

Badische Landesbibliothek Karlsruhe

Digitale Sammlung der Badischen Landesbibliothek Karlsruhe

Die Ausbildung der Überfälle beim Abfluss von Wasser über Wehre nebst Beschreibung der Anlage zur Beobachtung von Überfällen im Flussbaulaboratorium zu Karlsruhe

Rehbock, Theodor

[Leipzig], [1909]

1. Der Wasserabfluss bei Schusswehren

[urn:nbn:de:bsz:31-289019](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:31-289019)

oder auf das sie schützende Sturzbett hinabfällt, wobei zwischen dem Wehrkörper und dem fallenden Wasserstrahl ein mit Wasser oder ein teils mit Wasser, teils mit Luft gefüllter Raum vorhanden ist.

Stufenwehre sind feste Wehre, bei denen die Abfallwand aus zwei oder mehreren einzelnen Teilen besteht, die durch wagerechte oder nahezu wagerechte Flächen von einander getrennt sind.

1. Der Wasserabfluß bei Schußwehren.

Ist der Abfallboden eines Wehres genügend flach geneigt und durch eine nicht zu scharf gebogene Fläche mit der Wehrkrone verbunden, so bleibt der über das Wehr fließende Wasserstrahl bei jeder Wasserführung mit dem Wehrkörper in Berührung. Sämtliche Wasserfäden besitzen dann eine mit der Abfallwand des Wehres im wesentlichen gleichlaufende Richtung. Der Strahl heißt in diesem Falle aufliegend, und das Wehr ist ein Schußwehr.

Der sich bei einem Schußwehr stets bildende **aufliegende Strahl** besitzt nicht allenthalben die gleiche Stärke. Infolge der mit der Fallhöhe zunehmenden Geschwindigkeit des Wassers muß vielmehr seine Stärke nach unten hin abnehmen, wie Abb. 1

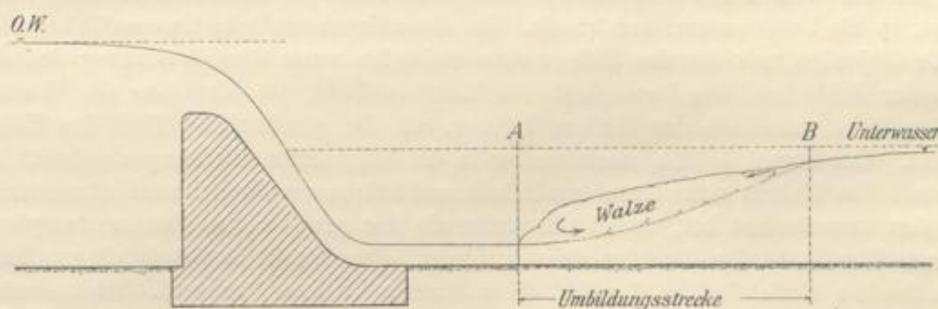


Abb. 1. Querschnitt durch ein Schußwehr.

zeigt. Die Geschwindigkeit des Wassers an einem Punkte des Strahles ist dabei nahezu gleich derjenigen Geschwindigkeit, welche ein Wassertropfen erreichen würde, wenn er von der Spiegelhöhe des Oberwassers unter dem Einfluß der Schwerkraft frei lotrecht hinuntergefallen wäre.

Geht die Wehrkrone ohne Übergangsfläche scharfkantig in den Abschlußboden über, so bleibt der Strahl namentlich bei großen Überfallhöhen nicht aufliegend, da die mit beträchtlicher Geschwindigkeit über die Wehrkrone hinfließenden Wasserfäden nicht plötzlich aus ihrer Richtung abgelenkt werden können. Der Strahl hebt sich vielmehr infolge seines Beharrungsvermögens vom Wehrkörper ab, um sich erst weiter unterhalb wieder auf den Abschlußboden aufzulegen. In diesem Fall verliert das Wehr den Charakter eines reinen Schußwehres. Je flacher geneigt der Abfallboden ist, um so früher wird der Strahl bei einem Wehr mit scharfer Überfallkante unter dem Einfluß der Schwerkraft wieder das Wehr berühren. Der Raum zwischen dem oberen Teil des Abschlußbodens und dem Wasserstrahl ist dabei mit Luft oder ganz oder zum Teil mit einer Wasserwalze mit zur Wehrrichtung gleichlaufender Achse ausgefüllt. Legt sich der abgehobene Wasserstrahl, wie es bei Wehren mit steiler Abfallwand gewöhnlich der Fall ist, überhaupt nicht mehr auf den Wehrkörper auf

so befindet sich zwischen dem Wehrkörper und dem Strahle stets eine Wasserwalze, die auf dem Flußbett oder auf dem das Flußbett schützenden Sturzbett aufruhet und den Raum unter dem Strahle ganz oder teilweise ausfüllt. Das Wehr geht in diesem Falle in ein reines Sturzwehr über. Füllt dabei die Wasserwalze den Raum unter dem Strahl vollständig aus, so kann man bei oberflächlicher Betrachtung der Erscheinung leicht zu der Ansicht kommen, daß der Wasserstrahl sich nicht vom Wehre trennt und nach unten an Stärke zunimmt. Bei genauerer Untersuchung zeigt sich indessen, daß auch in diesem Fall der eigentliche Strahl, der den Abfluß des Wassers bewirkt, sich vom Wehrkörper löst und nach unten an Stärke abnimmt, und daß die scheinbare Zunahme der Strahlstärke auf die Wasserwalze zwischen dem Strahl und dem Wehrkörper zurückzuführen ist, die nach unten hin an Stärke erheblich zunimmt. Die Abb. 13, 14, 21 und 22 auf Taf. III zeigen dies bei Wehren mit lot-rechter Abfallwand.

Der sich bei den Schußwehren bildende aufliegende Strahl wird am Fuße des Wehres je nach der Ausbildung des unteren Teiles des Abschlußbodens entweder plötzlich oder allmählich in die Richtung der Sohle der Unterwasserrinne bzw. des Sturzbettes abgelenkt, wobei sich die Geschwindigkeit des Wassers nur wenig verringert. Das Wasser schießt demnach am Fuß des Wehres mit einer Geschwindigkeit, die der beim freien Fall bei der nämlichen Fallhöhe erreichten nahezu gleichkommt, in die Unterwasserrinne hinein. Da diese Geschwindigkeit wesentlich größer ist, als diejenige, mit der das Unterwasser weiterhin unter der Einwirkung des Gefälles der Sohle und der Rauigkeit des Bettes abfließt, ist die Höhe des Wasserstrahles dicht unterhalb des Wehres kleiner, als die gewöhnliche Tiefe des Unterwassers. Der Strahl behält, nachdem er in die wagerechte Richtung abgelenkt ist, unterhalb des Wehres seine Geschwindigkeit und Stärke gewöhnlich noch eine Strecke weit fast unverändert bei, wobei die tiefer als der gewöhnliche Unterwasserspiegel liegende Oberfläche des Strahles sichtbar bleibt. Der Strahl besitzt in diesem Falle einen freien Fuß. In Abb. 1 reicht diese Strecke bis zum Punkte A. Stromabwärts von Punkt A aber findet unter dem Einfluß des Unterwassers und der auf dem Strahle sich bildenden Wasserwalze eine schnelle Abnahme der Geschwindigkeit auf diejenige des Unterwassers statt, wobei die Strahlstärke auf die Tiefe des Unterwassers anwächst.

Auf der Umbildungsstrecke steigt die Oberfläche des Strahles zuweilen sehr erheblich an. Die mittlere Steigung der Oberfläche des Strahles auf der Strecke A—B (Abb. 1) wurde in einigen Fällen zu etwa 1:5 ermittelt. Das Wasser fließt demnach nach dem üblichen Sprachgebrauch auf dieser Strecke steil bergauf.

Die Oberfläche des Strahles selbst ist auf der Umbildungsstrecke indessen nicht sichtbar. Sie ist vielmehr durch eine Wasserwalze verdeckt, die von der Oberfläche des Strahles aus gespeist wird. Das an der Oberfläche dieser flachen Walze stromaufwärts fließende Wasser wird durch das unter ihm stromabwärts durchschießende Wasser des eigentlichen Strahles, bevor es zum Punkte A gelangt, zum Stehen gebracht und dann im unteren Teile der Walze stromabwärts mitgerissen, bis es unter dem Einfluß der Schwere, ehe es den Punkt B erreicht, auf seiner geneigten Unterlage wiederum stromaufwärts zurückzufließen beginnt. Dabei tritt das Bild einer vom Strahle getragenen und von ihm in drehende Bewegung versetzten Wasserwalze auf, welche die Umbildungsstrecke des Strahles verdeckt. Über die Lage, die Länge und das Gefälle der Umbildungsstrecke bei verschiedenen Geschwindigkeiten des Strahles

und bei verschiedenen Wassertiefen des Unterwassers und darüber, wie stark die Speisung der Walze vom Strahle her in einer bestimmten Zeit ist, liegen seither noch keine abgeschlossenen Beobachtungen vor¹⁾, obschon die Art der Rückbildung des Strahles wegen des Einflusses auf die Ausbildung des Sturzbettes von praktischer Bedeutung ist.

Besonders deutlich tritt das stromaufwärts gerichtete Ende der Wasserwalze bei A in die Erscheinung, weil die Wasserwalze hier mit einem steilen Absturz endet, an dem das Wasser sich in wallender Bewegung befindet. Dieser Absturz wird Wassersprung genannt, weil die Oberfläche des Wassers hier mit einem plötzlichen Sprung stromabwärts ansteigt.

Der Wassersprung liegt bei sonst gleichen Verhältnissen um so weiter vom Wehrfuß entfernt, je größer die Menge und die Fallhöhe des abfließenden Wassers und je kleiner die Unterwassertiefe ist. Bei abnehmenden Wassermengen oder Fallhöhen oder bei zunehmender Unterwassertiefe rückt der Wassersprung daher immer näher an das Wehr heran. Berührt endlich das stromaufwärts gerichtete Ende der Wasserwalze die Oberfläche des auf dem Abschlußboden herunterschießenden Wasserstrahles, so verschwindet der Wassersprung. Am Fuße des Überfalles wird dann nur noch ein allmähliches Ansteigen des Wasserspiegels stromabwärts und eine stromaufwärts gerichtete Oberflächenströmung wahrgenommen, die auch in diesem Falle das Vorhandensein einer auf dem Strahle liegenden Wasserwalze anzeigen. (Abb. 2.) Der Fuß des fallenden Strahles ist durch die Wasserwalze verdeckt. Bei beträchtlicher Unterwassertiefe, namentlich aber dann, wenn der Unterwasserspiegel über der Wehrkrone liegt, wenn demnach das Wehr als Grundwehr wirkt, kann das Gegengefälle unbedeutend werden und sich der Wahrnehmung fast ganz entziehen. Die Wasserwalze besitzt dann einen großen Querschnitt und dreht sich entsprechend langsam. Durch die stromaufwärts gerichtete Oberflächenströmung ist sie aber auch in diesem Fall leicht nachweisbar.

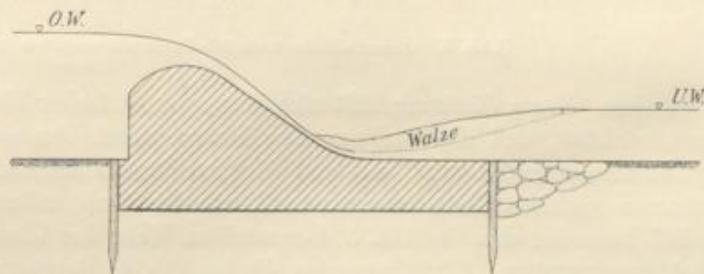


Abb. 2. Querschnitt durch ein Schußwehr.

Liegt am Fuße eines Schußwehres ein unter die Sohle der Unterwasserrinne hinunterreichendes Sturzbecken (Wasserkissen), das die Aufgabe hat, den über das Wehr abschießenden Strahl vom Flußbett abzuheben und dadurch die Angriffe auf die Flußsohle unterhalb des Wehres zu verringern, so kann sich die Umbildung des Strahles zum gleichmäßigen Unterwasserstrom je nach der Querschnittsgestalt des Sturzbeckens und der Stärke, Geschwindigkeit und Richtung des abschießenden Strahles in verschiedener Weise vollziehen. Die auf der Umbildungsstrecke auftretende Erscheinung wird man aber auch hierbei unschwer klarlegen können, wenn

¹⁾ Die im Flußbaulaboratorium zu Karlsruhe in Angriff genommenen Untersuchungen konnten noch nicht zum Abschluß gebracht werden, da sich für dieselben eine Verlängerung der Versuchsrinne als nötig herausstellte, die erst kürzlich fertiggestellt werden konnte.

man den Wasserquerschnitt in den eigentlichen, die Wasserfortleitung bewirkenden Strahl und in Wasserwalzen zerlegt, die bei dem Abflußvorgange nur eine untergeordnete Rolle spielen. Solche Wasserwalzen können bei vertieften Sturzbecken auf der Umbildungsstrecke entweder nur über dem Strahl, oder nur unter dem Strahl oder endlich über und unter dem Strahle auftreten. Ein Beispiel der zuletzt genannten Art mit zwei Wasserwalzen über und einer Wasserwalze unter dem Strahle zeigt Abb. 3. Die Drehungsrichtung der Walzen ist in der Abbildung durch Pfeile

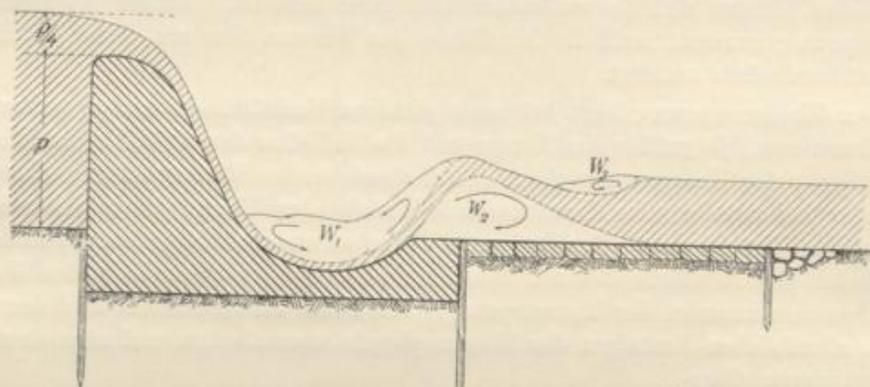


Abb. 3. Querschnitt durch ein Schußwehr mit vertieftem Sturzbecken.

angegeben. Diese Richtung läßt sich immer in einfacher Weise festlegen, wenn man berücksichtigt, daß die Drehung der Walzen durch den an ihnen vorbeifließenden Strahl hervorgerufen wird, und daß die dem Strahle zugekehrte Seite der Walze sich daher im gleichen Sinne bewegen muß, wie der Strahl selbst. Bei stärkerem Wasserabfluß kann bei dem in Abb. 3 dargestellten Wehr der Überfall sich auch noch verwickelter gestalten. Tritt zunächst die in Abb. 4a dargestellte Form des Überfalles

Abb. 4a.

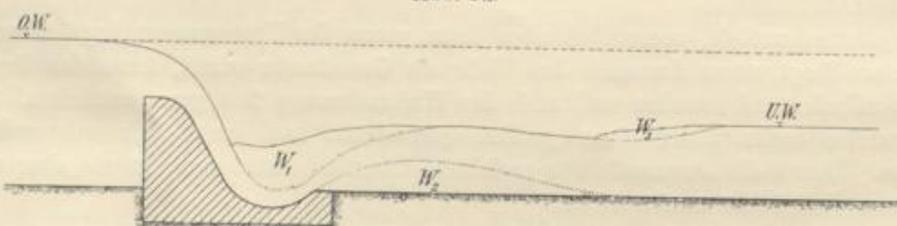


Abb. 4b.

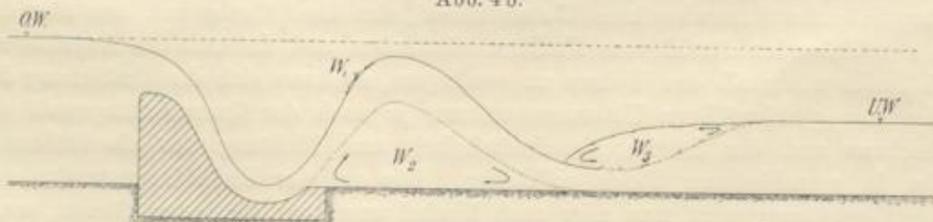


Abb. 4. Ausbildung des Überfalles bei einem Schußwehr mit Sturzbecken.

auf, welche der in Abb. 3 gezeigten verwandt ist, insofern bei ihr drei ähnlich gelagerte Walzen auftreten, so wird bald durch die Gewalt des in das Sturzbecken ein-

schießenden Wassers die Wasserwalze W_1 gänzlich fortgerissen. Der Strahl hebt sich gleichzeitig über der Walze W_2 , die an Höhe stark zunimmt, hoch empor und zeigt einige Zeit hindurch die in Abb. 4b ersichtliche Form eines Wasserberges mit beiderseitigen steilen Begrenzungen. Dieser Wasserberg überschlägt sich dann infolge der ständig zunehmenden Steilheit seiner dem Wehr zugekehrten Oberfläche stromaufwärts, wobei das in das vertiefte Sturzbecken fallende Wasser von neuem die auf dem Strahle liegende Wasserwalze W_1 bildet, während der Strahl wieder die gestreckte Form der Abb. 4a annimmt. Allmählich wird dann diese Walze wieder fortgerissen, und der Strahl bäumt sich wieder zu einem hohen Wasserberge empor. Der ganze Vorgang kann sich in regelmäßiger und schneller Folge wiederholen. Bei Modellversuchen an einem 18 cm hohen Modellwehre bei 10,5 cm Überfallhöhe und einer Unterwassertiefe von 14,5 cm trat der Wasserberg in Zwischenräumen von 9,5 Sekunden bei einem Wehre von 22 cm Höhe aber in Zwischenräumen von 12 Sekunden auf. Bei nur wenig geänderten Wasserständen des Ober- oder Unterwassers wurde die wechselnde Gestalt des Überfallbildes dagegen nicht mehr beobachtet, indem der hohe Wasserberg nicht mehr entstand.

Die verschiedenartige Ausbildung, welche die Überfälle bei nur unwesentlich geänderter Wasserführung zeigen können, und die verschiedene Größe der dabei auftretenden Angriffe zwingen zu großer Vorsicht bei der Ausbildung der Sturzbetten.

Die Modellversuche haben deutlich gezeigt, daß ein vertieftes Sturzbecken insofern günstig wirkt, als es die Entfernung zwischen dem Wehre und dem Ende der Rückbildungsstrecke abkürzt und den schnell fließenden Strahl vom Flußbett am Fuß des Wehres abhebt. Dadurch kann eine Einschränkung der Breite des Sturzbettes ermöglicht werden. Die Angriffe auf einzelne Teile des Sturzbettes können allerdings die bei einem ebenen Sturzbette auftretenden übertreffen.

Soll die Gewalt des auf einem Schußwehre abfließenden Wassers in dem vertieften Wasserbecken selbst vollständig gebrochen werden, was vielfach als der Zweck dieser Wasserbecken bezeichnet wird, so muß dasselbe eine viel größere Breite und Tiefe besitzen, wie es bei dem in den Abb. 3 und 4 dargestellten Wehre der Fall ist. Die Kosten des Wehres werden indessen dadurch infolge der erforderlichen tieferen Gründung nicht unwesentlich vermehrt.

Aus der Art des Wasserabflusses lassen sich Schlüsse auf die Angriffe ziehen, denen die Abfallwand und das Sturzbett eines Wehres von bestimmter Gestalt ausgesetzt sind.

Da bei den Schußwehren das Wasser den Abschlußboden in seiner ganzen Ausdehnung überflutet, ist derselbe allenthalben der schleifenden Wirkung des Wassers und der von ihm mitgeführten festen Stoffe ausgesetzt. Sehr schwere Angriffe wirken indessen auf einen gradlinigen oder schwach gekrümmten Abschlußboden meist auch dann nicht ein, wenn schwere Geschiebe, Eis oder Holz mit über das Wehr gerissen werden, insofern diese Körper nur unter spitzen Winkeln auf den Wehrkörper auftreffen, wobei sie keine erhebliche Stoßwirkung auf den Abschlußboden ausüben vermögen. Ist der untere Teil eines Abschlußbodens zur Überleitung des Wassers in die Richtung der Unterwasserrinne scharf gekrümmt, so vermehrt sich hier die schleifende und stoßende Wirkung der vom Wasser mitgeführten festen Stoffe erheblich, so daß an diesen Stellen eine besonders widerstandsfähige Bekleidung des Wehrkörpers erforderlich wird. Eine solche kann auch in der Höhe des Unterwasserspiegels dann nötig werden, wenn die Umbildungsstrecke des Strahles unmittelbar

am Wehrfuße beginnt, d. h. dann, wenn der Fuß des Strahles verdeckt ist. In diesem Falle erreicht die stromaufwärts gerichtete Oberflächenströmung der auf dem Strahle liegenden Wasserwalze zuweilen eine solche Geschwindigkeit, daß schwimmende Gegenstände wie Holzstämme oder Eis, die infolge ihres Auftriebes in die Wasserwalze über dem Strahl gelangt sind, mit großer Gewalt stromaufwärts mitgerissen und durch den fallenden Strahl hindurch gegen den Wehrkörper angeschleudert werden¹⁾. Diese Angriffe können auf die Abfallwand eines Wehres sehr nachteilig wirken, zumal derselbe Körper wiederholt in die Gegenströmung der Wasserwalze gelangen kann, so daß er hintereinander zahlreiche Stöße gegen den Abschlußboden ausüben vermag, bevor er endlich im Strahle bleibt und zum Abtreiben kommt. Die Zerstörung einzelner Holzwehre wird auf diese von Schwimmkörpern ausgeübten Stöße zurückgeführt.

Die Angriffe, die vom Wasser und den von ihm mitgeführten Festkörpern auf die Sohle der Unterwasserrinne ausgeübt werden, sind dicht am Fuße des Wehres am stärksten. Sie nehmen mit der Wassermenge, mit der Menge, Größe und Härte der mitgeführten Festkörper, mit der Fallhöhe und mit zunehmender Steilheit des Abschlußbodens zu. Gemildert werden diese Angriffe durch eine allmähliche Ablenkung des Wasserstrahles in die Richtung des Unterwasserbettes auf einer gekrümmten Übergangsstrecke oder durch die Aufstauung des Unterwassers, welche letztere aber erst dann wirksam werden kann, wenn der Wassersprung verschwindet.

Treten schwere Angriffe auf die Flußsohle meist auch nur dicht am Fuße eines Wehres auf, so ruft das Wehr doch einen vermehrten Angriff auf das Unterwasserbett noch weiter unterhalb hervor und zwar bis zu derjenigen Stelle, an der die Umbildungsstrecke endigt. Bei einer Bettsohle, die sich vorher im Gleichgewichtszustande befand, können daher Auskolkungen bis zu dieser Stelle erwartet werden, wenn die Sohle nicht durch ein Sturzbett befestigt wird.

Bei Wehren mit vertieften Sturzbecken geht die zweckmäßige Befestigung der Flußsohle unterhalb des Wehres unmittelbar aus der Gestalt des Abflußbildes des Wassers hervor, indem hier stärkere Angriffe außer im Sturzbecken selbst an derjenigen Stelle auftreten, an welcher der Wasserstrahl am unteren Ende der Walze W_2 zum zweiten Male auf die Sohle der Unterwasserrinne auftritt. An dieser Stelle ist daher eine gute Befestigung der Flußsohle erforderlich, während unter der Wasserwalze W_2 selbst eine Befestigung fehlen kann, da hier nur eine mäßig starke stromaufwärts gerichtete Strömung auftritt, die zuweilen sogar Auflandungen veranlaßt. Es muß allerdings auch darauf Rücksicht genommen werden, daß sich die starken Angriffen ausgesetzten Stellen bei Änderungen im Wasserabfluß verschieben können.

2. Der Wasserabfluß bei Sturzwehren.

Bei den Sturzwehren, die eine lotrechte oder doch eine steile Abfallwand besitzen, können sich die Überfälle in sehr verschiedener Weise ausbilden, je nach den Einflüssen, unter denen sich die Strahlbildung vollzieht.

Diese verschiedenen Überfälle lassen sich zunächst nach den auftretenden Strahlformen in die folgenden drei Gruppen zusammenfassen:

¹⁾ S. Joseph P. Frizell, Waterpower, S. 28.