlaßbauwerk als kombinierte Anlage ausgeführt werden. Bei der baulichen Kombination von Betriebsauslaß und Hochwasserentlastung ist jedoch die gegenseitige hydraulische Beeinflussung zu überprüfen. Das im Gewässerbett angeordnete Tosbecken zur Energieumwandlung des Regelabflusses und der Entlastungswassermenge kann gemeinsam benutzt werden.

Wenn die alleinige Hochwasserentlastung im Bereich des Durchlaßbauwerkes für die Ableitung der vorgegebenen Bemessungshochwässer nicht ausreicht, werden im Bereich des Erdammes zusätzliche Dammscharten/überströmbare Dammschnitte in Verbindung mit einem ausreichenden Freibord zur Hochwasserentlastung erforderlich.

Zur Hochwasserentlastung über Dammscharten siehe Leitfaden „Dammscharten in Lockerbauweise bei Hochwasserrückhaltebecken“ [44]. Zur Bemessung von Hochwasserentlastungsanlagen siehe u.a. [41], [42], [43].

2 Betrachtung der verschiedenen Bauformen

2.1 Übersicht über die Wehrbauarten

In dieser Studie wird unter „Wehr“ ein Absperrbauwerk zur Regelung des Abflusses verstanden.

2.1.1 Durchlässige Wehre

Durchlässige Wehre dienen vorwiegend als Behelfswehre. Als Baustoffe werden Buschwerke, Holz und Steine verwendet. Bei starker Geschwemmsel- und Geschiebeführung neigen die durchlässigen Wehre zur Verschlammung. In einfachster Bauweise werden Bäume mit der Stammachse in Fließrichtung verlegt. Die Stämme werden senkrecht zur Fließrichtung durch weitere Stämme gesichert. Bei Gewässern mit steinigem Bett sind Steinschüttwehre anwendbar.

2.1.2 Feste Wehre

Feste überströmte Wehre bestehen im allgemeinen aus einer Schwelle mit Überlaufkronen und Wehrrücken und einem Tosbecken mit anschließendem Kolkschutz.

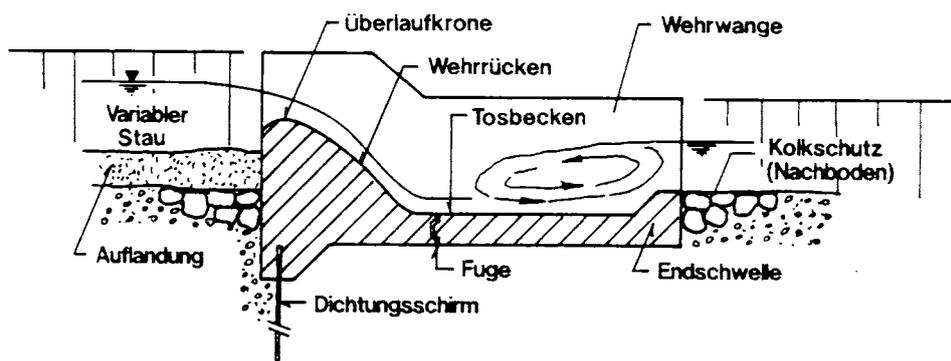


Abb. 1: Schemaskizze: Festes Wehr [2].

Feste Wehre ermöglichen, wie auch die durchlässigen Wehre, keine konstante Einregelung des Oberwasserstandes (zuflußabhängig). Umgekehrt ist auch das Einhalten eines konstanten Regelabflusses bei steigendem Stauspiegel im HW-Fall nicht möglich. Bei festen Wehren - mit Ausnahme der Sonderform Staubalken - erhöht sich bei Geschiebeführung die Sohle des Gewässers vor dem Wehr durch Geschiebeablagerung.

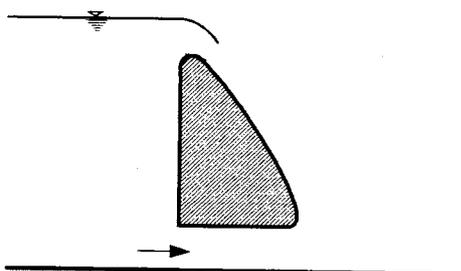


Abb. 2: Prinzipskizze: Sonderform Staubalken.

2.1.3 Bewegliche Wehre ohne Drehachse

Bewegliche Stauvorrichtungen ohne Drehachse werden als Schütze bezeichnet [3], [4].

Schütze sind tafelförmige Bauteile aus Holz oder Stahl, die in Führungsnuten in den Wehrwangen vertikal verschieblich gelagert sind. Die Bewegung dieser Wehrverschlüsse erfolgt in senkrechter Richtung. Der Antrieb kann hydraulisch, mechanisch oder von Hand erfolgen.

Weiterhin werden die verschiedenen Schütze nach unter- oder überströmten Typen unterschieden. Je nach Typ ergeben sich für die einzelnen Bauarten Probleme für den Durchgang von Geschwemmel, Eis oder Geschiebe. Daher werden Schütze auch teilweise kombiniert, z.B. als Doppelschütze, oder als Hubhakenschütze eingesetzt.

Hinsichtlich ihres Tiefbaus (Gründung, Sohlausbildung,...) gleichen die beweglichen Wehre stark den festen. Der Wehrkörper ist bei beiden Bauformen nahezu identisch. Das kommt daher, weil der Wehrkörper auch für den Lastfall bemessen wird, wenn die Schütze vollständig geschlossen sind.

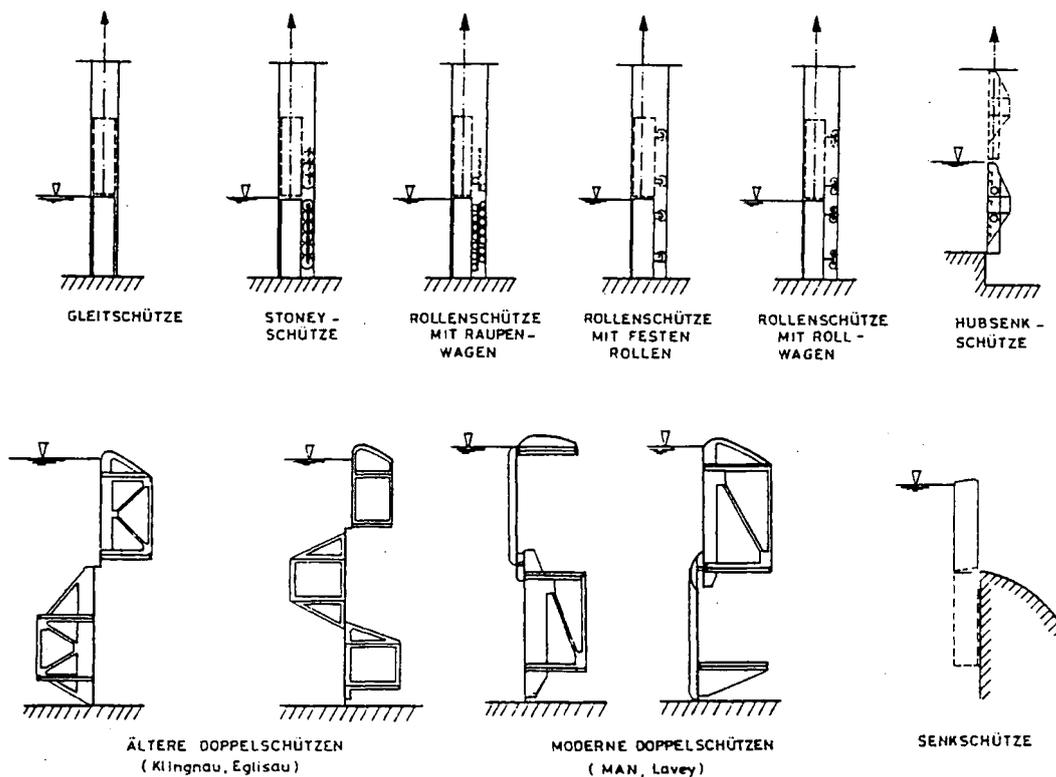


Abb. 3: Übersicht der Schütze.

2.1.4 Bewegliche Wehre mit Drehachse

Bewegliche Wehrverschlüsse mit Drehachse bestehen vorwiegend aus Stahl. Der Wehrantrieb kann ebenfalls hydraulisch, mechanisch oder von Hand erfolgen.

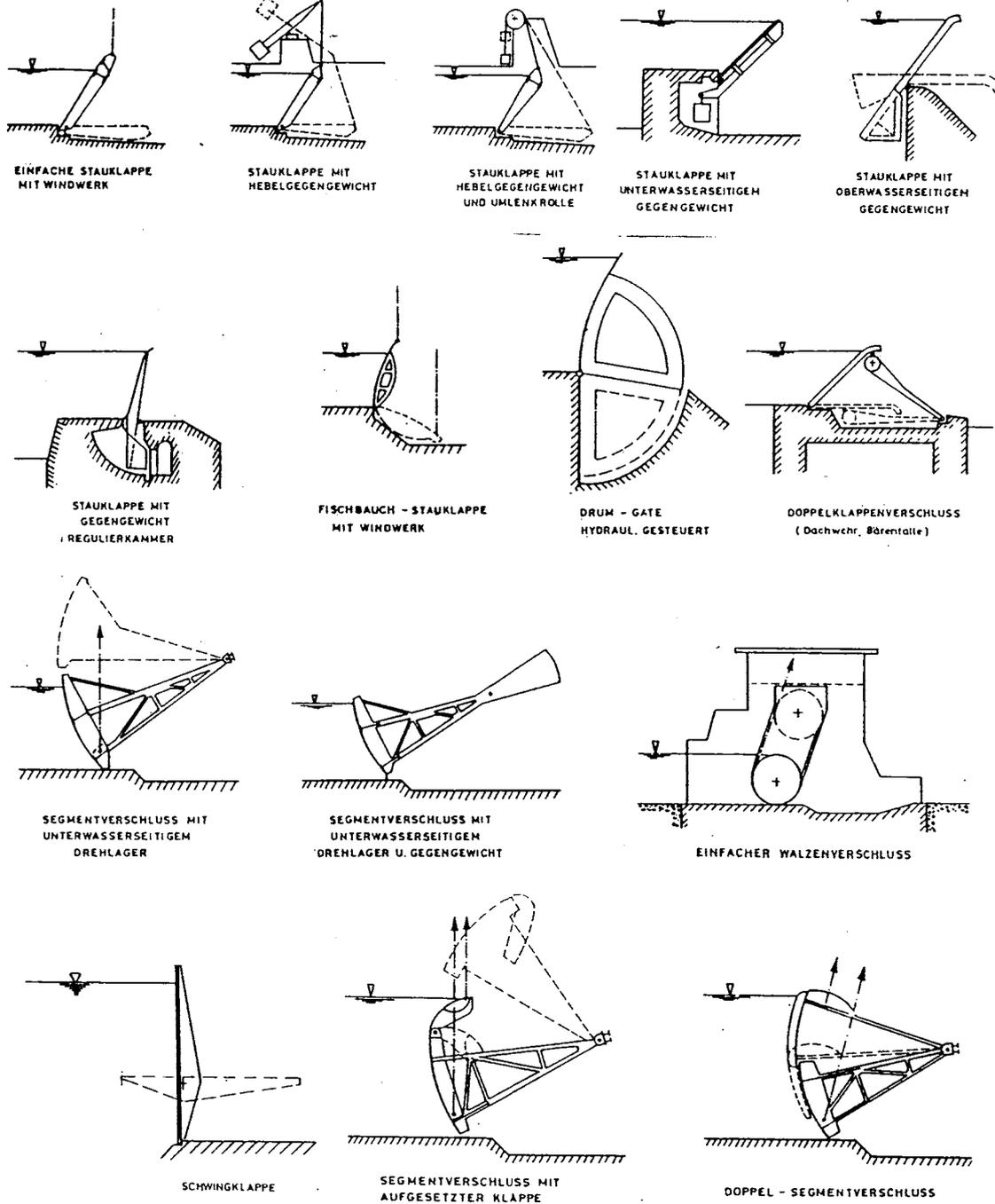


Abb. 4: Übersicht über bewegliche Wehre.

2.1.5 Kombinierte Wehre

Als kombinierte Wehre werden Absperrbauwerke mit Staukörper bezeichnet, die neben den festen Bauteilen noch bewegliche Wehrverschlüsse haben.

Bei den kombinierten Wehren können auf den festen Staukörpern bewegliche Wehrverschlüsse angeordnet werden. Ebenso kann ein fester Staubalken in gewisser Höhe über dem Wehriboden angebracht werden, so daß ein verschließbarer Grundablaß unter dem Staubalken sowie eine bewegliche Regulierklappe auf dem Staubalken angeordnet werden kann.

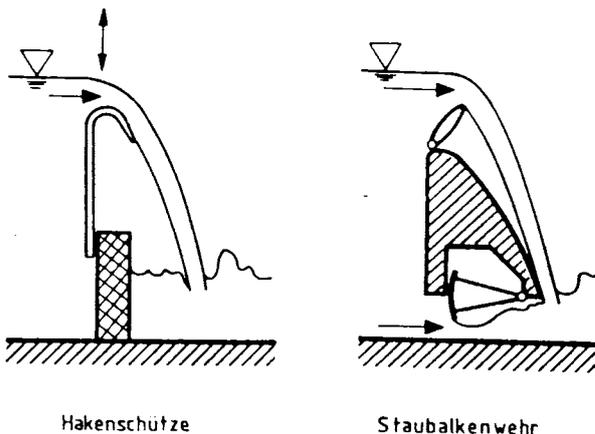


Abb. 5: Schemaskizze: Kombiniertes Wehr [2].

2.1.6 Schlauchwehre

Schlauchwehre stellen eine neuartige Konstruktion von Wehranlagen dar. Der Staukörper wird durch aufpumpbare flexible Schläuche gebildet. Die Schläuche bestehen aus hochfesten, beschichteten Geweben, die mit Flacheisen auf dem Wehriboden befestigt werden. Die Aufwölbung der Schläuche wird durch eine Füllung mit Luft oder Wasser erreicht, deren Druck größer als der im Oberwasser anstehende Wasserdruck ist.

Schlauchwehre sind eine Alternative zu den konventionellen Ausführungsarten. Sie haben sich, dank ihrer Elastizität, im alltäglichen Einsatz auch bei Geschiebeführung und Geschwemmselbetrieb gut bewährt. Ist kein Aufstau gewünscht, legt sich der leergepumpte Schlauch auf die Sohle des Fließgewässers und gewährleistet einen ungehinderten Abfluß.

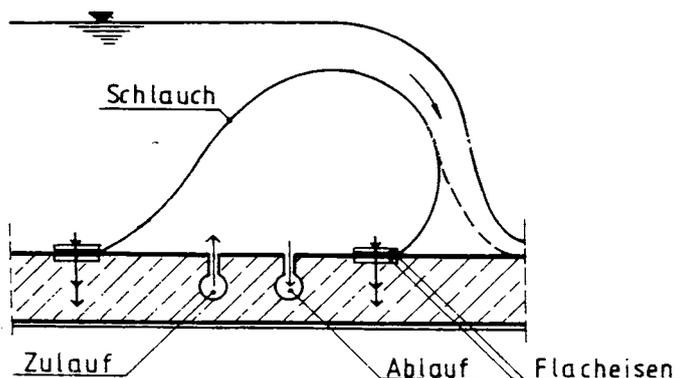


Abb. 6: Schemaskizze: Schlauchwehr [5].

2.1.7 Grundformen von Verschußtypen

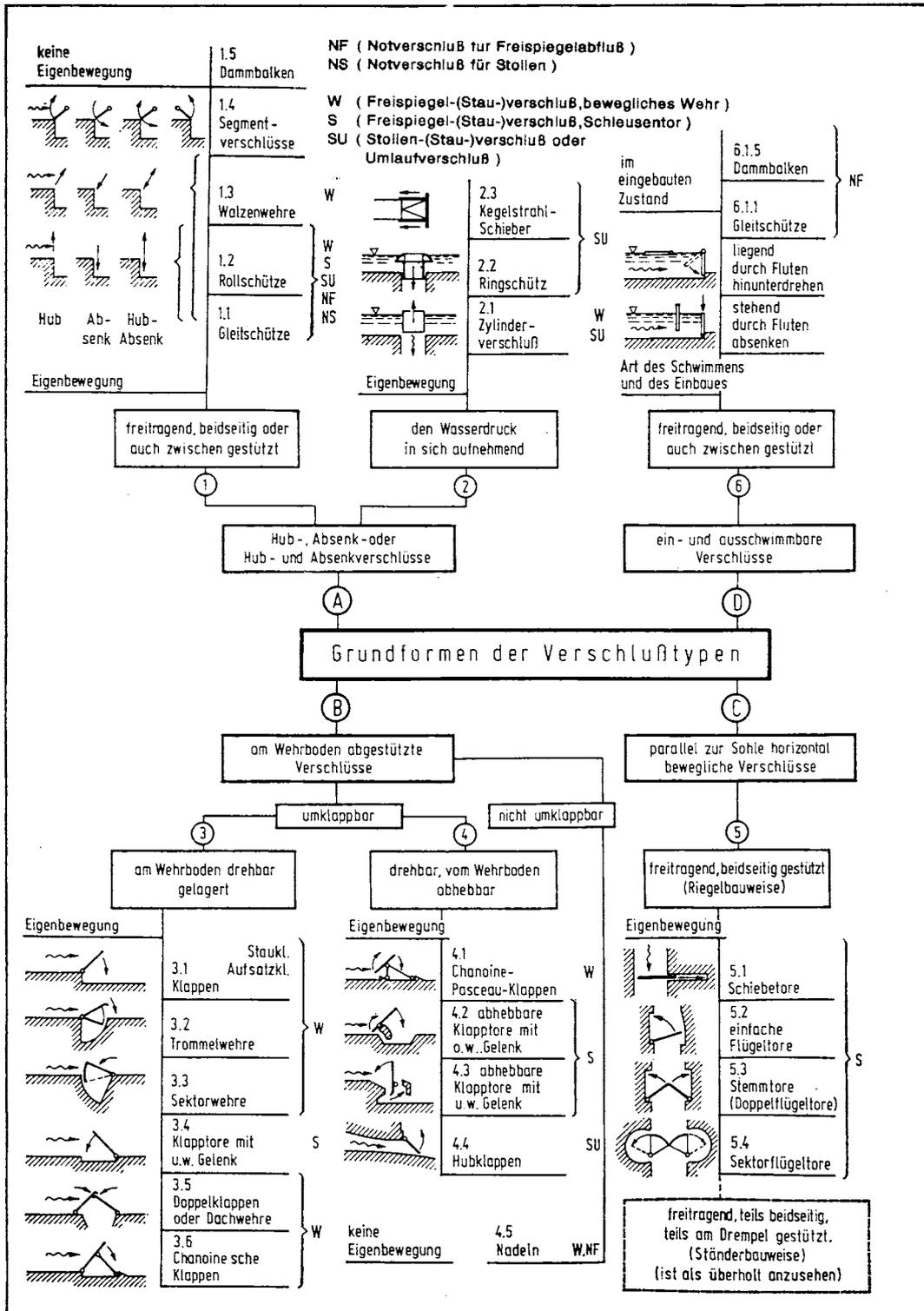


Abb. 7: Grundformen von Verschußtypen nach WICKERT/SCHMAUßER (1971) [1].

2.2 Überprüfung der Weharten hinsichtlich ihrer Eignung als ökohydraulische Durchlaßbauwerke

2.2.1 Durchlässige Wehre

Wie unter Kapitel 2.1.1 bereits erwähnt dienen durchlässige Wehre hauptsächlich als vorübergehende Behelfswehre. Außerdem ist die Anordnung im Gewässerquerschnitt im Hinblick auf die ökologischen Anforderungen nicht vertretbar, da in der Gewässersohle keine Durchgängigkeit für tierische Gewässerorganismen besteht.

► Als Durchlaßbauwerk scheiden durchlässige Wehre daher aus.

Zur Erzeugung eines vorübergehenden Aufstaus im Auebereich eines Gewässers sind durchlässige Absperrbauwerke für geringe Aufstauhöhen, u.E. jedoch möglich. Im Hochwasserfall könnte durch den verringerten Abflußquerschnitt im Vorland und den größeren Fließwiderstand ein geringer Aufstau erzeugt werden. Durch das vom Gewässer bei Hochwasser mitgeführte Geschwemmsel findet zusätzlich eine gewisse Selbstdichtung beim "durchlässigen Wehr" statt. Die Berechnung des Strömungswiderstandes und der Fließverhältnisse von durchströmten Pflanzenbeständen kann anhand von [6], [7], [8], [9], [10] und [11] erfolgen. Die Pflege und Unterhaltung des "Pflanzstreifens" müßte sukzessive je nach Wachstumsfortschritt durch die teilweise Rodung und Neupflanzung von Jungbäumen erfolgen, um eine ausreichende Bewuchsdichte in Bodennähe erreichen zu können. Bei dieser Form der Hochwasserrückhaltung und ist eine Abflußsteuerung bzw. Abflußregelung nicht möglich.

2.2.2 Feste Wehre

Feste Wehre sind in der Regel auf der Gewässersohle angeordnet. Dadurch ist die Durchgängigkeit für Lebewesen sowie ein ungehinderter Geschiebetransport nicht gewährleistet. Die Regulierung des Oberwasserstaus ist bei diskontinuierlichem Wasserabfluß durch ein festes Wehr ebenfalls nicht möglich. Es kann somit die Forderung nach Justier- und Steuerbarkeit ebenfalls nicht erfüllt werden.

► Feste überströmte Wehre werden nicht weiter untersucht.

Bei der Anordnung eines festen Wehres in Form eines Staubalkens oberhalb der Sohle (unterströmtes festes Wehr siehe Abb. 2) bleibt die Durchgängigkeit für Lebewesen erhalten.

► Der Staubalken wird als Durchlaßbauwerk näher untersucht.

2.2.3 Bewegliche Wehre

Bei der weiteren Betrachtung wird nicht mehr zwischen Schützen und beweglichen Wehren mit Drehachse unterschieden, da beide Wehrverschlußarten hinsichtlich der Anordnung im Gewässer und der Regelungsmöglichkeiten direkt vergleichbar sind. Die beweglichen Regulierklappen können so über der Gewässersohle angeordnet werden, daß diese im Bereich des Durchlaßbauwerkes für alle Gewässerlebewesen durchgängig bleibt. Es werden die grundsätzlichen Forderungen nach einem festen hydraulischen Kontrollquerschnitt, der Justierbarkeit und einer durchgängigen Gewässersohle erfüllt.

► Bewegliche Wehre werden weiter untersucht.

2.2.4 Kombinierte Wehre

Kombinierte Wehre können so ausgebildet werden, daß die für ökohydraulische Bauwerke geforderten Eigenschaften weitgehend erfüllt werden.

► **Kombinierte Wehre werden näher untersucht.**

2.2.5 Schlauchwehre

Schlauchwehre werden in der Regel auf der Gewässersohle angeordnet. Für die Anwendung als ökohydraulisches Durchlaßbauwerk kann ein auf der Gewässersohle angebrachtes Schlauchwehr nicht eingesetzt werden, da es beim Normalabfluß flach auf der Sohle des Gewässers liegt, und somit kein durchgängiges Sohlsubstrat ermöglicht. Weiterhin ist das Schlauchwehr bei dieser Anordnung einer ständigen Geschiebebelastung ausgesetzt. Bei sehr selten auftretenden Hochwasserabflüssen, bei denen das Wehr zur Abflußregelung aktiviert wird, kann die Betriebssicherheit nicht uneingeschränkt gewährleistet werden.

► **Schlauchwehre werden nicht weiter untersucht.**

In Verbindung mit einem Staubalken über der Gewässersohle, als **kombiniertes Wehr**, könnten die geforderten Randbedingungen eingehalten werden.

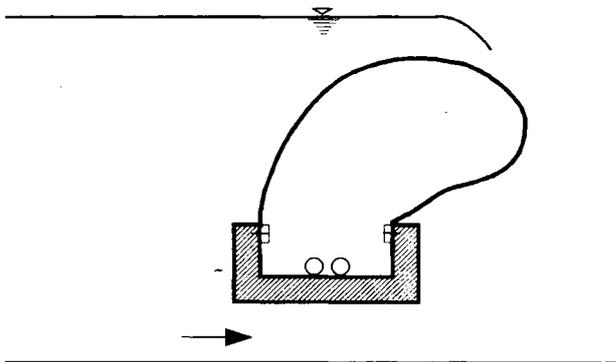


Abb. 8: *Kombiniertes Wehr: Staubalken mit Schlauchwehr.*

Das Schlauchwehr befindet sich im Ruhezustand im Staubalken. Wird der Staubalken bei ansteigendem Wasserspiegel auch überströmt, wird das Schlauchwehr aktiviert. Durch entsprechende Füllung des Schlauches kann der Abfluß aus dem Rückhalteraum beeinflusst werden. Schlauchwehre in Kombination mit Staubalken sind grundsätzlich möglich, werden im Folgenden aber nicht weiter untersucht. Es gelten hierfür die Ausführungen für kombinierte Wehre (siehe Kapitel 3.4).

3 Nähere Untersuchung ausgewählter Bauformen

3.1 Allgemeines

Die Abgrenzung der Gewässeraue zur Hochwasserrückhaltung soll aus Kostengründen durch Erddämme erfolgen. In den Leistungsanforderungen für die ökohydraulischen Durchlaßbauwerke wurde für eine gute Landschaftsverträglichkeit gefordert, daß das Bauwerk in den Hochwasserdamm integrierbar sein soll. Für den Anschluß des Durchlaßbauwerkes an das Ab-sperrbauwerk (Damm) werden massive Betonbauteile, wie man sie aus dem klassischen Wasserbau kennt, erforderlich. Daher können die Einbindungsmaßnahmen zur Integration des Bauwerkes in den Hochwasserdamm allenfalls der Landschaftsästhetik dienen. Wesentliches Kriterium für die Wahl des Systems ist seine Betriebssicherheit, da ein Versagen im Hochwasserfall zu katastrophalen Auswirkungen führen kann. In Abhängigkeit der Gewässergröße und des Bemessungshochwassers kann die Wehranlage in mehrere Felder unterteilt werden. Es werden entsprechend dem festgelegten Leistungsumfang nur Durchlaßbauwerke näher untersucht, die im Hauptschluß angeordnet sind. Bauwerke und Anlagen zur Abflußdrosselung und Abflußregelung, die im Nebenschluß in Verbindung mit parallel zum Hauptgewässer verlaufenden Gräben und Schluten angeordnet sind, werden nicht weiter untersucht.

Die ökologische Forderung nach einem durchgehenden Sohlsubstrat kann bei allen unterströmten Verschlussorganen im Hochwasserfall nicht eingehalten werden. Im reduzierten Abflußquerschnitt entstehen unter dem Verschuß Strömungsgeschwindigkeiten, die das ungeschützte Sohlsubstrat austragen. Durch entsprechende Gestaltung der Wehrsohle kann erreicht werden, daß das Sohlsubstrat zumindest teilweise erhalten bleibt und die Ablagerung von neuem Sohlsubstrat begünstigt wird (siehe Kapitel 6.1).

3.2 Feste Wehre

Bei der Anordnung eines unterströmten festen Wehres in Form eines Staubalkens oder einer Tauchwand können die an ein ökohydraulisches Durchlaßbauwerk gestellten Anforderungen erfüllt werden. Die Anordnung über der Gewässersohle gewährleistet die freie Durchgängigkeit dieser und ermöglicht neben einem uneingeschränkten Geschiebetransport auch die Bildung eines durchgehenden Sohlsubstrats (außer bei Hochwasser). Der Regel-Hochwasserabfluß ist bei einem festen Wehr nicht konstant. In Abhängigkeit vom Zufluß ändert sich die Aufstauhöhe (Druckhöhe) und damit der Durchfluß unter dem Wehr. Der feste hydraulische Kontrollquerschnitt, der zwischen der Gewässersohle und dem Staubalken entsteht, kann durch den Einbau von Balken unter dem Staukörper verändert werden. Dadurch kann der Drosselabfluß justiert und den örtlichen Gegebenheiten angepaßt werden.

Vorteile:

- ▶ einfache Konstruktion
- ▶ keine beweglichen Teile
- ▶ sehr hohe Betriebssicherheit
- ▶ kein Wartungs- und Unterhaltungsaufwand

Nachteile:

- ▶ nur Abflußdrosselung möglich
- ▶ Regelabfluß nicht konstant
- ▶ geringe freie Durchflußöffnung

3.3 Bewegliche Wehre bzw. Regulierklappen

3.3.1 Schütz, Segmentverschluß

Ein Hochwasserrückhaltedamm mit einem Schütz zur Abflußregelung im Hauptschluß ist eine klassische Form des Kulturwasserbaues. Bei entsprechender Anordnung des Verschlusses kann erreicht werden, daß die Gewässersohle im Wehrbereich durchgängig bleibt.

Zum Antrieb der beweglichen Schütze sind Maschinen erforderlich, die so angeordnet werden müssen, daß sie vom Hochwasser nicht erreicht werden können.

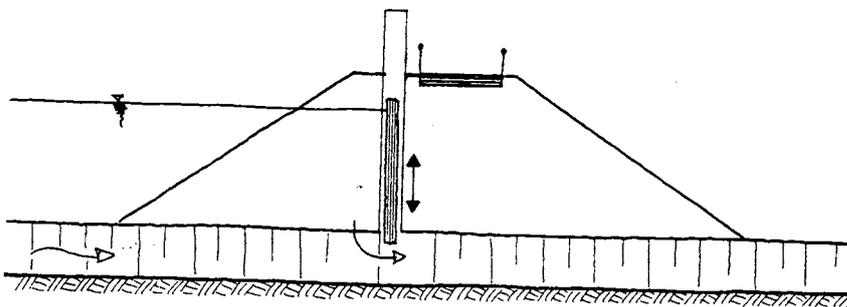


Abb. 9: Schemaskizze: Schütz.

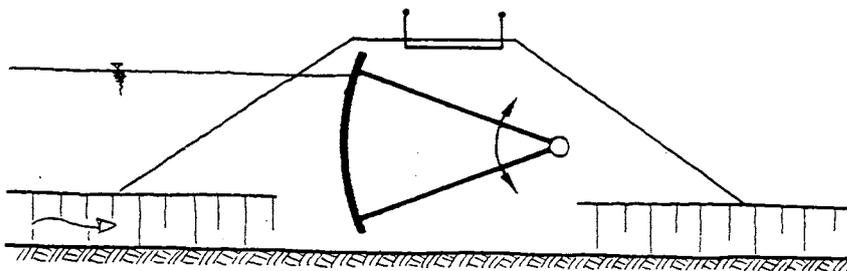


Abb. 10: Schemaskizze: Segmentverschluß.

Vorteile:

- ▶ einfache Konstruktion
- ▶ große Betriebssicherheit
- ▶ erprobte Technik

Nachteile:

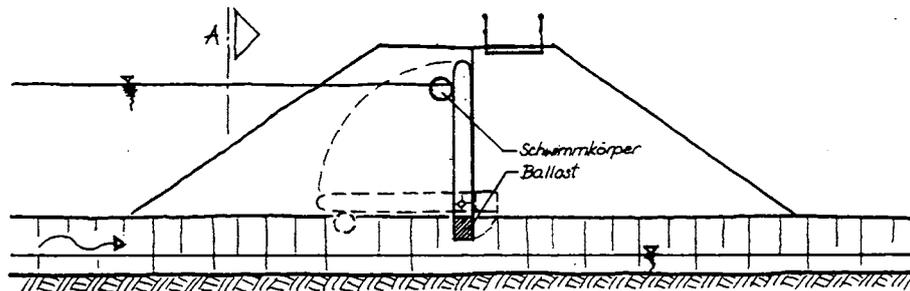
- ▶ sehr großer maschineller Anlagenteil
- ▶ großer Unterhaltungsaufwand
- ▶ aufwendige Steueranlagen erforderlich
- ▶ massiver Eingriff in das Landschaftsbild

3.3.2 Schwingklappe

Klassische Schwingklappen, wie sie in Abb. 4 dargestellt sind, werden etwa seit 1850 im Wasserbau eingesetzt [3]. Die konventionelle Schwingklappe wurde zur Stauhaltung bei Normalabfluß eingesetzt. Die Drehachse liegt in der unteren Hälfte der Stauwand. Steigt der Wasserspiegel über das Stauziel, bewirkt der Wasserdruck das Öffnen der Klappe in Fließrichtung. Bei selbsttätig wirkenden Schwingklappen wurde die Bewegung z.B. durch Ketten begrenzt. Dadurch konnte das vollständige Umschlagen der Klappe sowie das selbständige Wiederaufrichten erreicht werden. Hauptnachteil der klassischen Schwingklappe in der üblichen Anwendung ist, daß sie im offenen Zustand den freien Durchflußquerschnitt teilweise versperrt [3].

Die zur Hochwasserrückhaltung einsetzbare Klappe soll sich, im Gegensatz zur klassischen Schwingklappe, bei großen Abflüssen selbständig aufrichten und den Fließquerschnitt reduzieren. Dies kann durch die Anordnung eines Schwimmkörpers an der Klappenunterseite erreicht werden. Das Aufstellmoment der Schwingklappe kann durch Ballast am gegenüber liegenden Klappenende zusätzlich erhöht werden. Der Einbau in den Fließquerschnitt erfolgt wie beim Schütz und beim Segmentverschluß über die Wehrwangen.

Querschnitt



Schnitt A

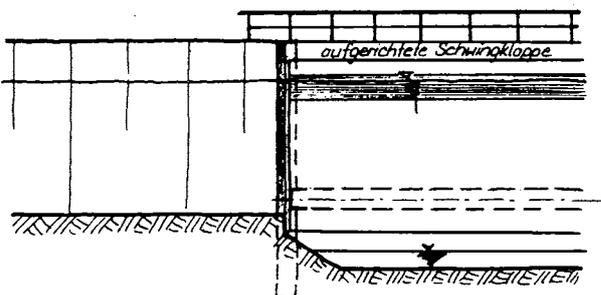


Abb. 11: Schemaskizze: Schwingklappe.

Vorteile:

- ▶ einfache robuste Konstruktion
- ▶ keine Fremdenergie erforderlich
- ▶ Gewässerquerschnitt bei Normalabfluß optisch beeinflusst, landschaftsästhetisch tolerierbar
- ▶ Betriebssicherheit

Nachteile:

- ▶ keine Erfahrungswerte vorhanden

3.4 Kombinierte Wehre

Das unter Kapitel 3.2 beschriebene feste Wehr in Form eines Staubalkens bietet gegenüber anderer Wehrformen Vorteile aufgrund der Einfachheit der Konstruktion und der dadurch bedingten großen Betriebssicherheit.

Der Staubalken kann mit nahezu jedem der unter den Kapiteln 2.1.3 und 2.1.4 aufgeführten Verschlüssen sowie mit einem Schlauchwehr kombiniert werden, um eine Abflußregelung zu ermöglichen. Die beweglichen Verschlüsse benötigen zur Steuerung einen Antrieb.

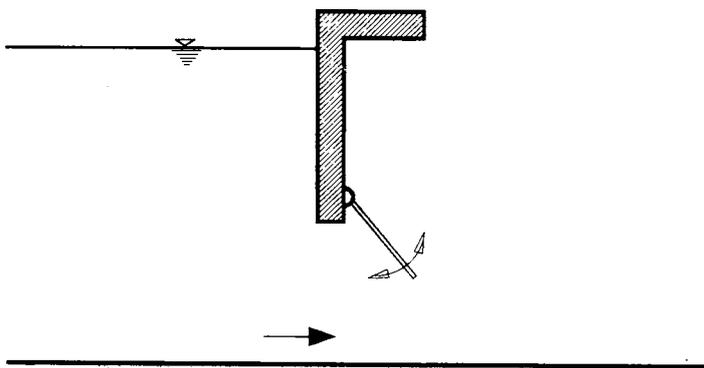


Abb. 12: Prinzipskizze: Kombiniertes Wehr (Staubalken mit beweglicher Regulierklappe).

Wasserstandsabhängige Steuerungen mit einer schwimmergesteuerten Mechanik haben sich bei Anlagen der untersuchten Größe im Betrieb nicht bewährt und werden daher nicht weiter betrachtet. Zur Steuerung der Anlage wird das Regelorgan maschinell betrieben.

3.5 Folgerungen, weiteres Vorgehen

Der Staubalken eignet sich aufgrund seiner einfachen und robusten Bauweise sehr gut zur Abflußdrosselung. Er wird detailliert untersucht.

Bewegliche Regulierklappen als bewährte Elemente des Wasserbaus werden in Verbindung mit einem Staubalken ebenfalls weiter untersucht. Als selbständige Wehrform scheiden sie aus, da sie sehr wartungsintensiv sind und einen sehr großen maschinellen Anlagenteil erfordern.

Die unter Kapitel 3.3.2 beschriebene Schwingklappe zur Hochwasserrückhaltung bietet eine weitere Möglichkeit zur Ausbildung ökohydraulischer Durchlaßbauwerke. Aufgrund der großen Vorteile, die eine Schwingklappe bietet, wird auch sie näher untersucht.

4 Hydraulische Betrachtungen

4.1 Allgemeines, Berechnungsgrundlagen

Die Anforderungen bezüglich der Abflüsse für die zu untersuchenden Fälle a und b, sowie die Stauhöhen und Abflußtiefen im Unterwasser wurden vorgegeben:

Fall	Regelabfluß (konst.) Q	Bemessungs- hochwasser BHQ	Regelabflußtiefe im Unterwasser (H _u)	Stauhöhe über Unterwasser- spiegel (Δh)
a.) →	150 m ³ /s	500 m ³ /s	~ 1,5 m	3,5 m
b.) →	300 m ³ /s	750 m ³ /s	~ 3,0 m	3,5 m

Die Ausgangsgrößen für die zu den Abflüssen gehörenden Gewässerabmessungen wurden aus den o.g. Vorgaben ermittelt.

Fall a: Fließtiefe im Unterwasser (bordvoll) $H_u = 1,5 \text{ m}$
 Manning/Strickler-Beiwert (gewählt) $k_{St} = 30 [12]$
 Sohlgefälle (gewählt) $J_{So} = 5 \text{ ‰}$
 Böschungsneigung (gewählt) $(1 : m) m = 1$
 Sohlbreite (gewählt) $b_{So} = 35 \text{ m}$

Fließformel nach Manning/Strickler:

$$v = k_{St} \cdot r_{hy}^{2/3} \cdot \sqrt{J_{So}}; \quad r_{hy} = A/l_u$$

r_{hy} = hydraulischer Radius [m]

A = Fließquerschnitt [m²]

l_u = benetzter Umfang

$$v = 30 \cdot (54,75/39,24)^{2/3} \cdot \sqrt{0,005} = 2,65 \text{ m/s}$$

$$Q = v \cdot A$$

$$Q = 2,65 \text{ m/s} \cdot 54,75 \text{ m}^2 = 145,1 \sim 150 \text{ m}^3/\text{s}$$

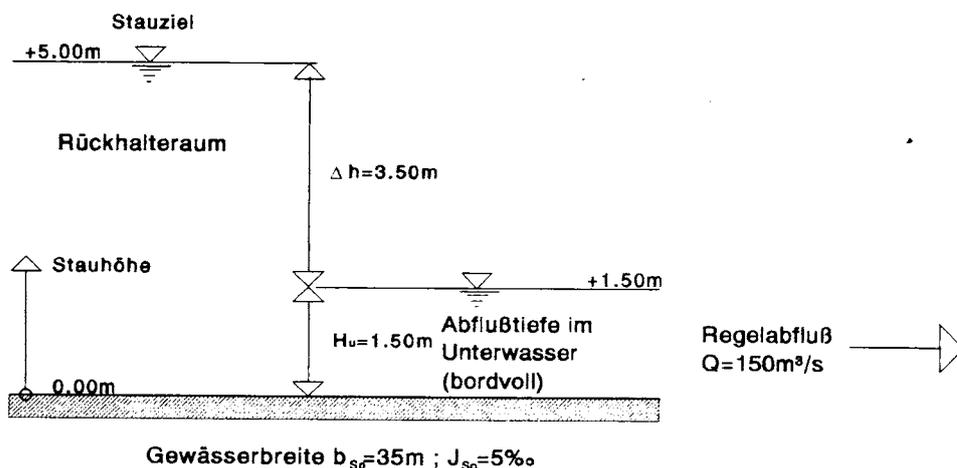


Abb. 13: Schemaskizze: Fall a.

- Fall b:** Fließtiefe im Unterwasser (bordvoll) $H_u = 3,0 \text{ m}$
 Manning/Strickler-Beiwert (gewählt) $k_{St} = 30 [12]$
 Sohlgefälle (gewählt) $J_{So} = 2 \text{ ‰}$
 Böschungsneigung (gewählt) $(1 : m) m = 1$
 Sohlbreite (gewählt) $b_{So} = 35 \text{ m}$

Fließformel nach Manning/Strickler:

$$v = k_{St} \cdot r_{hy}^{2/3} \cdot \sqrt{J_{So}} ; r_{hy} = A/l_u$$

r_{hy} = hydraulischer Radius [m]

A = Fließquerschnitt [m²]

l_u = benetzter Umfang

$$v = 30 \cdot (114,0/43,49)^{2/3} \cdot \sqrt{0,002} = 2,55 \text{ m/s}$$

$$Q = v \cdot A$$

$$Q = 2,55 \text{ m/s} \cdot 114,0 \text{ m}^2 = 290,8 \sim 300 \text{ m}^3/\text{s}$$

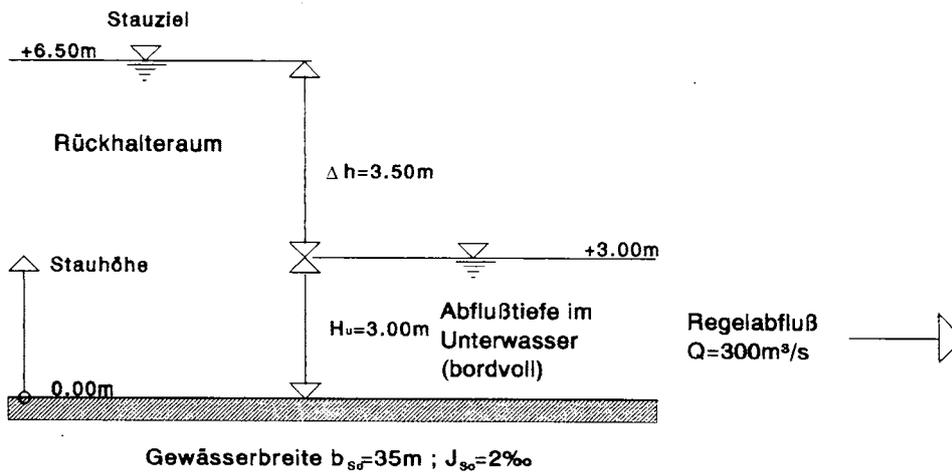


Abb. 14: Schemaskizze: Fall b.

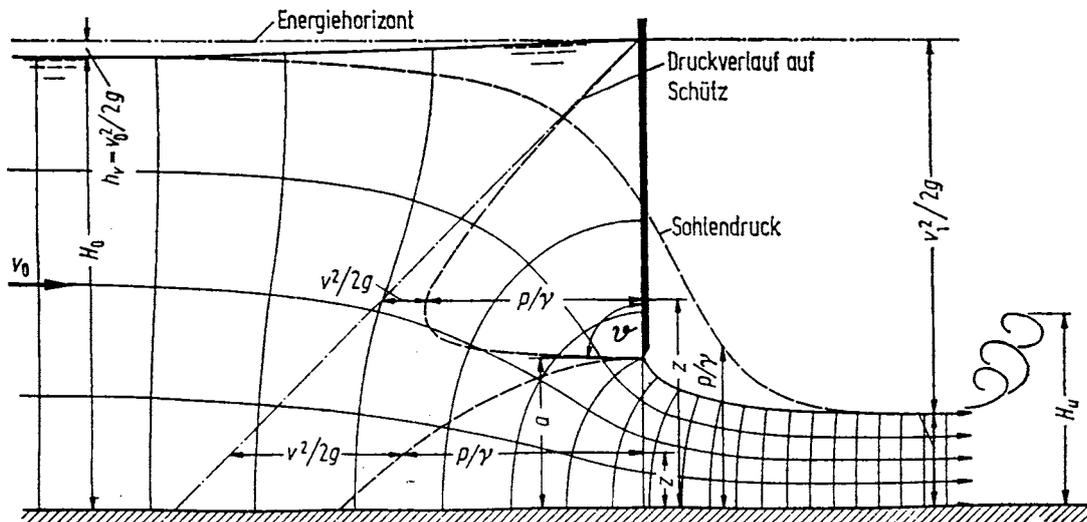


Abb. 15: Abfluß unter einem Schütz [1].

Die Abflußmenge unter dem Staubalken errechnet sich nach der Beziehung:

$$Q = a \cdot b \cdot \alpha \cdot \chi \cdot \sqrt{2g (H_0 + v_0^2 / 2g)} \quad [13]$$

a Öffnungshöhe

b Öffnungsbreite

ϑ Abgangswinkel ($\vartheta = 90^\circ$)

α Ausflußzahl für Verschlußöffnungen [13]

χ Beiwert für unvollkommenen Ausfluß [13]

H_0 Stauhöhe

v_0 Anströmgeschwindigkeit (wird vernachlässigt $\rightarrow v_0 = 0$)

Für die verschiedenen Durchlaßbauwerke wurde anhand o. g. Grundlagen der Durchfluß in Abhängigkeit der Stauhöhe ermittelt und graphisch dargestellt.

Bei Hochwasserabfluß wird der Staubalken eingestaut. Der ins Unterwasser weitergeleitete Abfluß strömt unter dem Staubalken durch. Er ist abhängig von der Stauhöhe vor dem Wehr.

Es wird eine einheitliche Öffnungshöhe über die gesamte Breite des Fließquerschnittes betrachtet.

4.2 Vorgehensweise

Für die vorgegebenen Stauhöhen und Regelabflüsse wurde jeweils die maximale Öffnungshöhe (a) der Schütze berechnet.

Die Ermittlung der Abflußkurven erfolgte abschnittsweise:

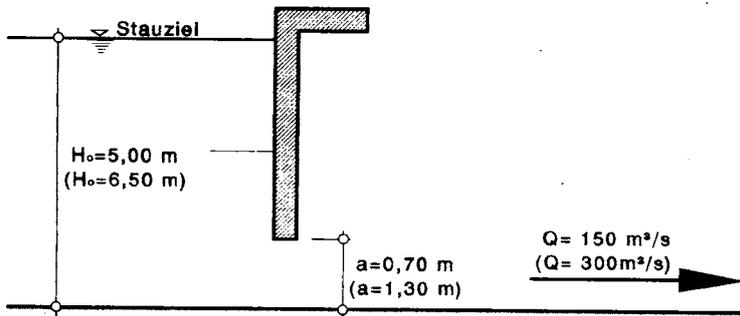
Bereich ① Freispiegelabfluß im Fließquerschnitt bis Unterkante Staubalken nach Manning/Strickler

Bereich ② unvollkommener Ausfluß unter einem Schütz nach [13]

Bereich ③ vollkommener Ausfluß unter einem Schütz nach [13]

Die Berechnungswerte der Abflußkurven sind im **Anhang** zusammengestellt.

4.3 Fester Staubalken



Die Klammerwerte gelten für Fall b.

Abb. 16: Fester Staubalken.

4.3.1 Abflußkurve Fall a

Der Staubalken muß bei den gegebenen geometrischen Verhältnissen des Falles a ca. 70 cm über der Gewässersohle angeordnet werden, damit bei der maximalen Stauhöhe von 5,0 m der Regelabfluß von 150 m³/s nicht überschritten wird. Der Gewässerquerschnitt kann im Freispiegelabfluß ca. 43 m³/s abführen bevor der Staubalken eingestaut wird.

Der Abfluß aus dem Retentionsraum schwankt somit je nach Stauhöhe zwischen 43 m³/s und 150 m³/s.

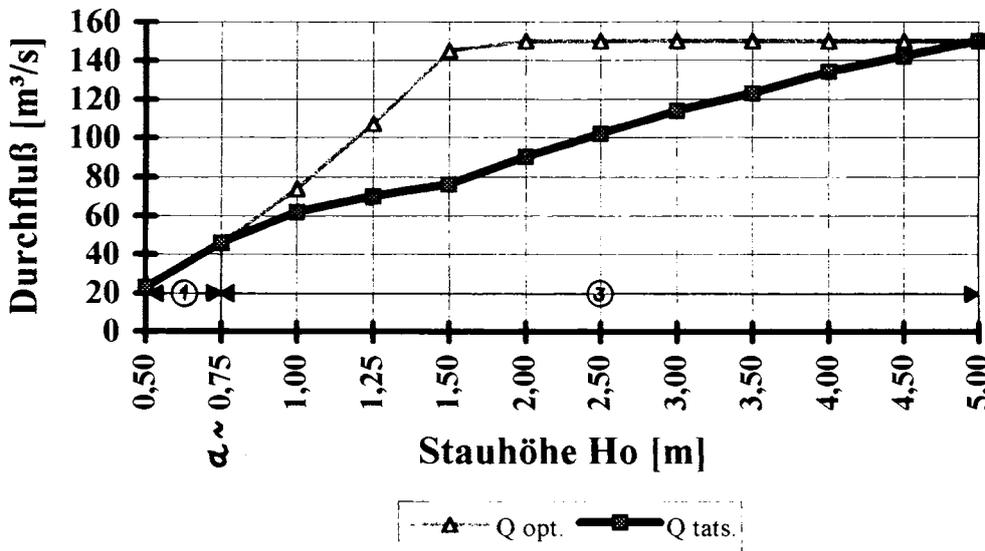


Abb. 17: Durchfluß unter einem Staubalken in Abhängigkeit der Stauhöhe, Fall a.

- $Q_{opt.}$: optimale Abflußkurve für den Regelabfluß von $Q = 150 \text{ m}^3/\text{s}$ (optimale Steuerung vgl. 4.4.1)
- $Q_{tats.}$: tatsächlicher Durchfluß, der bei max. Stauhöhe dem Regelabfluß entspricht
- ① Freispiegelabfluß im Gewässer, keine Beeinflussung durch den Staubalken
- ③ vollkommener Ausfluß (nicht rückstaubeeinflusst)

4.3.2 Abflußkurve Fall b

Die Unterkante des Staubalkens muß bei den im Falle b vorgegebenen geometrischen Verhältnissen ca. 1,30 m über der Gewässersohle angeordnet werden, damit bei der maximalen Stauhöhe von 6,50 m der Regelabfluß von 300 m³/s erreicht wird. Die Leistungsfähigkeit des Gewässers beträgt dann bis zum Einstau des Staubalkens etwa 72 m³/s.

Der Regelabfluß aus dem Retentionsraum schwankt somit je nach Stauhöhe zwischen 72 m³/s und 300 m³/s.

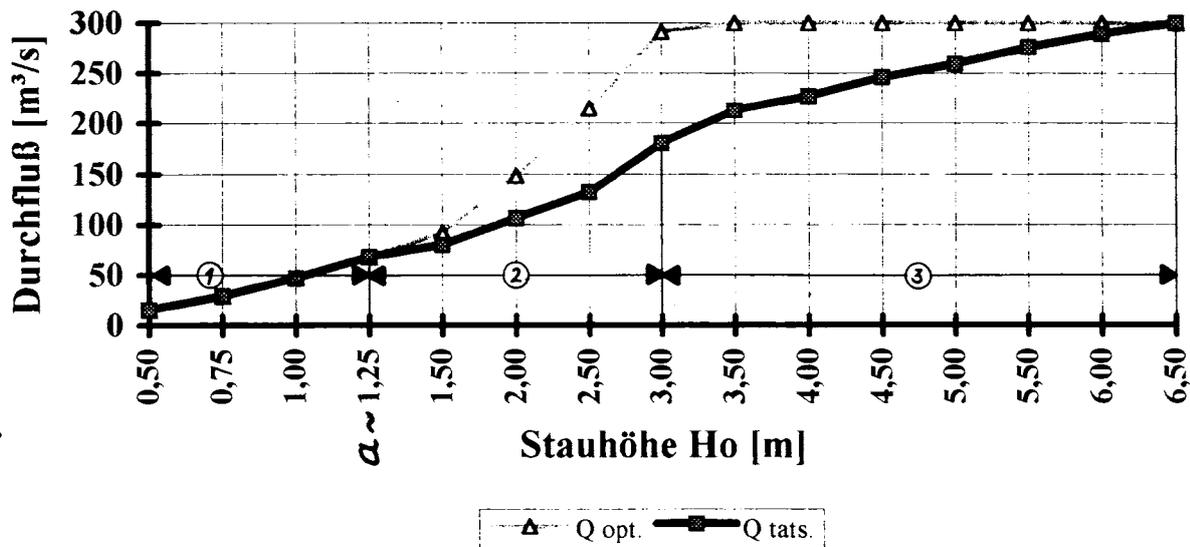


Abb. 18: Durchfluß unter einem Staubalken in Abhängigkeit der Stauhöhe, Fall b.

Q_{opt} : optimale Abflußkurve für den Regelabfluß von $Q = 300 \text{ m}^3/\text{s}$
(optimale Steuerung vgl. 4.4.2)

Q_{tats} : tatsächlicher Durchfluß, der bei max. Stauhöhe dem Regelabfluß entspricht

- ① Freispiegelabfluß im Gewässer, keine Beeinflussung durch den Staubalken
- ② unvollkommener Ausfluß (rückstaubeinflusst vom Unterwasser)
- ③ vollkommener Ausfluß (nicht rückstaubeinflusst)

4.3.3 Resümee

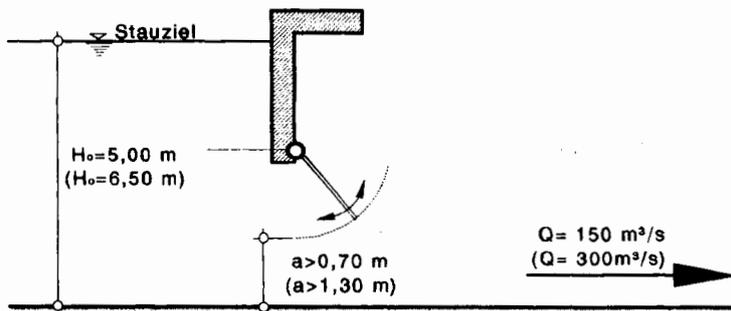
Der Staubalken ist die einfachste Möglichkeit, den Abfluß aus einem Rückhalteraum zu drosseln. Er ist absolut betriebssicher und wartungsarm. Der Abfluß ist direkt von der Aufstauhöhe vor dem Absperrbauwerk abhängig.

Die Öffnungshöhe unter dem Staubalken wird für die maximale Stauhöhe bemessen, um den Regelabfluß nicht zu überschreiten. Daraus ergibt sich ein relativ geringer freier Durchgangsquerschnitt unter dem Staubalken. Der Drosselabfluß beträgt bei Einstaubeginn ca. 25 % des Regelabflusses. Es kommt zu einem frühzeitigen Beginn des Einstaues im Retentionsraum, der dadurch nicht optimal genutzt wird.

4.4 Staubalken mit gesteuerter, beweglicher Regulierklappe

Wird der Staubalken auf seiner Unterseite mit einer angetriebenen, beweglichen Regulierklappe kombiniert, kann der Abfluß aus dem Hochwasserrückhalteraum nicht nur exakt auf den Regelabfluß gedrosselt, sondern auch bei entsprechender Steuerung der jeweiligen Hochwassersituation angepaßt werden.

Dadurch kann der vorhandene Stauraum optimal ausgenutzt werden.



Die Klammerwerte gelten für Fall b.

Abb. 19: Schemaskizze, Staubalken mit gesteuerter, beweglicher Regulierklappe.

4.4.1 Abflußkurve Fall a

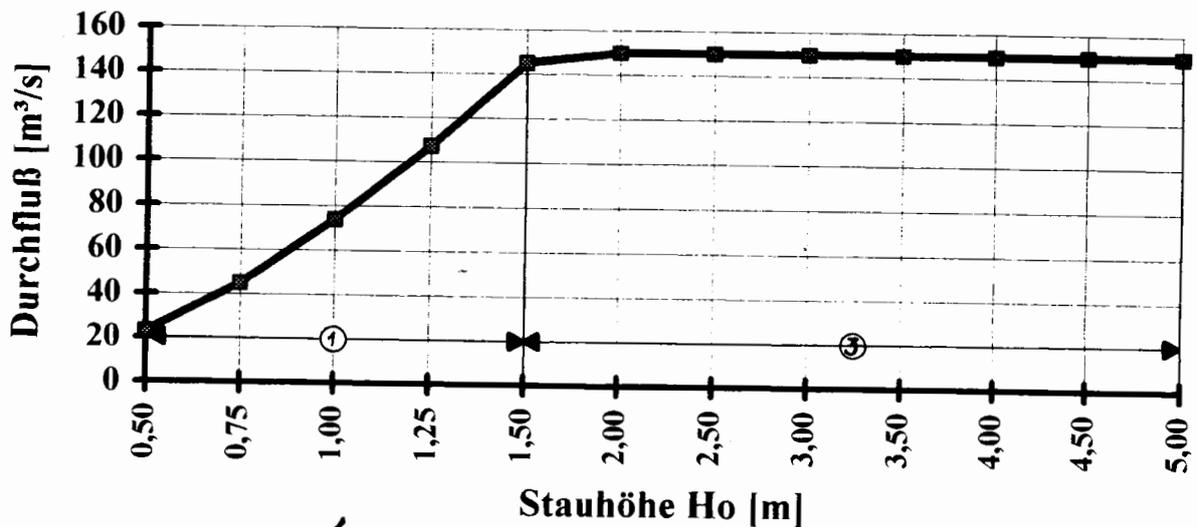


Abb. 20: Durchfluß unter einem Staubalken mit gesteuerter, beweglicher Regulierklappe, Fall a.

- ① Freispiegelabfluß im Gewässer
- ③ vollkommener Ausfluß (nicht rückstaubeinflusst)

4.4.2 Abflußkurve Fall b

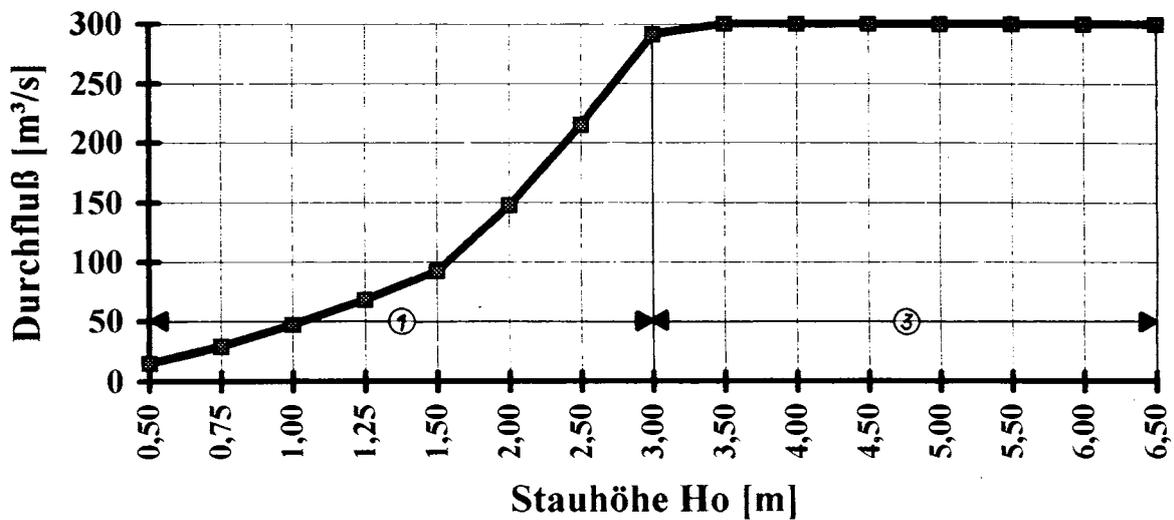


Abb. 21: Durchfluß unter einem Staubalken mit gesteuerter, beweglicher Regulierklappe, Fall b.

- ① Freispiegelabfluß im Gewässer
- ③ vollkommener Ausfluß (nicht rückstaubeinflusst)

4.4.3 Resümee

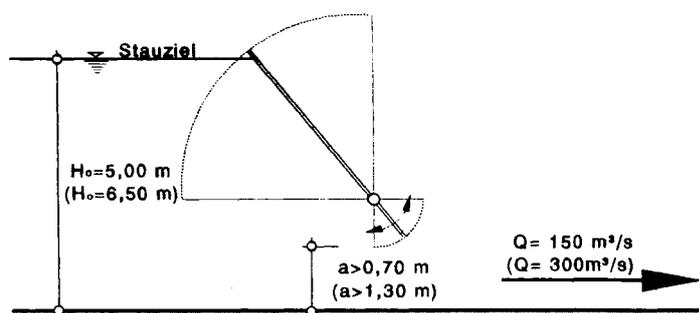
Der Staubalken mit einer gesteuerten, beweglichen Regulierklappe ist im Hinblick auf den konstanten Drosselabfluß die optimale Lösung. Durch die erforderlichen mechanischen Bauteile ist die Betriebssicherheit geringer und der Wartungsaufwand erheblich größer als beim reinen Staubalken.

4.5 Schwingklappe als selbsttätige Stauvorrichtung

Durch die Lage des Drehpunktes sowie durch die Form der Schwingklappe kann der Abfluß aus dem Rückhalteraum, rein mechanisch und ohne Fremdenergie, nahezu konstant auf den Regelabfluß gedrosselt werden.

Die Anordnung von Ballast und Schwimmkörper beeinflusst das Aufstellmoment der Klappe. Sie richtet sich bei ansteigendem Wasserspiegel selbständig auf und reduziert den freien Durchflußquerschnitt.

Da keine Erfahrungen über das Betriebsverhalten von selbsttätigen Schwingklappen zur Hochwasserrückhaltung vorliegen, sind derzeit weitergehende Untersuchungen der Schwingklappe sowie Modellversuche in Arbeit.



Die Klammerwerte gelten für Fall b.

Abb. 22: Schemaskizze, Schwingklappe als selbsttätige Stauvorrichtung.

4.5.1 Abflußkurve Fall a

Die Unterkante der Schwingklappe muß bei den gegebenen geometrischen Verhältnissen ca. 70 cm über der Gewässersohle liegen, damit bei Volleinstau der Regelabfluß nicht überschritten wird.

Wie die Abflußkurve zeigt, kann durch die günstige Anordnung des Drehpunktes und ggf. durch die Formgebung der Klappe ein recht konstanter Regelabfluß erreicht werden.

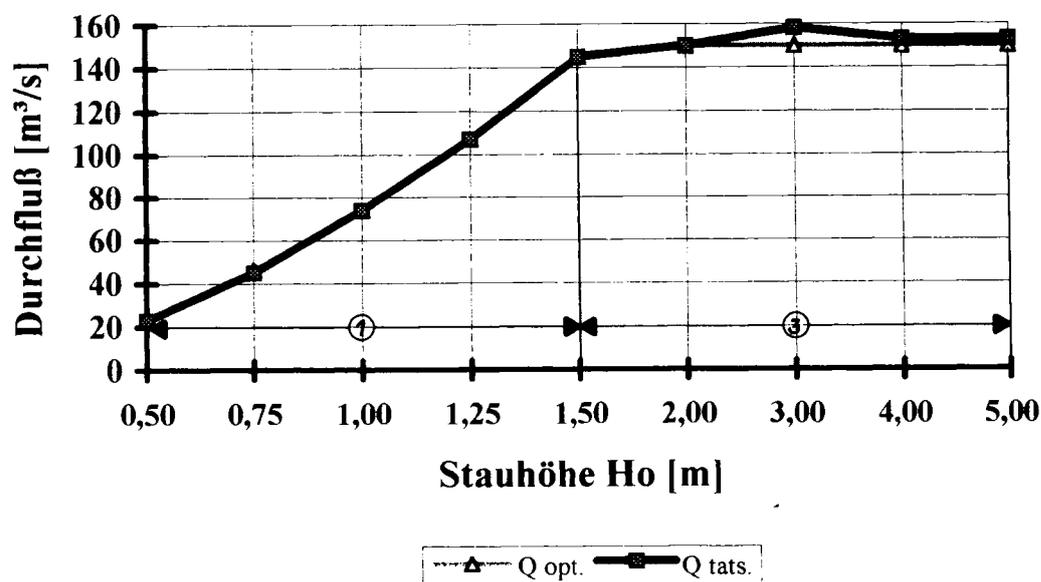


Abb. 23: Durchfluß unter einer selbsttätigen Schwingklappe, Fall a.

$Q_{\text{opt.}}$: optimale Abflußkurve für den Sollabfluß

$Q_{\text{tats.}}$: tatsächlicher Durchfluß, abhängig von der Geometrie der Schwingklappe

① Freispiegelabfluß im Gewässer

③ vollkommener Ausfluß (nicht rückstaubeinflusst)

4.5.2 Abflußkurve Fall b

Die Unterkante der Schwingklappe muß bei den gegebenen geometrischen Verhältnissen ca. 1,30 m über der Sohle des Gewässers liegen. Dadurch wird bei der maximalen Stauhöhe von 6,50 m der Regelabfluß von 300 m³/s gerade erreicht.

Durch die günstige Anordnung des Drehpunktes und ggf. durch die Form der Schwingklappe kann ein relativ konstanter Regelabfluß erreicht werden.

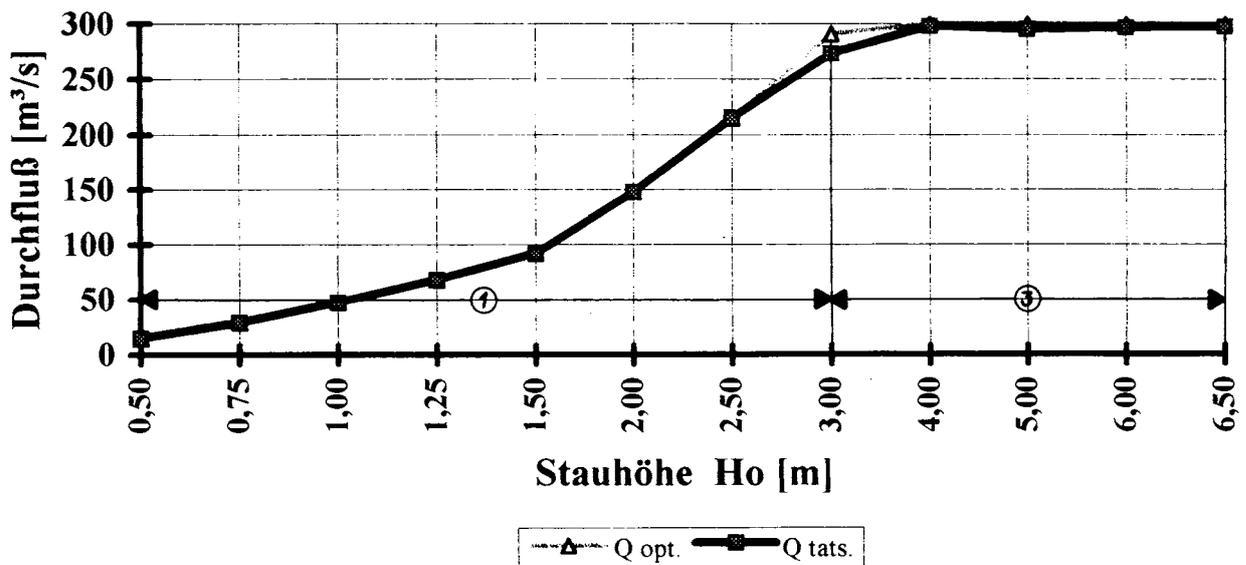


Abb. 24: Durchfluß unter einer selbsttätigen Schwingklappe, Fall b.

- $Q_{opt.}$: optimale Abflußkurve für den Sollabfluß
- $Q_{tats.}$: tatsächlicher Durchfluß, abhängig von der Geometrie der Schwingklappe
- ① Freispiegelabfluß im Gewässer
- ② vollkommener Ausfluß (nicht rückstaubeinflusst)

4.5.3 Resümee

Wie die Abflußkurven zeigen, kann mit einer selbsttätigen Schwingklappe ein relativ konstanter Regelabfluß erreicht werden. Im Hinblick auf die unter Kapitel 3.3.2 genannten Vorteile werden derzeit weitergehende Untersuchungen und Modellversuche durchgeführt, um die Eignung von selbsttätigen Schwingklappen als Durchlaßbauwerke näher zu überprüfen.

5 Landschaftsökologische Anforderungen

5.1 Einleitung

Aus landschaftsökologischer Sicht können sich durch den Bau und Betrieb von Retentionsräumen Belastungen der Fließgewässerökosysteme, der Auenökosysteme und des Landschaftsbildes ergeben [14]. Im folgenden sollen landschaftsökologische Mindestanforderungen an die eigentlichen Bauwerke (Durchlässe und Dämme) formuliert werden. Diese beziehen sich im wesentlichen auf den Erhalt des Fließgewässer-Kontinuums und der Durchgängigkeit sowie auf die landschaftliche Einbindung.

5.2 Erhalt des Gewässer-Kontinuums

Der Begriff „Fließgewässer-Kontinuum“ ist wissenschaftlich sehr weit gefaßt und beinhaltet die landschafts- und gewässertypische räumliche Abfolge von Auen-/Fließgewässer-Lebensräumen und ihren jeweiligen Lebensgemeinschaften [15], [16]. Diese charakteristische Abfolge sollte durch Retentionsbauwerke nicht erheblich gestört oder unterbrochen werden. Somit dürfen Durchlässe durch Dämme nicht nur zentral am Hauptgerinne angelegt werden, sondern das zurückgehaltene Wasser sollte „auf breiter Front“ bzw. in mehreren Schluten auenabwärts strömen können. Dies ist vor allem dort zu beachten, wo noch entsprechende Auelemente vorhanden sind.

5.3 Erhalt der Durchgängigkeit

Bei der Anlage von Durchlässen und Dämmen ist die Durchgängigkeit / Passierbarkeit dieser Bauwerke für die Gewässerorganismen sowie deren Besiedelbarkeit anzustreben, da die Auen- und Gewässerbiotope über Stoff-, Organismen- und Informationsflüsse miteinander in Verbindung stehen (Biotopvernetzung) [17], [18].

Durchgängigkeit bedeutet, daß ein Bauwerke für alle tierischen Gewässerorganismen dieses Gewässerabschnitts sowohl stromaufwärts als auch stromabwärts durchwanderbar, schnell erreichbar und auch generell besiedelbar sein muß.

Dies heißt nicht, daß diese Funktionen ständig gegeben sein müssen. Denn auch beim natürlichen Ablauf von Hochwässern sind bestimmte Lebensräume für die meisten Organismen aufgrund starker Strömung oder starken Geschiebetriebs (mechanische Beeinträchtigung) nicht erreichbar oder nicht besiedelbar. Die natürliche Dynamik von Fließgewässern umfaßt auch die episodische bis periodische Zerstörung von Lebensräumen und Organismen. Allerdings sind hiervon immer nur Teile von Lebensraumkomplexen und Populationen betroffen (Meta-Population nach PLACHTER [19]), so daß sich von weniger beeinträchtigten Bereichen bzw. überlebenden Teil-Populationen eine mehr oder minder schnelle Regeneration bzw. Wiederbesiedelung ergibt. Dies ist vor allem bei Wildflüssen mit starkem Geschiebetrieb (Umlagerungsstrecken) der Fall [20], [21].

Hinsichtlich der Fließgewässerorganismen und bezogen auf diese Thematik sind im wesentlichen zwei Gruppen von Gewässerorganismen von Bedeutung: Fische und Makrobenthosorganismen. Diese unterscheiden sich bezüglich ihrer Habitatansprüche. Zudem sind diese beiden Gruppen aufgrund ihrer vielfältigen Artenzusammensetzung auch in sich heterogen (z.B. Groß- und Kleinfische).

5.3.1 Fische

Fische führen teilweise umfangreiche Wanderungen zwischen Nahrungs-, Laich-, Ruhe-, Hochwasserausweich- und Überwinterungsplätzen innerhalb von Fließgewässern durch [22], [23], [24]. Bei auflaufendem Hochwasser ziehen sie sich bei stärker werdender Strömung je nach art eigenem Schwimmvermögen [25], [26], [27], [28] in strömungsberuhigte Bereiche zurück, um einer Abdrift oder mechanischen Beeinträchtigungen durch den Geschiebetrieb zu entgehen [29]. Generell sind Strömungsgeschwindigkeiten von größer 1 m/s für die heute besonders gefährdeten Kleinfischarten nicht überwindbar.

Art	Max. Schwimmgeschwindigkeit	Max. Strömungsgeschwindigkeit
Forellen allgemein	2,0	
Regenbogenforelle (Länge)		
15 cm	1,85	
30 cm	2,8 - 4,5	
45 cm	5,0 - 8,6	
60 cm	5,1	
Weißfische	1,0 - 1,5	
Groppe, juv.		0,2 - 0,5
Groppe, adult		1,0
Schmerle, juv.		< 0,2
Schmerle, adult		< 1,0

Tabelle 1: Maximale Schwimm- bzw. überwindbare Strömungsgeschwindigkeiten von Fischen in m/s nach [25], [26], [27], [28].

Nach Ablauf des Hochwassers ist dann eine Wiederbesiedlung der zuvor verlassenem Bereiche möglich.

Bezogen auf Durchlässe heißt dies, daß diese bei Strömungsgeschwindigkeiten von 1 m/s noch durchschwimmbar sein sollten und daß Zeiten höherer Strömungsgeschwindigkeiten nicht zu lange (< 1 - 3 Tage) anhalten sollen. Durch entsprechende Gestaltung der Gewässersohle im Durchlaßbauwerk sowie seiner Umgebung können diese Forderungen erfüllt werden:

- ▶ Große Rauheit der Sohle
- ▶ Anlauf-/Beruhigungszonen innerhalb der Sohle
- ▶ Kolke mit verminderter Strömung unterhalb und oberhalb

5.3.2 Makrozoobenthos

Die wirbellosen, kleinwüchsigen Arten des Makrozoobenthos leben vorwiegend auf und im wassererfüllten Lückensystem des Gewässergrundes („Hyphorheisches Interstitial“), wobei die Besiedelung vorwiegend auf die obersten 10 Zentimeter beschränkt ist. Sie haften meist auf der Unterseite von Steinen, Geröll und Geschwemmsel. Das Haftvermögen ist artspezifisch und auch substratspezifisch. Strömungsgeschwindigkeiten von mehr als 1 - 3 m/s lösen diese Tiere von ihrer Haftunterlage und bewirken eine Abtrift. Eine Fortbewegung stromaufwärts ist verglichen mit Fischen nur äußerst langsam möglich und erfolgt eher im Sinne einer langsamen Ausweitung des Siedlungsraumes als durch echte Wanderungsbewegungen [14].

Bei der Konstruktion von Durchlässen ist somit auf die Gewässersohle besondere Rücksicht zu nehmen. Da sich infolge der Drosselwirkung der Bauwerke bei Hochwasser weit höhere Strömungsgeschwindigkeiten als die oben erwähnten ergeben, ist mit einer Abtrift aller auf der Gewässeroberfläche haftenden Individuen des Makrozoobenthos zu rechnen. Bei Ausräumung der Matrix der Gewässersohle ist zudem eine Verfrachtung des Makrozoobenthos zwangsläufig. Darüber hinaus ist eine schnelle Wiederbesiedlung bei fehlenden Besiedlungsstrukturen nicht möglich. Die baulich Gestaltung sollte deshalb so erfolgen, daß

- ▶ an der Sohlenoberfläche unterschiedliche Strömungsgeschwindigkeiten entstehen können (Variabilität der Rauheit)
- ▶ in den obersten 10 Zentimetern der Gewässersohle ein Lückensystem entsteht bzw. nach Ablauf eines Hochwassers durch Sedimente wieder entstehen kann, das ebenfalls unterschiedlichen Strömungsgeschwindigkeiten ausgesetzt ist (Mix unterschiedlichen Materials, Korngrößen und Kantenformen aus Steinen, Kiesen, Sand, Schluff, Ton, Laub und anderem organischem Geschwemmsel; vgl. [30])
- ▶ das Gerüst für die Fixierung der Sediment-Matrix auch bei höheren Fließgeschwindigkeiten nicht abgetragen wird (feste Verankerung von Steinen im Untergrund) und im nachlassenden Abfluß des Hochwassers wieder durch Sedimentation verfüllt wird. Dies hätte gegenüber einer fest installierten Matrix den Vorteil, daß sich das jeweils für den Gewässerschnitt typische Sohlsubstrat ausbilden könnte
- ▶ Bei der Anlage und dem Betrieb von Seitendurchlässen ist auf die periodische Ausräumung von feinen, das Interstitial abdichtenden Sedimenten (Ton) mittels „ökologischer Flutungen“ zu achten

5.4 Landschaftliche Einbindung

Neben den Anforderungen an die Durchgängigkeit sollten sich Durchlaßbauwerke auch möglichst harmonisch in Auenlandschaften einfügen. Harmonisch bedeutet, daß diese technischen Bauwerke das typische Landschaftsbild von Auenlandschaften nicht übermäßig verfremden. Bewirtschaftbare Hochwasser-Retentionsräume bestehen aus zwei Teilbauwerken, den Dämmen und dem oder den Auslaßbauwerken.

5.4.1 Dämme

Damit Dämme nicht als Fremdkörper in Auenlandschaften übermäßig in Erscheinung treten, sind folgende Maßnahmen denkbar:

- ▶ Ausformung und Verlauf in Anlehnung an natürliche geomorphologische Formen von Talräumen (Terrassenkanten, Uferwälle, Brennen etc.; keine Normprofile/ -neigungen, keine geraden Verläufe)
- ▶ Begrenzung der Höhe (in Anlehnung an die Dimensionen des Talraums sowie der gegebenen Sichtbeziehungen)
- ▶ Lockere Bepflanzung mit standort- und biotoptypischen Sträuchern und kleinen Bäumen bis in die Umgebung (keine Vegetationswälle)

5.4.2 Durchlaßbauwerke

Damit die eigentlichen Durchlaßbauwerke möglichst nicht in Erscheinung treten, sollten folgende Anforderungen erfüllt sein:

- ▶ Bauhöhe nicht über Dammkrone
- ▶ Lockere Bepflanzung in der Umgebung (Sträucher); Sichtbeziehungen beachten!
- ▶ Verwendung von Naturstein beim Bau

6 Gestaltung von Sohle und Tosbecken

6.1 Gestaltung der Sohle

Beim Unterströmen des Verschlußorgans wird die potentielle Energie des gestauten Wassers in Bewegungsenergie umgewandelt. Dabei entstehen, bedingt durch die hohen Fließgeschwindigkeiten, sehr große Erosionskräfte. Das Gewässerbett muß diese Kräfte aufnehmen können, da es sonst zu verstärktem Geschiebetransport, Eintiefung und Zerstörung kommt.

Dies erfordert eine massive Befestigung des Gewässers im Bereich des eigentlichen Durchlaßbauwerkes, im Tosbecken sowie beim anschließenden Kolkchutz.

Um die Standsicherheit des Durchlaßbauwerkes und des sich seitlich anschließenden Hochwasserrückhaltedammes gewährleisten zu können, muß der gesamte Fließquerschnitt im Durchlaßbereich auf eine gewisse Länge gegen Erosion gesichert sein. Dabei erfordert speziell der Auslaufbereich des Retentionsraumes sowie das sich anschließende Tosbecken besondere Maßnahmen der Sohlsicherung.

Die Forderung nach einem durchgehenden natürlichen Sohlsubstrat kann bei allen unterströmten Regulierorganen im Hochwasserfall, bedingt durch die auftretenden Erosionskräfte, nicht gewährleistet werden.

Durchgängigkeit bzw. Passierbarkeit bedeutet, daß das Gewässerbett im Bereich des Durchlaßbauwerkes für alle tierischen Gewässerorganismen dieses Gewässerabschnittes sowohl stromaufwärts wie auch stromabwärts durchwanderbar, schnell erreichbar und teilweise auch dauerhaft besiedelbar sein muß. Das heißt nicht, daß diese Anforderungen ständig erfüllt werden müssen. Denn auch beim natürlichen Ablauf von Hochwässern sind bestimmte Lebensräume für gewisse Organismengruppen aufgrund starker Strömung oder starkem Geschiebetrieb zeitweise nicht erreichbar oder nicht besiedelbar.

Das Sohlsubstrat, das sich bei Normalabfluß im Bereich des Durchlaßbauwerkes bildet, wird bei der ansteigenden Hochwasserwelle sowie beim Scheitelabfluß abgewaschen. Beim Ablaufer der Hochwasserwelle lagert sich jedoch bei abnehmender Fließgeschwindigkeit im Gewässer wieder neues Material ab.

Diese natürliche Dynamik gilt auch für naturnahe Fließgewässer. Sie umfaßt die episodische bis periodische Zerstörung von Lebensräumen und Organismen. Dabei sind immer nur Teile von Lebensräumen und bestimmte Populationen betroffen, so daß sich von weniger betroffenen Bereichen ausgehend eine mehr oder weniger schnelle Regeneration bzw. Wiederbesiedlung des Gewässerabschnittes einstellt.

Davon betroffen sind im wesentlichen zwei bedeutende Gruppen von Gewässerorganismen: Fische und Makrobenthosorganismen. Diese unterscheiden sich bezüglich ihrer Habitatansprüche. Zudem sind diese beiden Gruppen aufgrund ihrer vielfältigen Artenzusammensetzung auch in sich heterogen (z.B. Groß- und Kleinfische).

Manche **Fischarten** führen umfangreiche Wanderungen zwischen Nahrungs-, Laich-, Ruhe-, Hochwasser-Ausweich- und Überwinterungsplätzen innerhalb von Fließgewässern durch. Bei auflaufendem Hochwasser ziehen sie sich mit stärker werdender Strömung je nach arteigenem Schwimmvermögen in strömungsberuhigte Bereiche zurück, um einer Abdrift oder Beeinträchtigungen durch den Geschiebebetrieb zu entgehen. Daher sollten Gewässerquerschnitt und die Durchlaßbauwerke auch bei Strömungsgeschwindigkeiten von 1 - 3 m/s noch durchschwimmbar sein und Zeiten höherer Strömungsgeschwindigkeiten nicht zu lange (< 1 - 3 Tage) andauern.

Durch das Durchlaßbauwerk sollte sich bei Normalabfluß keine Zustandsveränderung auf der Gewässersohle einstellen.

Bei der Gestaltung der Gewässersohle sind folgende Kriterien zu beachten (Kapitel 5):

- ▶ große Sohlrauigkeit
- ▶ Anlauf- und Beruhigungszonen für Fische
- ▶ Kolke mit verminderter Strömungsgeschwindigkeit

Die wirbellosen, kleinwüchsigen Arten des **Makrozoobenthos** leben vorwiegend auf und im Lückensystem des Gewässergrundes ("Hyphorheisches Interstitial"), wobei die Besiedelung vorwiegend auf die obersten 10 Zentimeter beschränkt ist. Sie haften meist auf der Unterseite von Steinen, Geröll und Geschwemmsel. Das Haftvermögen ist art- und auch substratspezifisch. Strömungsgeschwindigkeiten von mehr als 1 - 3 m/s lösen diese Tiere von ihrer Haftunterlage und bewirken eine Abdrift.

Bedingt durch die erhöhten Strömungsgeschwindigkeiten, die sich beim Hochwasserabfluß einstellen, ist mit einer Abdrift aller auf der Gewässersohle haftenden individuellen Arten der Makrozoobenthos zu rechnen. Bei der Ausräumung der Matrix der Gewässersohle ist eine Verfrachtung des Makrozoobenthos zwangsläufig. Eine schnelle Wiederbesiedelung ist ohne weiteres nicht möglich. Die bauliche Gestaltung der Sohle sollte daher folgende Bedingungen erfüllen:

- ▶ variable Sohlenoberfläche mit unterschiedlichen Strömungsgeschwindigkeiten
- ▶ Lückensystem in der obersten Schicht (ca. 10 cm) das ebenfalls unterschiedlichen Strömungsgeschwindigkeiten ausgesetzt ist.

Die Befestigung des Gewässers muß also so ausgebildet sein, daß sie neben Standsicherheit, Kolk- und Erosionsschutz auch noch die ökologischen Forderungen nach Durchwander- und Passierbarkeit für die Gewässerorganismen erfüllt. Es muß weiterhin gewährleistet sein, daß das Gewässer im Bereich des Durchlaßbauwerks für im Gewässer lebende Organismen besiedelbar ist.

Dies kann durch einen im Beton versetzten Steinsatz erreicht werden. Die Steinblöcke werden hierbei unregelmäßig eingebaut, um eine variable Sohlrauigkeit zu erreichen. Außerdem werden strömungsberuhigte Bereiche durch das Anlegen von vertieften Stellen geschaffen. Die Fugen der Steinblöcke werden bis auf ca. 1/3 der Steinhöhe mit Beton verfüllt, um den Steinsatz zu stabilisieren.

Das Lücken- und Hohlraumssystem über der Betonverfugung wird mit einer Mischung unterschiedlicher Materialien, Korngrößen und Kantenformen verfüllt.

Um ein Ausspülen des Füllmaterials zu verhindern, können die Steinblöcke so eingebaut werden, daß bereichsweise ein keilförmiges Lückensystem entsteht. Die Hohlräume, die sich nach oben verjüngen sind beim Einbau des Steinsatzes teilweise mit Material größeren Durchmessers zu verfüllen, das so nicht mehr ausgetragen werden kann.

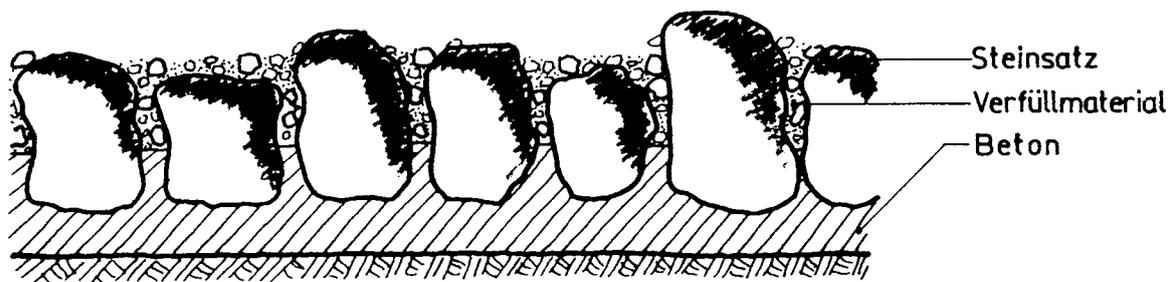


Abb. 25: Schemaskizze: Steinsatz.

6.2 Energieumwandlung und Tosbecken

6.2.1 Allgemeines

Die Wasserspiegeldifferenz zwischen dem Oberwasser im Hochwasserrückhalteraum und dem Unterwasser stellt ein Energiepotential dar. Die Bewegungsenergie des über den Wehrrücken fallenden oder unter Verschlüssen durchschießenden Wassers muß auf möglichst kleinem Raum in Wärmeenergie umgewandelt werden, um Schäden am Gewässerbett durch Kolkbildung unterhalb des Bauwerkes zu verhindern.

Die kontrollierte Energieumwandlung erfolgt im Tosbecken, das unterschiedlich gestaltet werden kann. Alle Flächen des Tosbeckens, die hohen Wassergeschwindigkeiten und damit Erosion und Abrieb ausgesetzt sind, müssen massiv befestigt werden.

Die überschüssige Energie des Wasserstroms sollte in der Deckwalze des Wechselsprungs optimal umgewandelt werden. Die Tosbeckenendschwelle sorgt dabei für eine Kolkminde rung unterhalb des Wehres durch Umlenkung des aggressiven Sohlstrahls. Wird das Tosbecken vertieft, so reicht die Endschwelle im allgemeinen bis zur Fließgewässersohle.

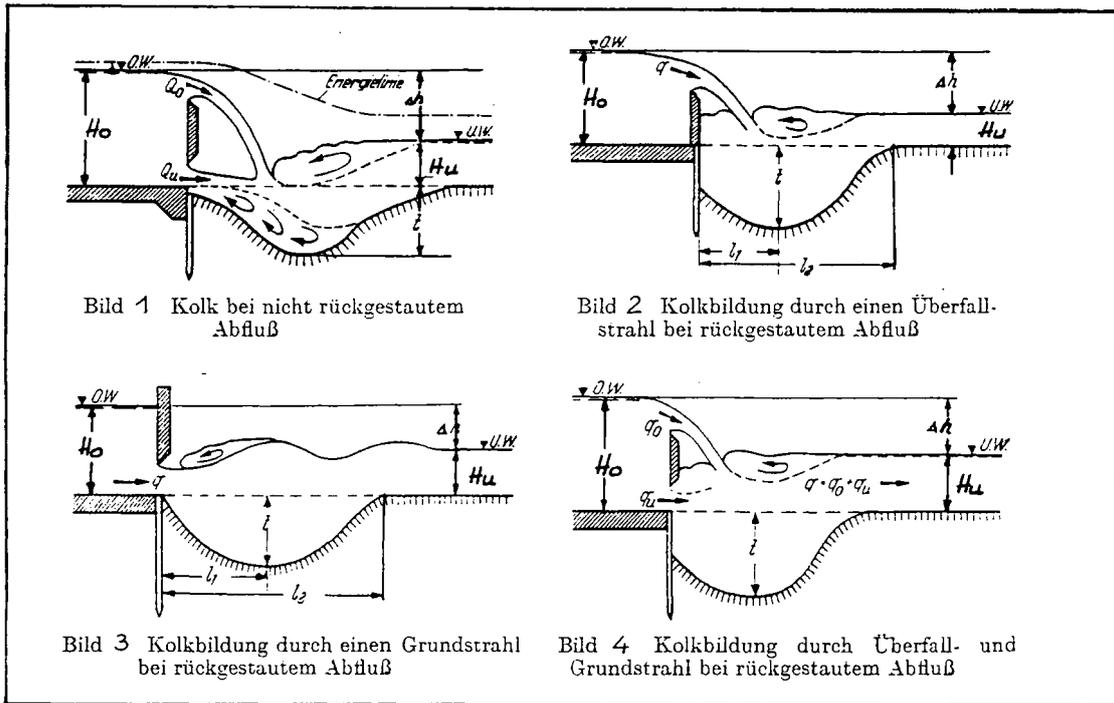


Abb. 26: Kolkbildung und Kolkformen [31].

6.2.2 Grundlagen zur Ermittlung der Kolkabmessungen

Tosbecken können wegen der zumeist vorherrschenden dreidimensionalen Strömungsform nur überschlägig bemessen werden. Für die optimale Ausbildung bedarf es genauso des Modellversuches wie für die Festlegung der Lage und Form der Einbauten [32]. Ein Problem, das ebenfalls nur durch Modellversuche gelöst werden kann, ist der Anschluß eines Tosbeckens an die Sohle im Unterwasser einer Stauanlage.

Weitere Literatur zur Sturzbettbemessung und Energieumwandlungsanlagen siehe: [33], [34], [35], [36], [37], [38], [39], [40].

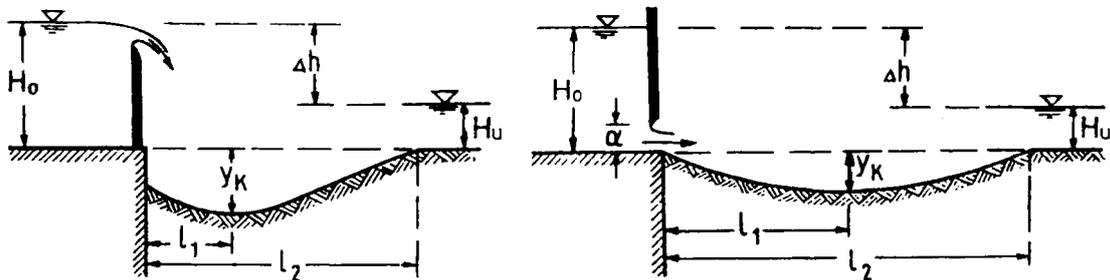


Abb. 27: Endformen des Kolkes [33].

Die Berechnung der Kolkabmessungen kann nach folgender Beziehung [33] überschlägig erfolgen:

Kolktiefe:

$$y = y_k + H_u$$

$$y = B \cdot h_{gr} \cdot \sqrt{\Delta h / d_{90}}$$

Kokllänge:

bei Überfall $l_1 = 0,5 \cdot y$, $l_2 = 1,8 \cdot y$

bei Ausfluß $l_1 = 3,0 \cdot y$, $l_2 = 6,0 \cdot y$

mit:

h_{gr} Grenztiefe

$B = 1$, [33], (Beiwert) Ausfluß unter einem Schütz

Δh Wasserspiegeldifferenz zwischen Ober- und Unterwasser

d_{90} Korndurchmesser bei 90% Siebdurchgang

Im Anhang wurden die Kolkabmessungen für die Fälle a und b ermittelt.

- ▶ Für den Fall a ergab sich eine Kolktiefe von ~ 80 cm.
Die Ermittlung der Kokllänge ergab für $l_1 \sim 7$ m und für $l_2 \sim 14$ m.
- ▶ Für den Fall b wurde eine Kolktiefe von 70 cm ermittelt.
Die Kokllänge errechnete sich zu: $l_1 \sim 11$ m, $l_2 \sim 22$ m.

7 Ergänzende Betrachtung der geeigneten Durchlaßtypen

7.1 Anordnung

Das geplante Durchlaßbauwerk wird im Hauptschluß angeordnet. Dies hat bezüglich der Bauwerksgestaltung folgende Vorteile:

- ▶ kompaktes Bauwerk mit durchgehender Gewässersohle zur Regelabgabe und teilweisen Hochwasserentlastung möglich
- ▶ Energieumwandlung durch Tosbecken im Gewässerbett
- ▶ bei der Abflußregelung durch einen festen Staubalken größtmöglicher freier Querschnitt unter dem Balken

Beim außergewöhnlichen Lastfall kann bei den vorgegebenen Randbedingungen nicht die gesamte Entlastungswassermenge über den Staubalken abgeschlagen werden. In den Seitenbereichen des Dammbauwerkes werden weitere Dammscharten zur Hochwasserentlastung erforderlich. Diese Dammscharten können höhenmäßig gestaffelt angeordnet werden, so daß beim Anspringen der Entlastung die Wassermengen auf der luftseitigen Dammböschung verteilt abgeführt werden. Im Katastrophenfall wird durch die verteilte Beaufschlagung des Dammes durch die Entlastungswassermenge auch die passive Sicherheit des Dammbauwerkes erhöht.

7.2 Gründung des Bauwerks

Für die Gründung der Wehrwangen bieten sich zwei Gründungsvarianten an, die Flachgründung und die Pfahlgründung:

7.2.1 Flachgründung

Stehen als tragfähige Schicht z.B. Kiese etwa in Höhe der Bachsohle an, so wird sich in der Regel eine Flachgründung als kostengünstigste Lösung erweisen. Die Herstellung dieser Flachgründung erfolgt innerhalb von Spundwandkästen oder Fangedämmen. Die Herstellung der Fundamente kann im Schutz einer offenen Wasserhaltung oder durch eine mit den Spundwänden verzahnte Unterwasserbetonsohle erfolgen.

Bei der Flachgründung sind wiederum zwei Varianten möglich:

- ▶ Einzelfundamente unter den Wehrwangen
- ▶ durchgehende Platte über den gesamten Flußquerschnitt

Die Vorteile der durchgehenden Platte sind:

- ▶ eine Fixierung des Kontrollquerschnittes
- ▶ absoluter Kolkenschutz für die darüberliegende Sohlbefestigung
- ▶ keine ungleichen Setzungen
- ▶ Berücksichtigung der Wasserauflast beim Gleitsicherheitsnachweis (Sohlwasserdruck berücksichtigen)

Die Gründung über eine durchgehende Platte hat den ökologischen Nachteil, daß bei der Herstellung die gesamte Gewässersohle zerstört wird.

7.2.2 Pfahlgründung

Bei sehr hohen Belastungen und bei schlechtem Baugrund z.B. Talablagerungen aus Lehm-Ton-Schluff-Sand ist unter den Fundamenten (Pfahlkopfplatten) eine Pfahlgründung erforderlich.

Zur Aufnahme der Horizontalkräfte und des Kippmomentes sind Druck- und Zugpfähle erforderlich, wobei die Pfähle z.T. schräg eingebaut werden müssen. Diese Lösung ist u.U. auch bei gut tragfähigem Baugrund sinnvoll, insbesondere bei hohem Wasserstand, wenn dadurch die Kosten für eine Wasserhaltung während der Bauzustände erheblich gesenkt werden können.

7.3 Maßnahmen gegen die Verlegung der Durchflußöffnung

Insbesondere im Hochwasserfall ist es möglich, daß das Betriebsorgan - beim festen Stau-balken die freie Durchflußöffnung - durch Treibgut teilweise oder vollständig verstopft wird.

Dieser Betriebslastfall kann unter Umständen zu einem Sicherheitsrisiko für die ganze Anlage werden. Es ist daher wichtig, Treibgut von der Durchflußöffnung fernzuhalten, um die Verlegung und Verstopfung verhindern zu können.

Eine einfache und bewährte Methode, dieses Risiko zu mindern, stellt die Anordnung von vertikalen Rundhölzern im Zulaufbereich dar. Hierbei werden Rundhölzer halbkreisförmig im Zulaufbereich des Betriebsorgans in das Gewässerbett ingerammt. Die Enden der Hölzer ragen soweit über die Gewässerböschung, daß bei ansteigendem Wasserspiegel das Treibgut zumindest solange hängen bleibt, bis es nicht mehr durch den Sog im Einlaufbereich (Einlaufwirbel) in die Durchflußöffnung gelangen kann. Eingehende Untersuchungen sind unerlässlich.

7.4 Fester Staubalken

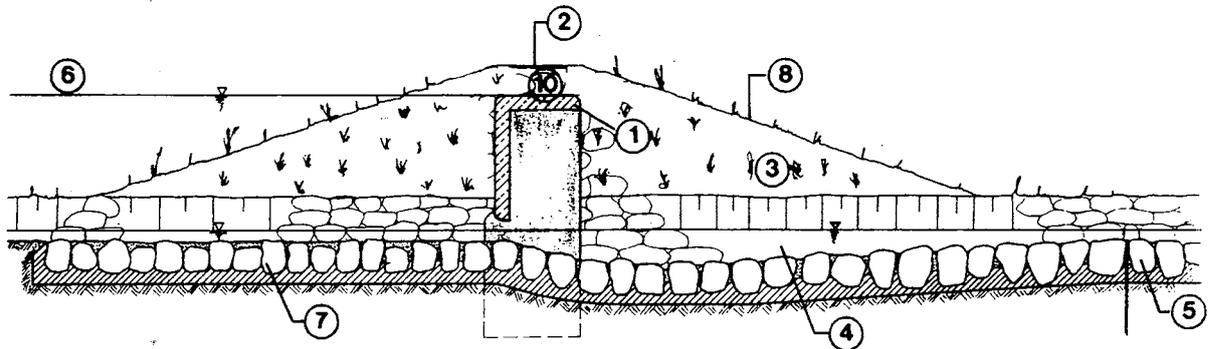


Abb. 28: Fester Staubalken, Schnitt in Gewässerachse.

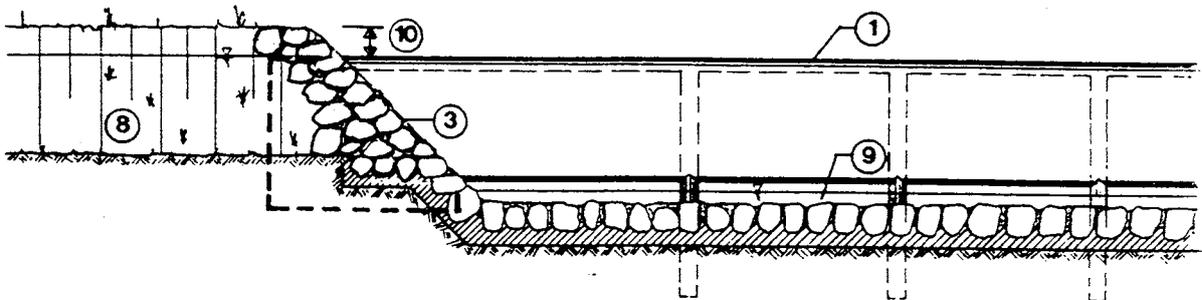


Abb. 29: Fester Staubalken, Ansicht von Oberwasser.

- ① Staubalken als kombiniertes Bauwerk zur Regelabgabe und zur Hochwasserentlastung (bei Bedarf überfahrbare Ausführung)
- ② Dammkrone und Weg
- ③ Böschung zum Gewässer
- ④ Tosbecken in natürlicher Löffelgrundform
- ⑤ Kolkschutz
- ⑥ Stauziel
- ⑦ Sohlbefestigung aus Natursteinen in Beton versetzt und zu 1/3 ausgefugt
- ⑧ Böschung zum Vorland mit variabler Neigung
- ⑨ Wehrfeld, freier Gewässerquerschnitt
- ⑩ Freibord

7.4.1 Betriebssicherheit

Im Hinblick auf die Betriebssicherheit stellt ein festes Wehr das Optimum dar, da außer der Verlegung der Durchflußöffnung keinerlei Betriebsstörung auftreten kann.

Ein Nachteil ist, daß der freie Durchflußquerschnitt unter dem Staubalken relativ klein ist. Die durch den festen Kontrollquerschnitt gewonnene Betriebssicherheit geht zu Lasten der Abflußregelung. Der Regelabfluß ist ausschließlich von der Stauhöhe abhängig und daher erheblichen Schwankungen unterworfen (Diagramm siehe Kapitel 4.3.1 und 4.3.2).

7.4.2 Wartungsaufwand

Die normalen Wartungs- und Instandsetzungsarbeiten, die in der Betriebsvorschrift festzusetzen sind, beschränken sich beim festen Staubalken auf ein Minimum. Sie umfassen nur die Kontrolle der Durchgängigkeit der Drosselöffnung und der Rechenhölzer sowie die Überprüfung der Sohl- und Böschungssicherung.

7.4.3 Baukosten

Die gesamten Baukosten für einen festen Staubalken der Größenordnung von Fall a werden auf mindestens DM 1 500 000,-- geschätzt.

7.5 Fester Staubalken mit gesteuerter, beweglicher Regulierklappe

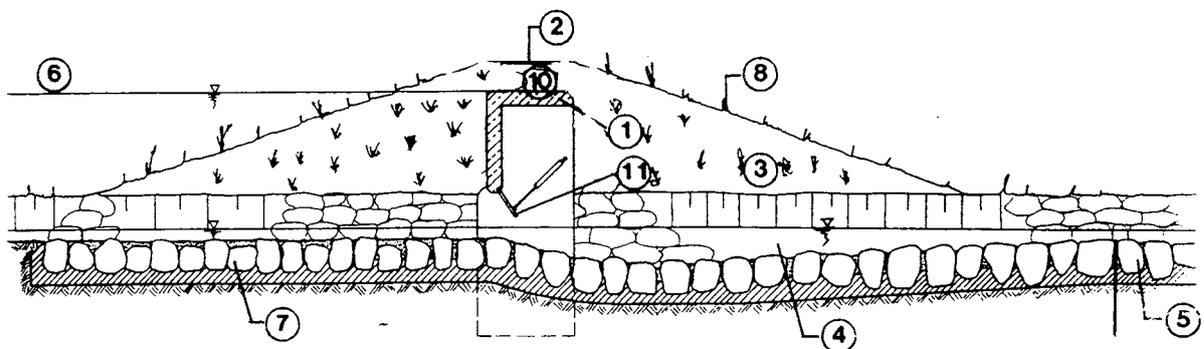


Abb. 30: Fester Staubalken mit gesteuerter Regulierklappe, Schnitt in Gewässerachse.

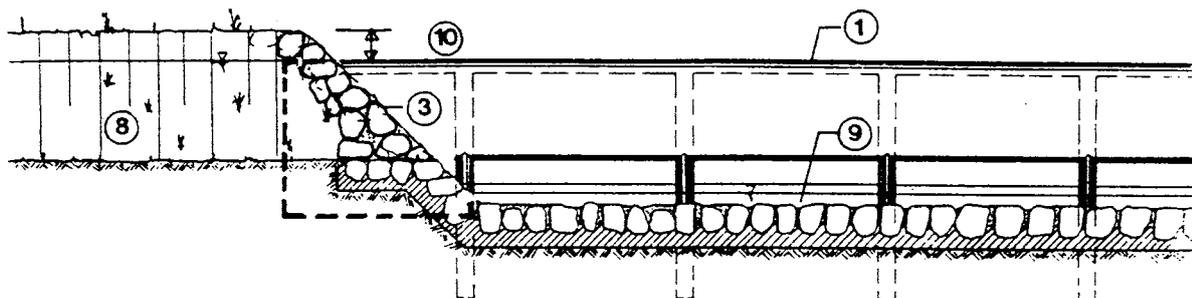


Abb. 31: Fester Staubalken mit gesteuerter Regulierklappe, Ansicht vom Oberwasser.

- ① Staubalken mit Klappe als kombiniertes Bauwerk zur Regelabgabe und zur Hochwasserentlastung (bei Bedarf überfahrbare Ausführung)
- ② Dammkrone mit Weg
- ③ Böschung zum Gewässer
- ④ Tosbecken in natürlicher Löffelgrundform
- ⑤ Kolkschutz
- ⑥ Stauziel
- ⑦ Sohlbefestigung aus Natursteinen in Beton versetzt und zu 1/3 ausgefugt
- ⑧ Böschung zum Vorland mit variabler Neigung
- ⑨ Wehrfeld, freier Gewässerquerschnitt
- ⑩ Freibord
- ⑪ (hydraulisch betätigte) Klappe

7.5.1 Betriebssicherheit

Durch den Einsatz von gesteuerten und maschinell betriebenen Anlagenteilen wird die Betriebssicherheit im Vergleich zum festen Staubalken verringert.

Große Vorteile bieten gesteuerte Anlagen hinsichtlich der optimalen Ausnutzung des zur Verfügung stehenden Retentionsraumes, der Einhaltung eines konstanten Regelabflusses sowie die Möglichkeit einer "Speicherbewirtschaftung".

Die Steuerung kann bei hydraulischen Anlagen über einen zusätzlichen Druckbehälter so ausgerüstet werden, daß bei Stromausfall die Zylinder automatisch ganz ausfahren, die Klappen schließen und somit hydraulische Verhältnisse wie beim festen Staubalken entstehen.

Mit Ausnahme der Versagenswahrscheinlichkeit der Stauklappe und des Antriebs ist die Betriebssicherheit der Anlage gegenüber einem festen Staubalken gleich. Durch den größeren freien Durchflußquerschnitt ergeben sich bei ganz geöffneter Klappe im hochwasserfreien Betrieb Vorteile hinsichtlich der Verlegungs- und Verstopfungsgefahr.

7.5.2 Wartungsaufwand

Im Vergleich zum festen Staubalken ergibt sich für Anlagen mit maschinell betätigten, beweglichen Regulierklappen ein erheblich größerer Aufwand für die Kontrolle und Wartung.

Für die verschiedenen Anlagenteile, die der Alterung und dem Verschleiß unterliegen, ist mit gezielten Kontrollen und Wartungsarbeiten die Betriebsbereitschaft sicherzustellen.

7.5.3 Baukosten

Die gesamten Baukosten für einen festen Staubalken mit beweglicher Regulierklappe der Größenordnung von Fall a werden auf mindestens DM 2 000 000,-- geschätzt.

7.6 Selbsttätige Schwingklappe

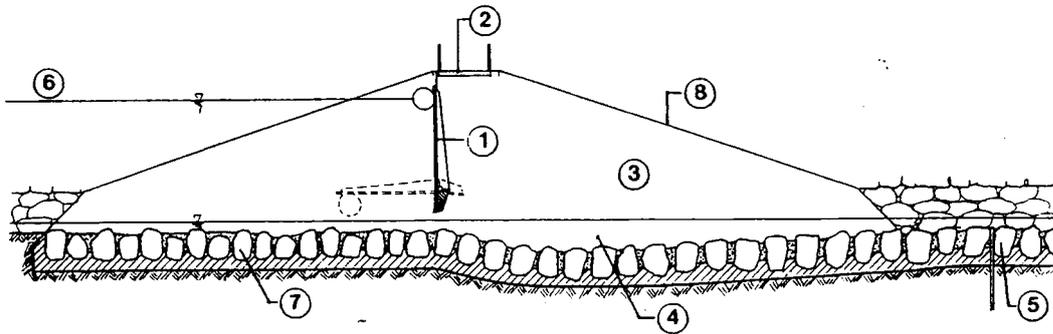


Abb. 32: Selbsttätige Schwingklappe, Schnitt in Gewässerachse.

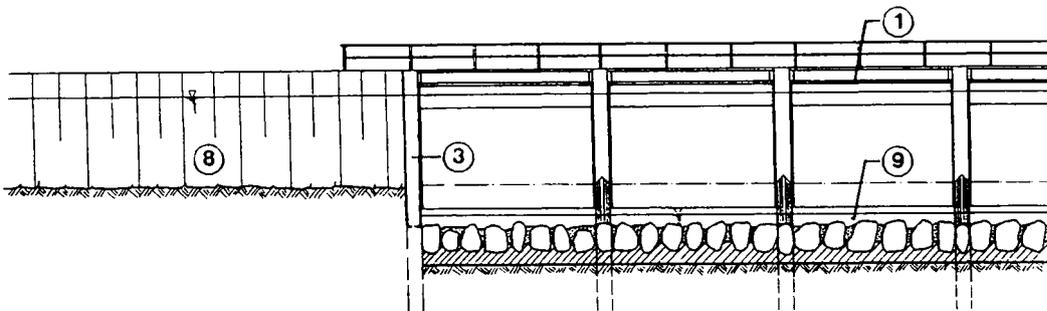


Abb. 33: Selbsttätige Schwingklappe, Ansicht vom Oberwasser.

- ① Selbsttätige Schwingklappe
- ② Dammkrone mit Weg
- ③ Wehrwange
- ④ Tosbecken in natürlicher Löffelgrundform
- ⑤ Kolkschutz
- ⑥ Stauziel
- ⑦ Sohlbefestigung aus Natursteinen in Beton versetzt und zu 1/3 ausgefugt
- ⑧ Böschung zum Vorland mit variabler Neigung
- ⑨ Wehrfeld, freier Gewässerquerschnitt

7.6.1 Betriebssicherheit

Über die Betriebssicherheit von selbsttätigen Schwingklappen zur Hochwasserrückhaltung gibt es keine Erfahrungswerte.

Vom Prinzip her ist die Schwingklappe ein einfaches und robustes System.

Die Betriebssicherheit kann als relativ groß bewertet werden, da die Schwingklappe ohne Fremdenergie auskommt und in der vorgegebenen Anwendung zu den Wehrwangen nicht dicht sein muß.

7.6.2 Wartungsaufwand

Im Hinblick auf den Wartungsaufwand ist die selbsttätige Schwingklappe ungünstiger als ein fester Staubalken. Im Vergleich zu einem festen Staubalken mit gesteuerter Regulierklappe ist aber ein wesentlich geringerer Wartungsaufwand erforderlich, da kein maschineller Antrieb enthalten ist.

7.6.3 Baukosten

Die gesamten Baukosten für eine selbsttätige Schwingklappe der Größenordnung von Fall a werden auf mindestens DM 2 000 000,-- geschätzt.

8 Zusammenfassung

8.1 Durchlaßbauwerk

Bei der Hochwasserbewirtschaftung von natürlichen Überschwemmungsgebieten werden Durchlaßbauwerke zur Abflußdrosselung und evtl. auch zur Abflußsteuerung erforderlich. Neben den hydraulischen Anforderungen, die eine solche Anlage erfüllen muß, sind auch ökologische Aspekte beim Bau zu berücksichtigen.

Neben einer Literaturlauswertung stand vor allem der Vergleich von möglichen Durchlaßtypen im Vordergrund der Bearbeitung.

In einem ersten Schritt wurden bewährte Wehrbauarten hinsichtlich ihrer Eignung als Durchlaßbauwerke untersucht und selektiert.

Es wurde festgestellt, daß für die Anlage ökologischer Durchlaßbauwerke grundsätzlich drei Bauarten geeignet sind:

a.) unterströmter Staubalken

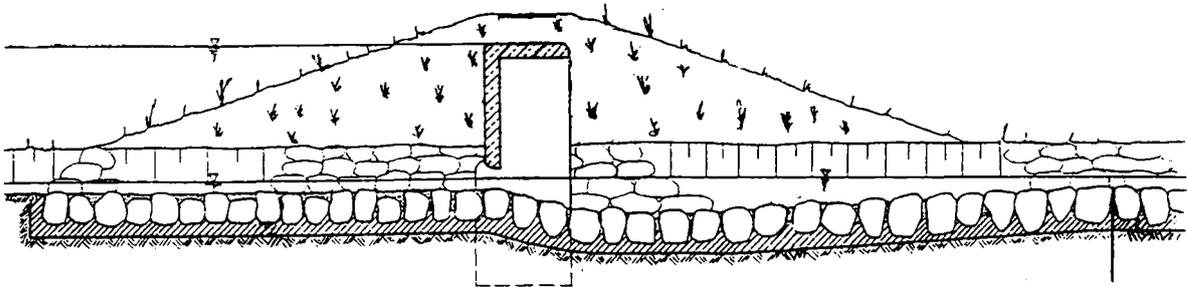


Abb. 34: unterströmter Staubalken.

- Vorteile:
- ▶ einfache Konstruktion
 - ▶ keine beweglichen Teile
 - ▶ absolute Betriebssicherheit
 - ▶ kein Wartungs- und Unterhaltungsaufwand
 - ▶ kostengünstig

- Nachteile:
- ▶ nur Abflußdrosselung möglich
 - ▶ Regelabfluß nicht konstant
 - ▶ geringe freie Durchlaßöffnung

b.) kombiniertes Wehr aus Staubalken und gesteuerter Regulierklappe

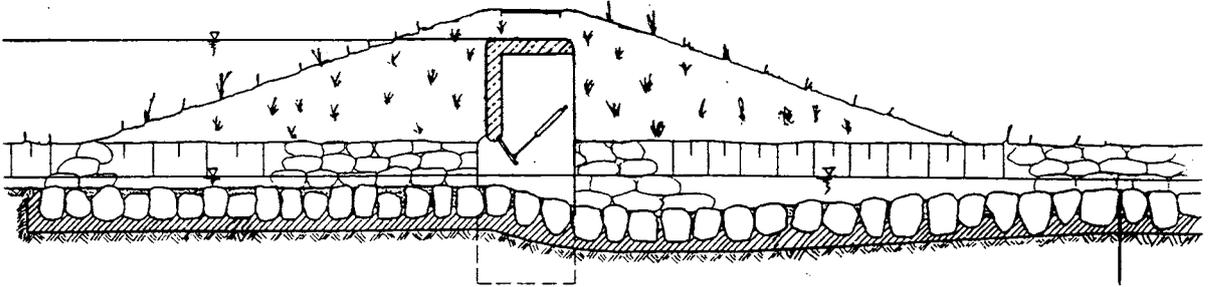


Abb. 35: kombiniertes Wehr aus Staubalken und gesteuerter Regulierklappe.

- Vorteile:
- ▶ einfache Konstruktion
 - ▶ große Betriebssicherheit
 - ▶ erprobte Technik

- Nachteile:
- ▶ sehr großer maschineller Anlagenteil
 - ▶ großer Unterhaltungsaufwand
 - ▶ aufwendige Steuerungsanlagen erforderlich

c.) selbsttätige Schwingklappe

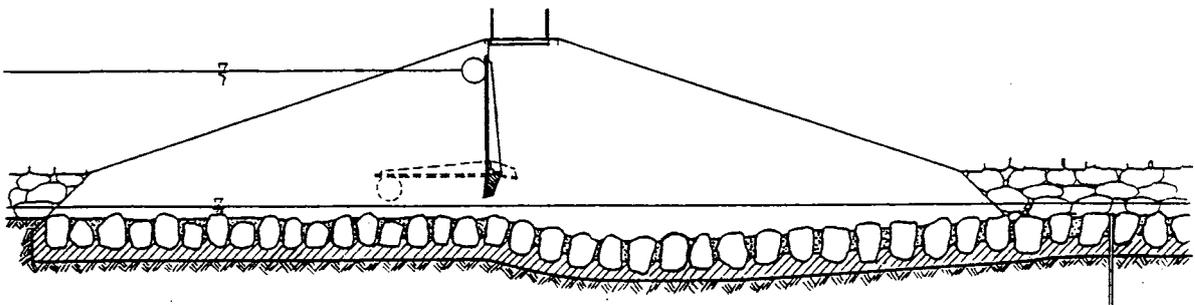


Abb. 36: selbsttätige Schwingklappe.

- Vorteile:
- ▶ einfache robuste Konstruktion
 - ▶ keine Fremdenergie erforderlich
 - ▶ Gewässerquerschnitt bei Normalabfluß mäßig beeinflusst
 - ▶ Betriebssicherheit

- Nachteile:
- ▶ keine Erfahrungswerte vorhanden

Die Verbesserung des Abflußverhaltens durch den Einsatz von gesteuerten Regulierklappen oder durch selbsttätige Schwingklappen bewirkt im Vergleich zum festen Staubalken neben einem größeren Wartungs- und Unterhaltungsaufwand sowie erhöhten Baukosten auch eine Verringerung der Betriebssicherheit. Im Vergleich zu den näher untersuchten Bauarten mit festem Staubalken stellt die selbsttätig wirkende Stauklappe im Hinblick auf das Abflußverhalten und die Bau- und Betriebskosten eine echte Alternative dar. Aufgrund der Vorteile einer selbsttätigen Schwingklappe werden hierzu weitergehende Untersuchungen durchgeführt.

8.2 Gewässersohle

Die Befestigung der Gewässersohle muß so ausgebildet sein, daß außer der Standsicherheit und dem Kolk- und Erosionsschutz auch noch die ökologischen Forderungen nach Durchwander- und Passierbarkeit für im Gewässer angesiedelte Organismen gewährleistet sein muß. Dies wird durch den Einbau eines Steinsatzes erreicht, der in Beton versetzt wird.

Die Steine werden unregelmäßig eingebaut, um eine variable Sohlrauigkeit zu erreichen. Es werden außerdem strömungsberuhigte Bereiche durch das Anlegen von vertieften Stellen geschaffen. Zur Stabilisierung werden die Steinblöcke bis auf ca. 1/3 der Steinhöhe mit Beton verfugt. Das Lücken- und Hohlraumsystem über der Betonverfugung wird mit unterschiedlichen Materialien, Korngrößen und Kornformen verfüllt.

Literaturverzeichnis

- [1] Wickert/Schmaußer (1971): Stahlwasserbau, Springer Verlag.
- [2] Vischer/Huber (1993): Wasserbau, 5. Auflage, Springer Verlag.
- [3] Markowitz, G. (1935): Selbsttätige Stauvorrichtungen, Franck'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.
- [4] DIN 4048, Teil 1, Begriffe; Stauanlagen.
- [5] Petschallies, G. (1989): Entwerfen und Berechnen in der Wasserwirtschaft, Bauverlag GmbH, Wiesbaden und Berlin.
- [6] Bertram, H.-U. (1984): Über die hydraulische Berechnung von Gerinnen mit Uferbewuchs, Zeitschrift für Kulturtechnik H.2.
- [7] Rickert, K. (1986): Der Einfluß von Gehölz auf die Lichtverhältnisse und das Abflußverhalten in Fließgewässern. Mitteilungen des Institutes für Wasserwirtschaft, Hydrologie und landw. Wasserbau der Universität Hannover, Dissertation, H. 61.
- [8] Kaiser, W. (1984): Fließwiderstandsverhalten in Gerinnen mit durchströmten Ufergehölzen, Wasserbau Mitteilungen, TH Darmstadt, H.23.
- [9] Lindner, K. (1982): Der Strömungswiderstand von Pflanzenbeständen, Mitteilungen des Leichtweiß Institutes für Wasserbau, TU Braunschweig, H. 75.
- [10] Mertens, W. (1989): Zur Frage hydraulischer Berechnungen naturnaher Fließgewässern, Wasserwirtschaft, H.4.
- [11] DVWK (Hrsg.) (1991): Hydraulische Berechnung von Fließgewässern, Merkblatt zur Wasserwirtschaft, Heft 220, Verlag Paul Parey Hamburg und Berlin.
- [12] Schneider (1994): Bautabellen, 11. Auflage, Werner Verlag.
- [13] Hentze/Timm (1967): Wasserbau, B.G. Teubner, Stuttgart.
- [14] DVWK (Hrsg., 1993): Die Auswirkungen des Betriebs von Hochwasserrückhaltebecken auf Lebensräume, Tier- und Pflanzenlebensgemeinschaften. Materialien 4, 94 S.
- [15] Cummins, K. W. (1974): Structure and function of stream ecosystems. BioScience 24, 631-641.
- [16] Vannote, R. L./Minshall, G. W./Cummins, K.W./Sedell, J. R./Cushing, C.E. (1980): The river continuum concept. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 37, 130-137.
- [17] Plachter, H. (1991): Naturschutz. UTB 1563, 463 S.

- [18] Gebler, D. (1990): Naturgemäße Bauweisen von Sohlstufen. Handbuch Wasserbau 3, Ministerium für Umwelt Baden-Württemberg, Stuttgart.
- [19] Plachter, H. (1993): Alpine Wildflüsse. Garten + Landschaft 4, 47-52.
- [20] Mangelsdorf, J./Scheuermann, K. (1980): Flußmorphologie. Oldenbourg. München.
- [21] Plachter, H. (1986): Die Fauna der Kies- und Schotterbänke dealpiner Flüsse und Empfehlungen für ihren Schutz. Ber. ANL 10, 119-147.
- [22] Schiemer, F. (1985): Die Bedeutung von Auegewässern als Schutzzonen für die Fischfauna. Österr. Wasserwirtschaft 37, 239-245.
- [23] Reimer, G. K./Zulka, P (1992): Das Verhalten von Fischen bei Überschwemmungen in den Marchauen. Österr. Fischerei 45 (8/9), 207-212.
- [24] Hofmann, R./Berg, R./Blank, S./Dehus, P./Grimm, R./Rösch, R. (1995): Fische in Baden-Württemberg - Gefährdung und Schutz. Ministerium für Ländlichen Raum, Ernährung, Landwirtschaft und Forsten Bad.-Württ., Stuttgart.
- [25] Jens, G. (1982): Der Bau von Fischwegen. Parey, Hamburg, 93 S.
- [26] Bless, R. (1981): Untersuchungen zum Einfluß von gewässerbaulichen Maßnahmen auf die Fischfauna in Mittelgebirgsbächen. Natur und Landschaft 56, 243-252.
- [27] Bless, R. (1985): Zur Regeneration von Bächen der Agrarlandschaft. SchR. Landschaftspflege Naturschutz Nr. 26.
- [28] Barandun, J. (1990): Auswirkungen von Ausbreitungsbarrieren auf das Vorkommen von Groppen (*Cottus gobio*) - Anregungen für den Artenschutz. Natur und Landschaft 65 (2), 66-68.
- [29] Beckedorf, R./Blohm, H.-P. (1994): Die Bedeutung von Altgewässern für den Fischbestand eines ausgebauten Flußlaufs - eine fischökologische Untersuchung an der Mittelalder. Binnenfischerei in Niedersachsen 2, 35-73.
- [30] Ohde, R./Surholt, B./Glandt, D. (1990): Einfluß wasserbaulicher Maßnahmen auf das Vorkommen substratgebundener Insektenlarven in einem Flachlandbach des Sandmünsterlandes. Wasser + Boden, 2,86-100.
- [31] Press, H. (1959): Stauanlagen und Wasserkraftwerke, Teil II: Wehre, Verlag Wilhelm Ernst & Sohn.
- [32] Deutscher Verband für Wasserwirtschaft (1978): Mitteilungsheft Nr. 4, Wasserbauliches Versuchswesen, Arbeitsausschuß "Wasserbauliches Versuchs- und Meßwesen".
- [33] Franke, P. G. (1974): Hydraulik für Bauingenieure, Sammlung Göschen, Walter de Gruyter.

- [34] Macha, L. (1963): Untersuchung über die Wirksamkeit von Tosbecken, Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft, TU Berlin, Mitteilung Nr. 61, Berlin.
- [35] Rayoun, A. (1960): Die Gesetzmäßigkeit der Kolkbildung hinter unterströmten Wehren unter gezielter Berücksichtigung der Gestaltung eines beweglichen Sturzbettes, Mitteilung aus dem Leichtweiß-Institut für Wasserbau und Grundbau der TH Braunschweig Heft 60/1.
- [36] Hartung, W. (1957): Die Gesetzmäßigkeit der Kolkbildung hinter überströmten Wehren. Ein Beitrag zur Kolkforschung unter gezielter Berücksichtigung der Ausbildungsmöglichkeit eines beweglichen Sturzbettes. Mitteilung aus dem Leichtweiß-Institut für Wasserbau und Grundbau der TH Braunschweig Heft 57/2.
- [37] Schmid, W. (1972): Die allgemeine dreidimensionale Kolkentwicklung unter besonderer Berücksichtigung des Geschiebebetriebs und der Zeit. Dissertation Zürich.
- [38] Garbrecht, G. (1959): Über die Berechnung von Sturzbetten, Zeitschrift Wasserwirtschaft.
- [39] Csallner, U. (1979): Dimensionierung von Tosbecken an Flußwehren, Vortrag im Rahmen des 4. Fortbildungslehrganges für Gewässerausbau des DVWK, Oberrach.
- [40] Kobus, H., Gutachten 86/39, Hydraulische Gestaltung von Hochwasserentlastungsanlagen, Teil 6: Energieumwandlungsanlagen, Stuttgart im April 1987.
- [41] Muth, W. und 7 Mitautoren (1992): Hochwasserrückhaltebecken, Planung, Bau und Betrieb, Expert Verlag.
- [42] Vischer, D./Hager, W.H. (1992): Hochwasserrückhaltebecken, Verlag der Fachvereine Zürich.
- [43] Kobus, H., Gutachten 86/37, Hydraulische Gestaltung von Hochwasserentlastungsanlagen, Teil 4: Bemessungsgrundlagen für Dammscharten und Flutmulden, Stuttgart im Mai 1987.
- [44] Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (1997): Dammscharten in Lockerbauweise bei Hochwasserrückhaltebecken, Handbuch Wasser 2, Band 36.

Anhang

1	Berechnungswerte für die Abflußkurven	A-2
1.1	Berechnungsgrundlagen	A-2
1.2	Berechnungswerte	A-4
1.2.1	Fester Staubalken, Berechnungswerte Fall a	A-4
1.2.2	Fester Staubalken, Berechnungswerte Fall b	A-4
1.2.3	Fester Staubalken mit gesteuerter Regulierklappe Fall a	A-5
1.2.4	Fester Staubalken mit gesteuerter Regulierklappe Fall b	A-5
1.2.5	Selbsttätige Schwingklappe Fall a	A-6
1.2.6	Selbsttätige Schwingklappe Fall b	A-7
2	Ermittlung der Kolkabmessungen	A-8
2.1	Berechnungsgrundlagen	A-8
2.2	Ermittlung der Kolkabmessungen	A-8
2.2.1	Kolkabmessungen Fall a	A-8
2.2.2	Kolkabmessungen Fall b	A-9

1 Berechnungswerte für die Abflußkurven

1.1 Berechnungsgrundlagen

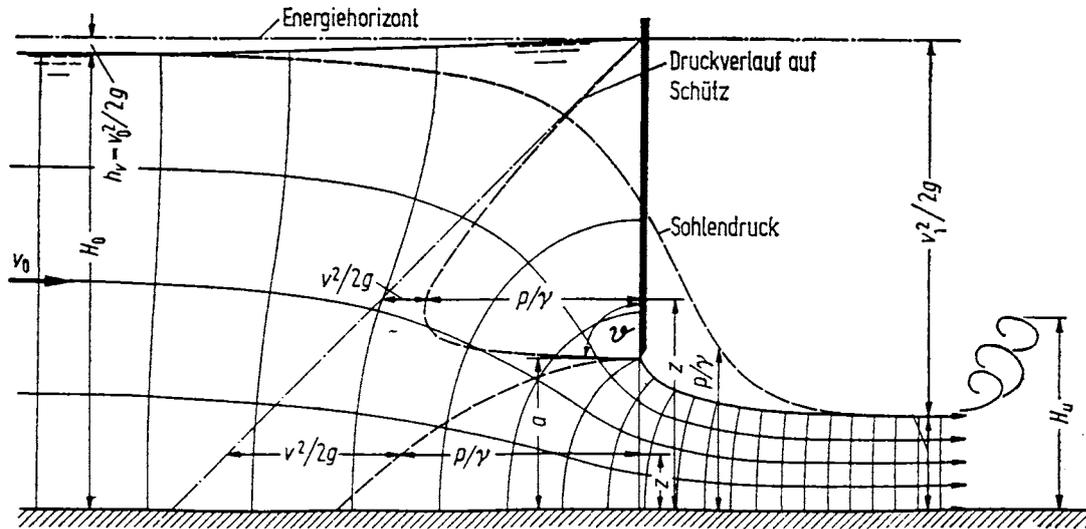


Abb. A-1: Abfluß unter einem Schütz [1].

Die Abflußmenge unter dem Staubalken errechnet sich nach der Beziehung:

$$Q = a \cdot b \cdot \alpha \cdot \chi \cdot \sqrt{2g (H_0 + v_0^2 / 2g)} \quad [13]$$

a Öffnungshöhe

b Öffnungsweite

α Ausflußzahl für Verschlussöffnungen

[13]

ϑ Abgangswinkel ($\vartheta = 90^\circ$)

χ Beiwert für unvollkommenen Ausfluß

[13]

H_0 Stauhöhe

v_0 Anströmgeschwindigkeit (wird vernachlässigt $\rightarrow v_0 = 0$)

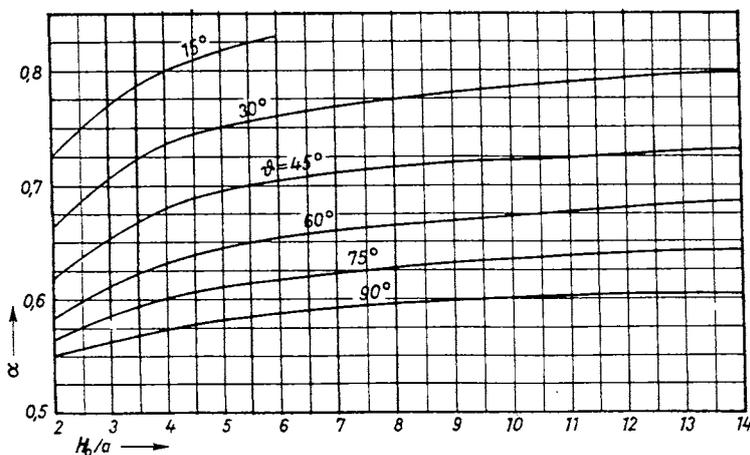


Abb. A-2: Ausflußzahlen α für Verschlussöffnungen [13].

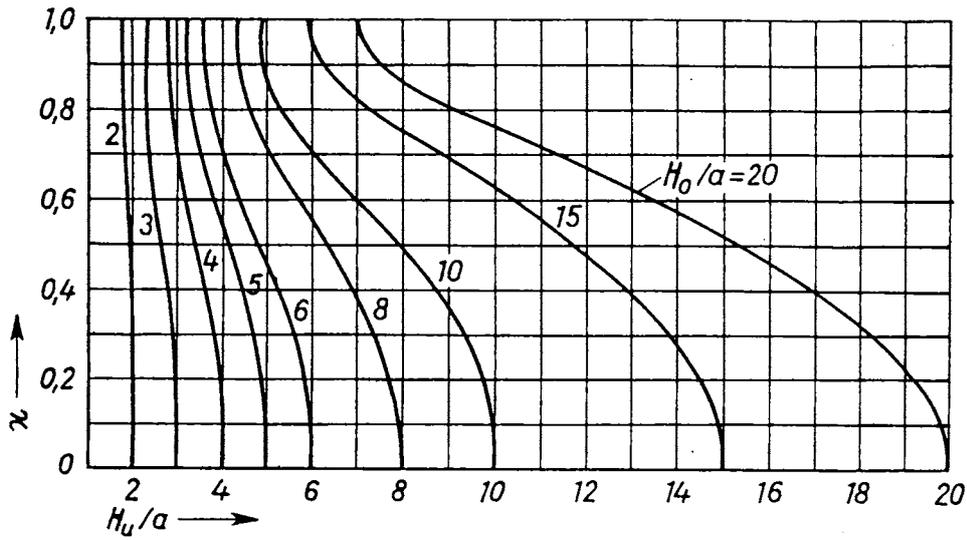


Abb. A-3: χ -Werte für unvollkommenen Ausfluß [13].

Bemessungswerte Fall a:

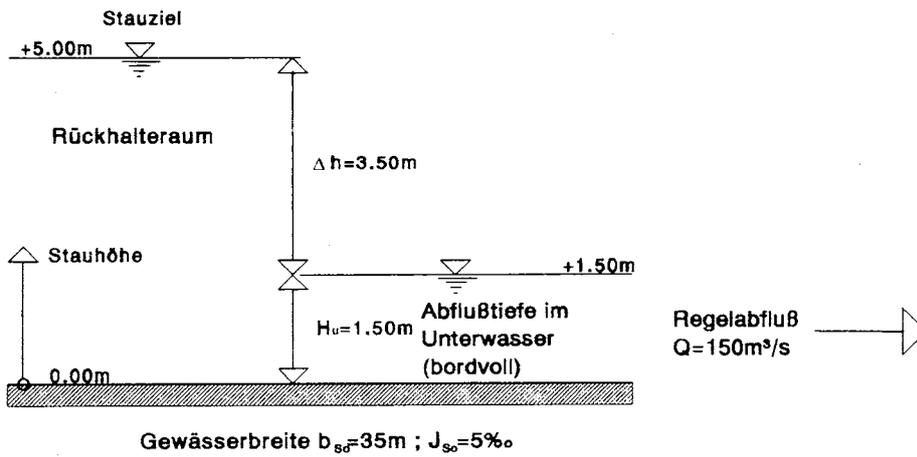


Abb. A-4: Schemaskizze.

Bemessungswerte Fall b:

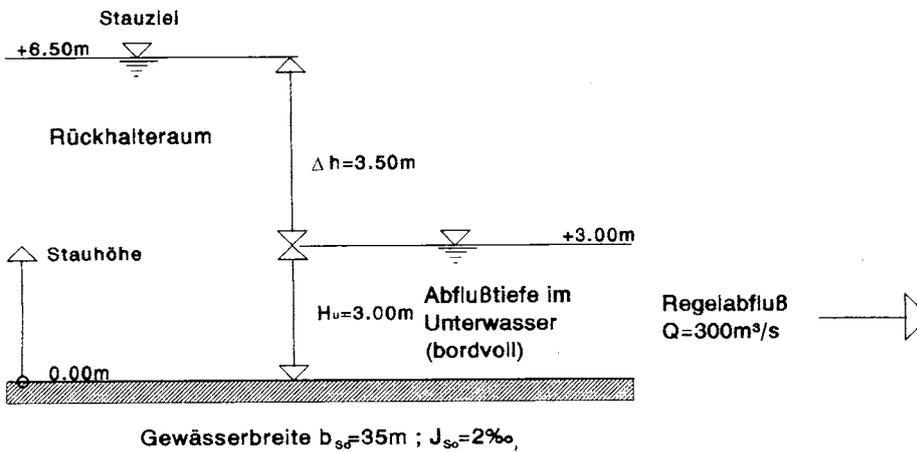


Abb. A-5: Schemaskizze.

1.2 Berechnungswerte

1.2.1 Fester Staubalken, Berechnungswerte Fall a

	Stauhöhe H_o [m]	Öffnungs- höhe a [m]	H_o/a [-]	Ausfluß- zahl α ($\theta = 90^\circ$) [-]	Fließ- tiefe H_u [m]	H_u/a	Beiwert χ [-]	Abfluß Q [m ³ /s]
↑	0,25	0,73			0,25			7
①	0,50	0,73			0,50			23
↓	0,75	0,73			0,75			46
↑	1,00	0,73	1,4	0,55	0,90	1,2	1,0	62
	1,25	0,73	1,7	0,55	0,97	1,3	1,0	70
	1,50	0,73	2,0	0,55	1,02	1,4	1,0	76
	2,00	0,73	2,7	0,56	1,13	1,5	1,0	90
	2,50	0,73	3,4	0,57	1,21	1,6	1,0	102
③	3,00	0,73	4,1	0,58	1,30	1,8	1,0	114
	3,50	0,73	4,8	0,58	1,36	1,9	1,0	123
	4,00	0,73	5,5	0,59	1,43	2,0	1,0	134
	4,50	0,73	6,2	0,59	1,48	2,0	1,0	142
↓	5,00	0,73	6,8	0,59	1,53	2,0	1,0	150

① Freisiegelabfluß im Gewässer

③ vollkommener Ausfluß (nicht rückstaubeinflußt)

1.2.2 Fester Staubalken, Berechnungswerte Fall b

	Stauhöhe H_o [m]	Öffnungs- höhe a [m]	H_o/a [-]	Ausfluß- zahl α ($\theta = 90^\circ$) [-]	Fließ- tiefe H_u [m]	H_u/a	Beiwert χ [-]	Abfluß Q [m ³ /s]
↑	0,25	1,31			0,25			5
	0,50	1,31			0,50			15
①	0,75	1,31			0,75			29
↑	1,00	1,31			1,00			47
↓	1,25	1,31			1,25			68
↑	1,50	1,31	1,1	0,55	1,39	1,1	*1)	80 *2)
②	2,00	1,31	1,5	0,55	1,64	1,3	*1)	106 *2)
↓	2,50	1,31	1,9	0,55	1,87	1,4	0,75	132
↓	3,00	1,31	2,3	0,55	2,35	1,7	0,95	193
↑	3,50	1,31	2,7	0,56	2,49	1,9	1,0	213
	4,00	1,31	3,0	0,56	2,59	2,0	1,0	227
	4,50	1,31	3,4	0,57	2,72	2,1	1,0	246
③	5,00	1,31	3,8	0,57	2,80	2,1	1,0	259
	5,50	1,31	4,2	0,58	2,91	2,2	1,0	276
	6,00	1,31	4,6	0,58	2,99	2,3	1,0	289
↓	6,50	1,31	5,0	0,58	3,06	2,3	1,0	300

① Freisiegelabfluß im Gewässer

② unvollkommener Ausfluß (rückstaubeinflußt)

③ vollkommener Ausfluß (nicht rückstaubeinflußt)

*1) keine χ -Werte im Diagramm ablesbar

*2) Werte interpoliert

1.2.3 Fester Staubalken mit gesteuerter Regulierklappe Fall a

	Stauhöhe Ho [m]	Öffnungs- höhe a [m]	Ho/a [-]	Ausfluß- zahl α ($\theta = 90^\circ$) [-]	Fließ- tiefe Hu [m]	Hu/a	Beiwert χ [-]	Abfluß Q [m³/s]
↑								
①	0,50	> 1,50			0,50			23
	1,00	> 1,50			1,00			74
↓	1,50	> 1,50			1,50			145
↑	2,00	1,24	1,6	0,55	1,53	1,2	1,0	150
	2,50	1,11	2,3	0,55	1,53	1,4	1,0	150
	3,00	1,00	3,0	0,56	1,53	1,5	1,0	150
③	3,50	0,91	3,8	0,57	1,53	1,7	1,0	150
	4,00	0,83	4,8	0,58	1,53	1,8	1,0	150
	4,50	0,79	5,7	0,58	1,53	1,9	1,0	150
↓	5,00	0,73	6,8	0,59	1,53	2,1	1,0	150

① Freispiegelabfluß im Gewässer

③ vollkommener Ausfluß (nicht rückstaubeinflußt)

1.2.4 Fester Staubalken mit gesteuerter Regulierklappe Fall b

	Stauhöhe Ho [m]	Öffnungs- höhe a [m]	Ho/a [-]	Ausfluß- zahl α ($\theta = 90^\circ$) [-]	Fließ- tiefe Hu [m]	Hu/a	Beiwert χ [-]	Abfluß Q [m³/s]
↑								
	0,50	> 3,00			0,50			15
	1,00	> 3,00			1,00			47
①	1,50	> 3,00			1,50			92
	2,00	> 3,00			2,00			148
	2,50	> 3,00			2,50			215
↓	3,00	> 3,00			3,00			291
↑	3,50	1,88	1,9	0,55	3,06	1,6	1,0	300
	4,00	1,76	2,3	0,55	3,06	1,7	1,0	300
	4,50	1,63	2,8	0,56	3,06	1,9	1,0	300
③	5,00	1,55	3,2	0,56	3,06	2,0	1,0	300
	5,50	1,45	3,8	0,57	3,06	2,1	1,0	300
	6,00	1,36	4,4	0,58	3,06	2,2	1,0	300
↓	6,50	1,31	5,0	0,58	3,06	2,3	1,0	300

① Freispiegelabfluß im Gewässer

③ vollkommener Ausfluß (nicht rückstaubeinflußt)

1.2.5 Selbsttätige Schwingklappe Fall a

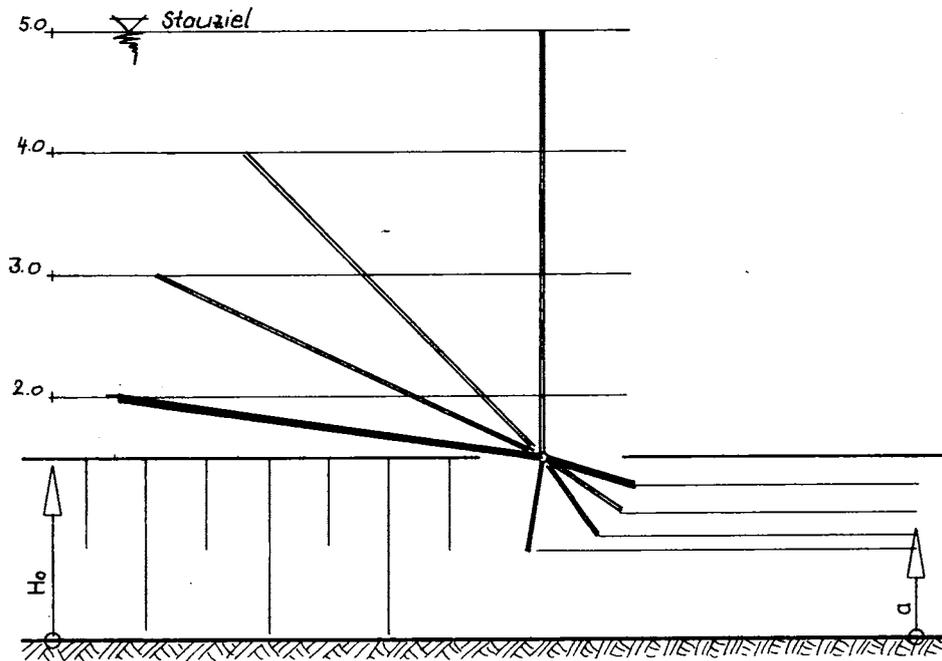


Abb. A-6: Geometrie.

	Stauhöhe H_0 [m]	Öffnungs- höhe a [m]	H_0/a [-]	Ausfluß- zahl α ($\beta = 90^\circ$) [-]	Fließ- tiefe H_u [m]	H_u/a	Beiwert χ [-]	Abfluß Q [m³/s]
↑								
①	0,50	1,40			0,50			23
	1,00	1,40			1,00			74
↓	1,50	1,40						
↑	2,00	1,25	1,6	0,55				150
	3,00	1,05	2,9	0,56	1,58	1,5	1,0	158
③	4,00	0,85	4,7	0,58	1,55	1,8	1,0	153
↓	5,00	0,75	6,8	0,59	1,55	2,1	1,0	153

① Freispiegelabfluß im Gewässer

③ vollkommener Ausfluß (nicht rückstaubeeinflusst)

1.2.6 Selbsttätige Schwingklappe Fall b

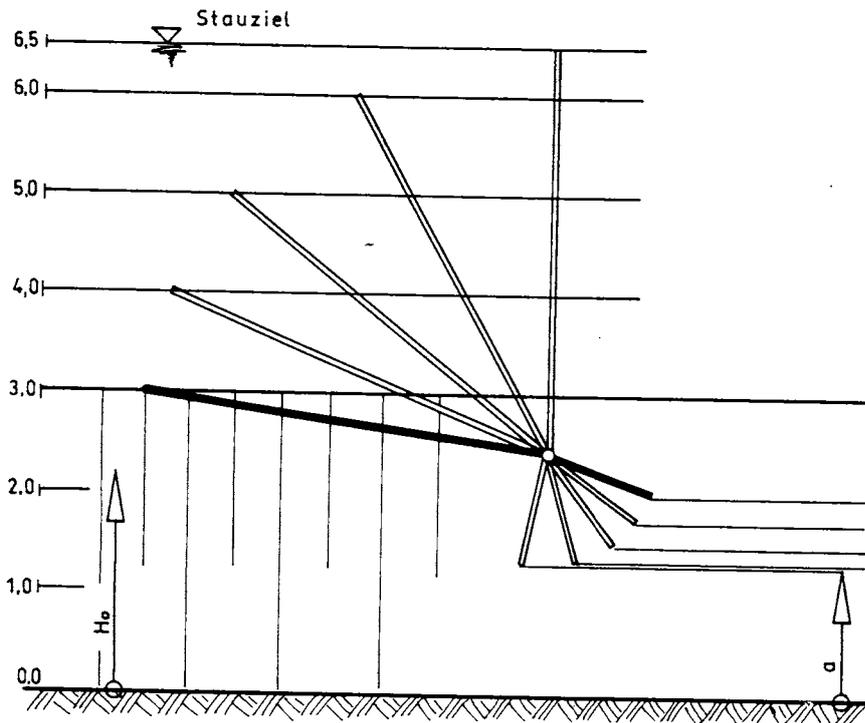


Abb. A-7: Geometrie.

	Stauhöhe H_o [m]	Öffnungs- höhe a [m]	H_o/a [-]	Ausfluß- zahl α ($\vartheta \neq 90^\circ$) [-]	Fließ- tiefe H_u [m]	H_u/a	Beiwert χ [-]	Abfluß Q [m³/s]
①	0,50				0,50			15
	1,00	1,85			1,00			47
▼	1,50				1,50			92
▲	2,00	1,85			2,00			148
	3,00	1,85	1,9	0,55	2,89	1,6	1,0	273
③	4,00	1,75	2,3	0,55	3,04	1,7	1,0	298
	5,00	1,50	3,3	0,56	3,00	2,0	1,0	291
▼	6,00	1,35	4,4	0,58	3,04	2,3	1,0	297
	6,50	1,30	5,0	0,58	3,04			298

① Freisiegelabfluß im Gewässer

③ vollkommener Ausfluß (nicht rückstaubeinflußt)

2 Ermittlung der Kolkabmessungen

2.1 Berechnungsgrundlagen

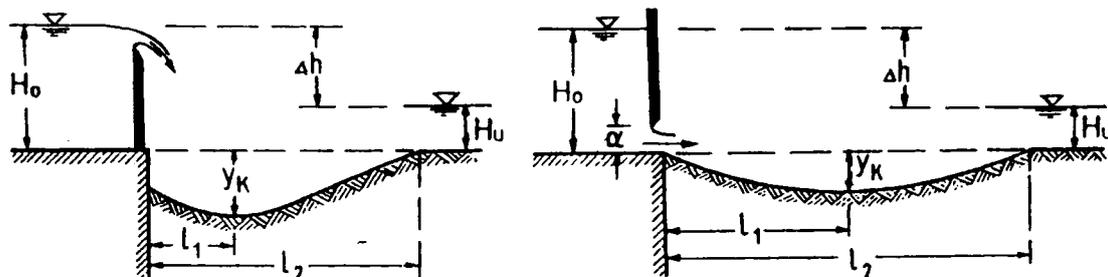


Abb. A-8: Endformen des Kolkes [33].

Berechnung der Kolkabmessungen nach folgender Beziehung [33]:

Kolktiefe:

$$y = y_K + H_u$$

$$y = B \cdot h_{gr} \cdot \sqrt{\Delta h / d_{90}}$$

Kolklänge:

bei Überfall $l_1 \sim 0,5 \cdot y$, $l_2 \sim 1,8 y$

bei Ausfluß $l_1 \sim 3,0 \cdot y$, $l_2 \sim 6,0 y$

mit:

h_{gr} Grenztiefe

$B = 1$ (Beiwert), [33]

Δh Wasserspiegeldifferenz zwischen Ober- und Unterwasser

d_{90} Korndurchmesser bei 90% Siebdurchgang

2.2 Ermittlung der Kolkabmessungen

2.2.1 Kolkabmessungen Fall a

a.) Grenztiefe:

Sohlbreite $b_{SO} = 35 \text{ m}$

Böschungsneigung $(1 : m) m = 1$

Regelabfluß $Q = 150 \text{ m}^3/\text{s}$

$h_{gr} = \sqrt[3]{Q^2 / g \cdot b_{SO}^2}$ gültig für Rechteck- und breite Trapezquerschnitte

$$h_{gr} = \sqrt[3]{150^2 / g \cdot 35^2} = 1,23 \text{ m}$$

b.) Ermittlung der Kolktiefe

$$y = B \cdot h_{gr} \sqrt{(\Delta h / d)}$$

$$h_{gr} = 1,23 \text{ m}$$

$$\Delta h = 3,50 \text{ m, siehe Ziffer 1.1}$$

$$\text{Korndurchmesser } d_{90} = 1,00 \text{ m (gewählt)}$$

$$y = 1 \cdot 1,23 \sqrt{[3,50 / 1,00]} = 2,30 \text{ m}$$

$$y_k = y - H_u$$

$$H_u = \text{Fließtiefe im Unterwasser (= 1,50 m)}$$

$$y_k = 2,30 \text{ m} - 1,50 \text{ m} = 0,80 \text{ m}$$

c.) Ermittlung der Kolklänge (Ausfluß)

$$l_1 \sim 3,0 \cdot y = 3,0 \cdot 2,30 = 6,90 \text{ m} \quad \sim 7 \text{ m}$$

$$l_2 \sim 6,0 \cdot y = 6,0 \cdot 2,30 = 13,8 \text{ m} \quad \sim 14 \text{ m}$$

2.2.2 Kolkabmessungen Fall b

b.) Grenztiefe:

$$\text{Sohlbreite} \quad b_{SO} = 35 \text{ m}$$

$$\text{Böschungsneigung} \quad (1 : m) \quad m = 1$$

$$\text{Regelabfluß} \quad Q = 300 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$h_{gr} = \sqrt[3]{Q^2 / g \cdot b_{SO}^2} \quad \text{gültig für Rechteck- und breite Trapezquerschnitte}$$

$$h_{gr} = \sqrt[3]{300^2 / g \cdot 35^2} = 1,95 \text{ m}$$

b.) Ermittlung der Kolktiefe:

$$y = B \cdot h_{gr} \sqrt{\Delta h / d}$$

$$h_{gr} = 1,95$$

$$\Delta h = 3,50 \text{ m, siehe Ziffer 1.1}$$

$$\text{Korndurchmesser } d_{90} = 1,00 \text{ m (gewählt)}$$

$$y = 1 \cdot 1,95 \sqrt{\frac{3,50}{1,00}} = 3,64 \text{ m} \quad \sim 3,70 \text{ m}$$

$$H_u = \text{Fließtiefe im Unterwasser (= 3,0 m)}$$

$$y_k = y - H_u = 3,64 - 3,00 = 0,64 \sim 0,70 \text{ m}$$

c.) Ermittlung der Kolklänge (Ausfluß)

$$l_1 \sim 3,0 \cdot y = 3,0 \cdot 3,70 = 11,1 \text{ m} \quad \sim 11 \text{ m}$$

$$l_2 \sim 6,0 \cdot y = 6,0 \cdot 3,70 = 22,2 \text{ m} \quad \sim 22 \text{ m}$$



Titel	Band	Jahr der Herausgabe	Preis (falls lieferbar)
Gewässerkundliche Beschreibung Abflußjahr 1990	1	1991	vergriffen
Bauweisen des naturnahen Wasserbaus Umgestaltung der Enz in Pforzheim	2	1991	30,00 DM
Gewässerentwicklungsplanung - Leitlinien -	3	1992	30,00 DM
Übersichtskartierung der morphologischen Naturnähe von Fließgewässern (Methode) - Vorinformation -	4	1992	30,00 DM
Regionalisierung hydrologischer Parameter für Niederschlag-Abfluß-Berechnungen - Grundlagenbericht - - Programmdiskette -	5	1992	vergriffen (50,00 DM) (40,00 DM)
Ökologie der Fließgewässer Niedrigwasser 1991	6	1992	40,00 DM
Biologisch-ökologische Gewässeruntersuchung - Arbeitsanleitung - - Programmdiskette -	7	1992	50,00 DM 40,00 DM
Verkrautung von Fließgewässern Einflußfaktoren, Wechselwirkungen, Kontrollmaßnahmen - Literaturstudie -	8	1993	vergriffen (21,00 DM)
Gewässerkundliche Beschreibung Abflußjahr 1992	9	1993	30,00 DM
Kontrolle des Japan-Knöterichs an Fließgewässern I. Erprobung ausgewählter Methoden	10	1994	30,00 DM
Gewässerrandstreifen Voraussetzung für die naturnahe Entwicklung der Gewässer	11	1994	30,00 DM
Gewässerkundliche Beschreibung Hochwasser Dezember 1993	12	1994	25,00 DM

Titel	Band	Jahr der Herausgabe	Preis (falls lieferbar)
Handbuch der stehenden Gewässer in Baden-Württemberg Regierungsbezirke Freiburg, Karlsruhe und Stuttgart	13	1994	vergriffen
Handbuch der stehenden Gewässer in Baden-Württemberg Regierungsbezirk Tübingen	14	1994	vergriffen
Übersichtskartierung des morphologischen Zustands der Fließgewässer in Baden-Württemberg 1992/1993	15	1994	25,00 DM
Umweltverträglichkeitsprüfung bei Wasserbauvorhaben nach § 31 WHG Leitfaden Teil I: Verfahren	16	1994	vergriffen (25,00 DM)
Morphologischer Zustand der Fließgewässer in Baden-Württemberg Auswertung und Interpretation der Ergebnisse der Übersichtskartierung 1992/93	17	1995	25,00 DM
Kontrolle des Japan-Knöterichs an Fließgewässern II. Untersuchungen zu Biologie und Ökologie der neophytischen Knöterich-Arten	18	1995	30,00 DM
Gesamtkonzept naturnahe Unterhaltung von Fließgewässern Möglichkeiten, Techniken Perspektiven	19	1995	15,00 DM
Naturnahe Umgestaltung von Fließgewässern Teil III: Dokumentation der Entwicklung ausgewählter Pilotvorhaben, erste Zwischenberichte der Erfolgskontrolle	20	1995	30,00 DM
Umweltverträglichkeitsprüfung bei Wasserbauvorhaben nach § 31 WHG Leitfaden Teil III: Bestimmung des Untersuchungsrahmens, Untersuchungsmethoden	21	1995	24,00 DM
Schadstoffdatei Rhein Dokumentation	22	1996	vergriffen
Schadstofftransport bei Hochwasser Neckar, Rhein und Donau im Januar 1995	23	1996	30,00 DM

Titel	Band	Jahr der Herausgabe	Preis (falls lieferbar)
Schwermetalle in den Sedimenten der Fließgewässer Baden-Württembergs	24	1996	15,00 DM
Bauweisen des naturnahen Wasserbaus Dokumentation und Bewertung am Pilotprojekt Enz/Pforzheim 1990 - 1995	25	1996	21,00 DM
Entwicklung der Fließgewässerbeschaffenheit - chemisch, physikalisch, biologisch - Stand 1995	26	1996	21,00 DM
Das Abflußjahr 1994 - ein Hochwasserjahr	27	1996	30,00 DM
Pilotprojekt "Konfliktarme Baggerseen (KaBa)" - Statusbericht -	28	1997	12,00 DM
Meßnetz-Zentrale Meßnetzprogramm	29	1996	30,00 DM
Pappeln an Fließgewässern	30	1996	30,00 DM
Rechtsgrundlagen der Gewässerunterhaltung Teil I Überblick	31	1996	15,00 DM
Baggerseeuntersuchungen in der Oberrheinebene Auswertung der Sommerbeprobung 1994 und Frühjahrsbeprobung 1995	32	1997	15,00 DM
Nährstoff- und Schadstoffeinträge in Baggerseen (Literaturstudie)	33	1996	30,00 DM
Biologische Freiwasseruntersuchungen Rhein- Neckar-Donau - Planktonentwicklung - Bioaktivitäten - Stoffumsätze - 1994	34	1997	12,00 DM
Untersuchung der gentoxischen Wirkung von Gewässern und Abwässern	35	1997	18,00 DM
Dammscharten in Lockerbauweise bei Hochwasserrückhaltebecken	36	1997	24,00 DM

Titel	Band	Jahr der Herausgabe	Preis (falls lieferbar)
Ökologische Bewertung von Fließgewässern in der Europäischen Union und anderen Ländern (Literaturstudie)	37	1997	15,00 DM
Saisonale, horizontale und vertikale Zooplanktonverteilungsmuster Eine Fallstudie für den Grötzingen Baggersee	38	1997	12,00 DM
Methodologische Untersuchungen zur Ermittlung des Biochemischen Sauerstoffbedarfs des Sediments und des Wasserkörpers in den Baggerseen der Oberrheinebene	39	1997	12,00 DM
Biologische Freiwasseruntersuchungen in Rhein, Neckar, Donau. Berichtsjahr 1995-1996	40	1997	12,00 DM
Regionale Bachtypen in Baden-Württemberg Arbeitsweisen und exemplarische Ergebnisse an Keuper- und Gneisbächen	41	1997	36,00 DM
Statistische Untersuchung langfristiger Veränderungen des Niederschlags in Baden-Württemberg	42	1997	27,00 DM
Studie über ökohydraulische Durchlaßbauwerke für regulierbare Hochwasserrückhalteräume	43	1998	18,00 DM
Gewässerentwicklung in Baden-Württemberg Leitfaden Teil II Arbeitsanleitung zur Erstellung von Gewässerentwicklungskonzepten - Loseblattsammlung -	44	in Vorbereitung	



LANDESANSTALT FÜR
UMWELTSCHUTZ
BADEN-WÜRTTEMBERG