

Die Hydraulik eines Entlastungsbauwerkes

Autor(en): **Reinauer, Roger / Müller, Dieter / Filippini, Laurent**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria**

Band (Jahr): **86 (1994)**

Heft 11-12

PDF erstellt am: **22.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-940819>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Die Hydraulik eines Entlastungsbauwerkes

am Beispiel der Hochwasserentlastung am Aabach

Roger Reinauer, Dieter Müller und Laurent Filippini

Zusammenfassung

Eine Hochwasserentlastung am Aabach mit unterirdischem Abflussstollen soll zukünftig einen wirksamen Hochwasserschutz in den Gemeinden Lenzburg und Niederlenz garantieren. Die hydraulischen Elemente des Einlaufbauwerkes wurden an der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW) der ETH Zürich in einem physikalischen wie auch numerischen Modell untersucht und optimiert. Am Beispiel der Hochwasserentlastung Lenzburg werden das Vorgehen der Konstruktions- und Berechnungsweise von Streichwehr, Sammelkanal, Stolleneinlauf und die Resultate erläutert.

Hochwasserschutzkonzept am Aabach

Schon seit Jahren kann der Aabach das wegen der zunehmenden Überbauung und der Versiegelung der Oberflächen im Einzugsgebiet wachsende Hochwasser nicht mehr schadlos ableiten. Die Hochwasser von September 1968, Februar 1980, Mai/Juni 1986 und Juni 1987 bestätigen dies eindeutig. Für die notwendigen wasserbaulichen Massnahmen in den Siedlungsgebieten standen zu Beginn der Projektierung in den sechziger und siebziger Jahren Korrekturen zur Kapazitätserweiterung im Vordergrund.

Neben den rein topographischen Schwierigkeiten mit den z.T. dicht an den Bachlauf grenzenden Bauten in Lenzburg und Niederlenz sowie im Bereich der zukünftigen Kernumfahrung in Lenzburg sprachen auch die Ende der siebziger Jahre vermehrt auftretenden ökologischen Betrachtungen im Wasserbau gegen einen Ausbau des offenen Aabachgerinnes. Dies führte schliesslich zu einem Hochwasserschutzkonzept für die Gemeinden Lenzburg und Niederlenz mit zwei Entlastungsbauwerken und unterirdischen Entlastungstollen. Es ermöglicht im ganzen städtischen Siedlungsgebiet die Verminderung der Hochwasserspitzen und lässt dabei den Aabach in seiner heutigen Gestaltung weitgehend bestehen.

Das Projekt

Das Projekt der Hochwasser-Entlastung wurde vom Ingenieurbüro Wernli, Aarau, im Auftrag des Baudepartements des Kantons Aargau bearbeitet. Die Gesamtlösung, in Bild 1 schematisch dargestellt, besteht aus dem Einlaufbauwerk eingangs der Stadt Lenzburg, einem Zwischeneinlaufbauwerk in Niederlenz und einem Pressstollen, der das entlastete Wasser via Auslaufbauwerk unterhalb Niederlenz in den Aabach zurückgibt.

An vier Stellen werden Regenentlastungen aus dem Kanalisationssystem, die bisher den Aabach belasteten, zukünftig direkt dem Hochwasserentlastungstollen zugeleitet. Die Gesamtlänge dieser Leitung beträgt 2,7 km und deren Innendurchmesser variiert zwischen 2,75 m und 3,00 m. Das Gefälle liegt zwischen 0,6 % und 1,4 %.

Die maximale Kapazität des Aabachs im Siedlungsgebiet wurde zu 11 m³/s ermittelt. Aus diesem Grunde sollen bei einem etwa hundertjährigen Hochwasser von 40 m³/s, 29

m³/s in die Entlastung eingeleitet werden und 11 m³/s im Bach verbleiben. Der Überfall des Einlaufes ist nicht reguliert konzipiert und soll, unter Berücksichtigung der Restwasserbedingungen und der Konzessionen der unterliegenden Kleinkraftwerke in Niederlenz, erst ab einem Zufluss von 5,1 m³/s anspringen. Unter Einbezug der vier Zuläufe aus der Kanalisation ist am Auslauf mit einem maximalen Entlastungsabfluss von 34,5 m³/s zu rechnen.

Zur Erarbeitung einer hydraulisch funktionsfähigen, betriebssicheren, und sich in die Umgebung einfügenden Lösung der Gesamtanlage wurde die Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW) der ETH-Zürich mit der Durchführung von hydraulischen Modellversuchen, Erarbeitung von Lösungsvorschlägen und numerischen Berechnungen beauftragt.

An einem physikalischen Modell im Massstab 1:15 (Bild 2a) wurden die hydraulischen Elemente des Einlaufbauwerkes (Bild 2b) geprüft und optimiert. Bei den herrschenden Strömungszuständen nahe dem Grenzbereich zwischen Strömen und Schiessen ist eine gegenseitige Beeinflussung der einzelnen Elemente vorhanden, so dass diese immer als Gesamtheit betrachtet werden mussten.

Weitere Untersuchungen im Zusammenhang mit dem Bau eines Hochwasserschutzdamms, dem Geschwemmessel, der Abschätzung der Kolkgefahr an gefährdeten Stellen und den Anforderungen an die Ausbildung der Flusssohle im Bereich des Einlaufbauwerkes schlossen die Modelluntersuchungen ab. Die Abflüsse über das Streichwehr und den Sammelkanal wurden numerisch simuliert und mit den Modellmessungen auf ihre Aussagegenauigkeit untersucht. Die Schluckfähigkeit und die Abflussverhältnisse im Entlastungstollen wurden mit einem auf instationären, eindimensionalen Abflüssen beruhenden Computerprogramm überprüft.

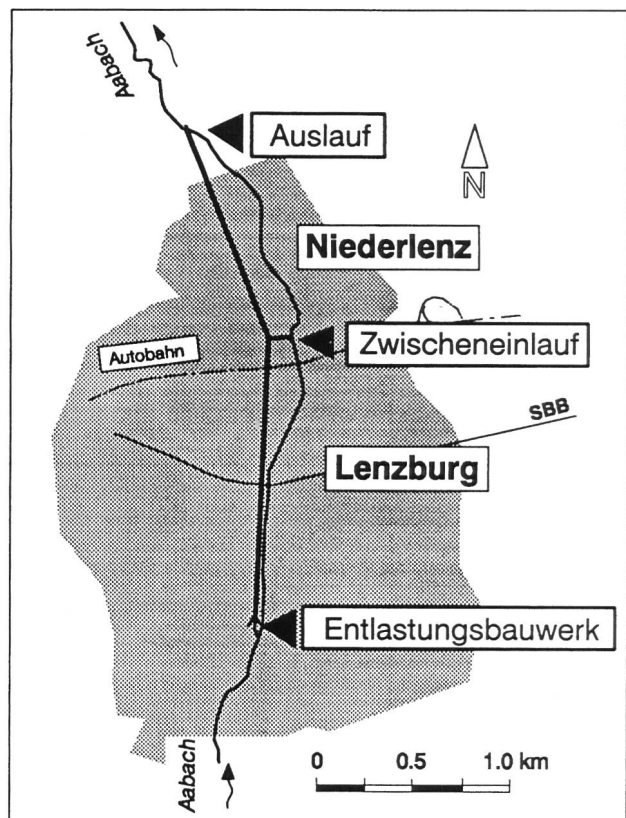


Bild 1. Schema der Gesamtlösung des Hochwasserschutz-Konzeptes am Aabach bestehend aus Entlastungsbauwerk, Zwischeneinlauf, Auslauf und Hochwasserentlastungstollen.

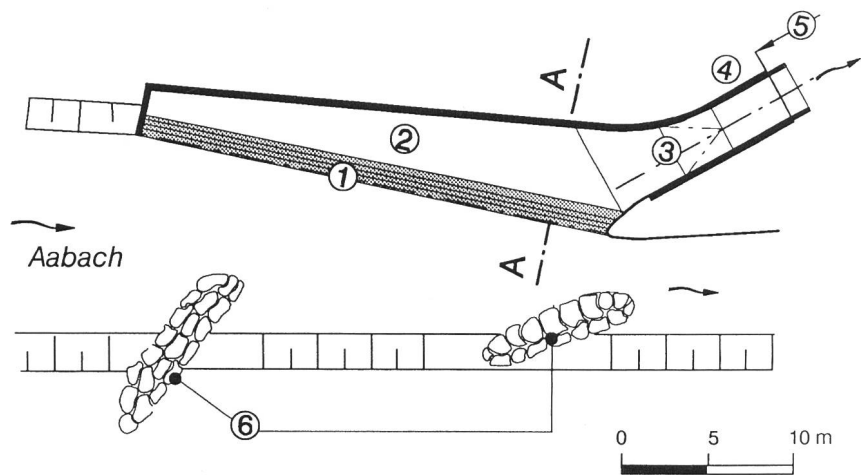


Bild 2. a) Physikalisches Modell des Entlastungsbauwerkes Lenzburg an der VAW mit Blick gegen die Fliessrichtung. Die Zulaufwassermenge Q_z beträgt $15 \text{ m}^3/\text{s}$. (VAW 45/32-10). b) Hydraulische Elemente am Entlastungsbauwerk, 1. Überfallkante, 2. Sammelkanal, 3. Übergangsbereich, 4. Einlaufbereich, 5. Entlastungsstollen, 6. Buhnen.

Das Streichwehr

Der Strömungszustand im Streichwehrbereich, das heisst schiessend mit $F > 1$ oder strömend mit $F < 1$, wird durch die Froude-Zahl $F = v/(gh)^{1/2}$ charakterisiert. Dabei bedeutet v die lokale Fließgeschwindigkeit bei der entsprechenden mittleren Fliesstiefe h mit g als Gravitationskonstante. Je nach Strömungszustand vor und nach dem Streichwehr resultieren verschiedene Strömungsfälle. Anzustreben ist in der Regel immer durchgehend strömender Abfluss ($F < 1$), da dann die Überfallkapazität am grössten ist.

Streichwehre führen ab einer definierten Abflussmenge einen Teil des Zuflusses, die Entlastungswassermenge Q_e in einem Gerinne seitlich ab. Sie reduzieren so den Zufluss Q_z auf die gewünschte Restwassermenge Q_r .

Im Vergleich zu einem normal überströmten Wehr treten beim Streichwehr Komplikationen durch die veränderliche Überströmungshöhe und Anströmrichtung und eine Reduktion der effektiven Wehrlänge durch Strömungsablösungen auf.

Das vorgesehene Streichwehr am Aabach in Lenzburg lässt wegen des Rückstaus nur geringe Überfallhöhen zu. Es ist also in bezug auf die Streichwehrüberfallkote und die Entlastungswassermenge äusserst sensibel. Hydraulische Modellversuche zur Überprüfung der Streichwehrcharakteristik der Hochwasserentlastung am Aabach drängten sich geradezu auf.

Modellversuche

Das Entlastungsbauwerk am linken Aabachufer hat eine 28 m lange, im Vorprojekt horizontal angeordnete Streichweherschwelle, die den Aabach von 9,9 auf 3,7 m einengt. Die rechte naturbelassene Uferböschung weist eine Neigung von 1:1 auf. Elf Meter stromabwärts findet der Übergang zum heutigen Aabachlauf statt. Die Modelluntersuchung des ursprünglichen Projektes zeigte, dass vor dem Einlaufbauwerk die Abflussverhältnisse nahe dem kritischen Abfluss ($F = 1$) liegen. Zahlreiche Stosswellen und eine ondulierende Wasseroberfläche bestätigen diesen Zustand deutlich für $Q_z > 15 \text{ m}^3/\text{s}$. Schiessende Abflüsse sind für die Anströmung eines Streichwehrs ungünstig, da die Entlastungskapazität Q_e gering ist und wandernde Wassersprünge hydraulisch unüberblickbare Verhältnisse ergeben. Auch die Trenncharakteristik der Projektvariante erreichte die angestrebten Anforderungen nicht. Einerseits

lag der Anspringpunkt der Anlage um ca. $1,5 \text{ m}^3/\text{s}$ zu tief, andererseits war der maximale Restabfluss Q_r um $5 \text{ m}^3/\text{s}$ zu gross. Das hätte die Kapazität des Baches überstiegen und das Überflutungsrisiko für die Stadt Lenzburg erhöht. Verschiedene Veränderungen am Aabach und an der Streichwehr-Überfallkante mussten vorgenommen werden, um die geforderte Trenncharakteristik zu erfüllen.

Um bei Hochwasser einen grösseren Abfluss zu entlasten, wird das Flussprofil am Ende des Streichwehrs verengt. Der Wasserspiegel im Einlaufbereich wird angehoben und als Folge davon eine grössere Überfallhöhe erreicht. Am Gegenufer angeordnete Buhnen lenken den Abfluss auf die Überfallkante hin und verbessern so die Anströmung auf das Streichwehr. Die Buhnen erzeugen im Einlaufbereich einen Rückstau, der die Abflussverhältnisse beruhigt. Die Modellversuche zeigten für die Konfiguration einer Buhne im oberen Drittel des Streichwehres und einer zweiten an dessen Ende die erwünschte Trenncharakteristik für den Maximalabfluss. Um den Anspringpunkt auf den geforderten Wert zu erhöhen und eine gleichmässige Anströmung bei kleineren Abflüssen zu erzielen, wurde die Überfallkante gesamthaft um 0,2 m angehoben und im oberen Drittel des Streichwehres mit einem Gefälle von 1,1 % versehen (Bild 3).

Die Anforderungen an die Trenncharakteristik (Bild 4c) des Entlastungsbauwerkes konnten mit den beschriebenen Veränderungen erreicht werden. In Bild 2 ist die vorgeschlagene Lösung für die Gestaltung des Streichwehres und der Buhnen dargestellt.

Numerische Simulation

Mit einem eigens entwickelten PC-Programm zur eindimensionalen Berechnung von Streichwehren wurde die mittlere Wasserspiegellinie des Flusses im Bereich des Streichwehres berechnet (Favre 1933). Simultan werden die jeweiligen Entlastungsabflüsse mit einer erweiterten Überfallbeziehung bestimmt (Hager 1981). Von der mittleren Spiegellinie im Fluss kann auf die Überfallhöhe über der Streichwehrkrone geschlossen werden. Die berechnete Spiegellage stimmt nur im Anfangs- und Endpunkt recht genau mit der gemessenen Spiegellage überein (Bild 4a). Dies liegt an den durch die Buhnen induzierten stehenden Wellen auf der Überfallkante, welche im numerischen Modell nicht berücksichtigt werden. Der berechnete Entla-

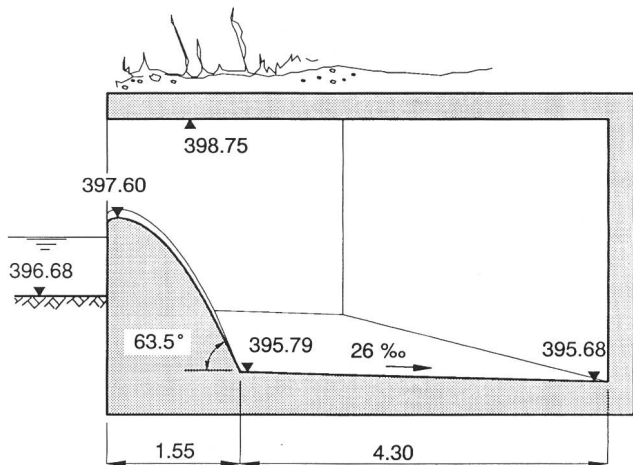


Bild 3. Entlastungsbauwerk Lenzburg mit Überfallrücken und Sammelkanal, Querschnitt A-A, Masse in [m].

stungsabfluss Q_a stimmt jedoch gut mit dem gemessenen Durchfluss überein. Der Anspringpunkt nach der Berechnung lag bei $5,5 \text{ m}^3/\text{s}$, d.h. rund 10% höher als bei den Modellversuchen (Bild 4c), was auch eine Folge der eingebauten Bühnen ist, die v.a. bei niederen und mittleren Abflüssen Wirkung zeigen. Für zukünftige Projekte im strömenden Bereich ohne zusätzliche Strömungsbeeinflussung, wie z.B. Bühnen oder Schwellen, kann demzufolge das numerische Modell zuverlässig angewendet werden.

Der Sammelkanal

Der bei Hochwasser aus dem Aabach zu entlastende Abfluss Q_e überströmt die Streichwehrkante und wird über den Sammelkanal in den Entlastungsstollen geleitet. Eine entsprechende Schluckfähigkeit und die einwandfreie Funktion bei allen anfallenden Abflüssen ist bei diesem Bauwerk wichtig, da die Hochwassersicherheit stark davon abhängt.

Die Ausbildung des Sammelkanals und des Übergangsbereichs in den Entlastungsstollen sollten die Verzweungsverhältnisse nicht verändern, d.h. vom Sammelkanal her darf das Wasser nicht auf das Streichwehr zurückstauen. Die Übergangsstrecke zwischen Sammelkanalende und Stolleneinlauf soll für eine Beruhigung der durch das Streichwehr ausgelösten Spiralströmung sorgen.

Modellversuche

Bei den Modelluntersuchungen wurde zuerst die Projektvariante untersucht. Der Wasserspiegel beim maximalen Abfluss im Sammelkanal lag dann deutlich unter der Überfallkante.

Eine Hebung der Kanalsohle und folglich eine Einsparnis an Aushub erschien naheliegend. Hierbei zeigte sich deutlich, dass die Energielinie im Sammelkanal vom Unterwasser her kontrolliert ist und sich keine Auswirkungen auf die Spiegellage infolge der Gefällsmodifikation im Sammelkanal äusserten. Folglich funktioniert der Sammelkanal hydraulisch beim Bemessungsabfluss ($Q_z = 40 \text{ m}^3/\text{s}$ bzw. $Q_e = 29 \text{ m}^3/\text{s}$) ähnlich wie ein Becken. Die Sammelkanalgeometrie liess sich deshalb soweit minimieren, bis gerade kein Rückstau auf das Streichwehr eintrat. Die Anfangsbreite kann von ursprünglich $3,0 \text{ m}$ auf $1,5 \text{ m}$ reduziert und die Kanalsohle entlang dem Überfall um ca. $3,0 \text{ m}$ angehoben werden.

Nach Bild 4b übersteigt der Wasserspiegel auf der dem Streichwehr zugewandten, rechten Kanalseite die Überfallkante nur an einer Stelle minimal, was aber keinen Rückstau bewirkt.

Die Gefällsverhältnisse im Sammelkanal ergeben im Bereich des Streichwehreinflusses strömenden Abfluss ($F < 1$) bei $J = 3 \text{ ‰}$. Damit können auch bei geringen Entlastungsabflüssen Feststoffe weitertransportiert werden. Am Ende des Sammelkanals forciert ein Gefällsknick den Übergang vom Strömen zum Schiessen. Die Berücksichtigung des Abflusszustandes ist im Hinblick auf die durch den seitlichen Zufluss eingetragene Störung wichtig, da sich diese bei Strömen nur ins Oberwasser ausbreitet, d.h. sich vom Gefällsknick an nicht ins Unterwasser fortpflanzen kann.

Numerische Simulation

Die Berechnung der Spiegellage im Sammelkanal basierte auf einem Computerprogramm (PC), welches auf derselben eindimensionalen Differentialgleichung aufbaut wie diejenige des Streichwehrs. Der seitliche Zufluss wurde li-

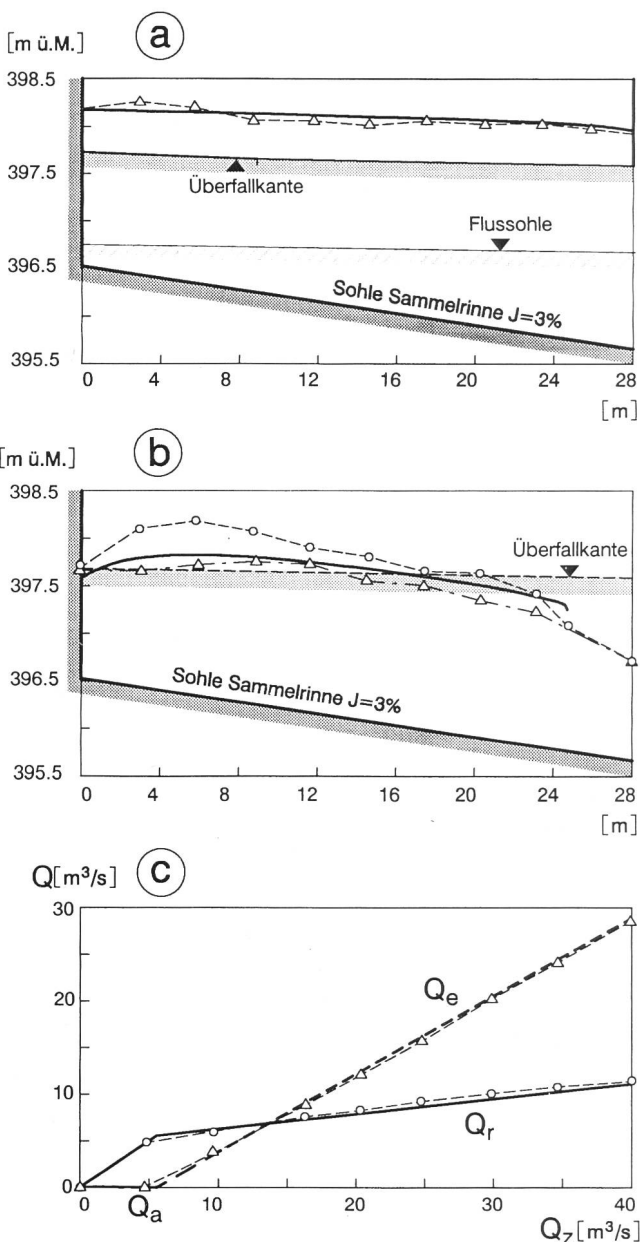


Bild 4. a) Vergleich von ($\cdots\Delta\cdots$) gemessener und ($-$) gerechneter Überfallhöhe h_u bei $Q_z = 40 \text{ m}^3/\text{s}$ bzw. $Q_e = 29 \text{ m}^3/\text{s}$ entlang der Streichwehr-Überfallkante; b) Wasserspiegel im optimierten Sammelkanal bei $Q_e = 29 \text{ m}^3/\text{s}$, ($- \circ -$) linke Seite, ($- \Delta -$) rechte Seite, ($-$) gerechnete Höhe; c) Die Trenncharakteristik: Vergleich von gemessenem ($- \Delta -$) Q_e bzw. ($- \circ -$) Q_r und gerechnetem ($-$) Q_e bzw. ($-$) Q_r .

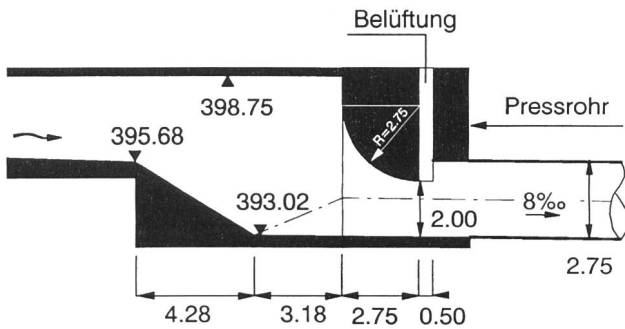


Bild 5. Detail Stolleneinlauf mit Ausrundung und Belüftungsschacht, um das Zuschlagen des Hochwasserentlastungsstollens zu vermeiden, Längsschnitt. Masse in [m].

near verteilt auf die Streichwehrlänge angenommen. Als Anfangswassertiefe für die Berechnung diente die kritische Fliesstiefe am Ende des Sammelkanals. In Bild 4b ist der im Sammelkanal gemessene und der berechnete Wasserspiegel dargestellt. Der gerechnete Wasserspiegel nimmt dabei einen Mittelwert zwischen den gemessenen Wasserspiegeln rechts und links ein. Aufgrund der guten Übereinstimmung genügt das numerische Modell als Näherungslösung.

Der Einlaufbereich in den Entlastungsstollen

Der Einlaufbereich in den Entlastungsstollen vom Durchmesser $D = 2,75$ m soll möglichst verlustarm ausgebildet werden. Allfällig transportierte Feststoffe und Geschwemmsel dürfen sich in diesem Bereich nicht einklemmen und damit den Entlastungsabfluss vermindern. Der Entlastungsstollen soll immer unter Freispiegelbedingungen arbeiten, da ein Zuschlagen des Rohres zu pulsierendem Abfluss und dadurch zu baulichen Schäden im Stollen führen kann (Vischer 1993).

Im Modellversuch zeigte sich, dass bei maximalem Abfluss ($Q_z = 40 \text{ m}^3/\text{s}$) die Länge der Beschleunigungsstrecke

nicht ausreicht, eine Abflusstiefe kleiner als $D/2$ vor dem Schachteinlauf zu erreichen. Aufgrund des rotationsbehalteten Strömungscharakters im Sammelkanal und des Übergangs von Rechteck- auf Kreisprofil schlägt beim Ansteigen der Fliesstiefe auf $h > D/2$ der Einlauf zu. Eine Energiebetrachtung erklärt das Phänomen. Um den vorgegebenen Abfluss im Entlastungsstollen abzuführen, ist eine bestimmte Energiehöhe erforderlich, die im Rechteckprofil der Breite b deutlich unter derjenigen des Kreisprofils vom Durchmesser $D = b$ liegt.

Geht man von der kritischen Abflusstiefe im Rohr aus, so muss die Fliesstiefe in der Beschleunigungsstrecke entweder deutlich darunter oder darüber liegen. Im untersuchten Fall stellte sich die nötige Absenkung nicht ein, so dass der obere Wert massgebend wurde. Da dieser Wert jedoch grösser als der Rohrdurchmesser D ist, schlägt der Einlauf zu.

Da die Höhenlage des Entlastungsstollens bereits vorgegeben war und keine grosse Differenz bis zur Überfallkante des Streichwehres blieb, war eine verlustarme Einlauform erforderlich. Der Einlauf mit ebener Ausrundung und einem Radius $R = D$ ergab keine erheblich grösseren Einlaufverluste als mit $R = 2D$.

Der Einlauf mit der horizontalen Abströmkante wurde soweit in den Stollenquerschnitt hineingezogen, dass die Anfangswassertiefe ($h = 2,0$ m) geringer war als die kritische Fliesstiefe ($h_{\text{crit}} = 2,37$ m) im Stollen. Durch diese anfängliche Einschnürung auf 2,0 m treten lokal grössere Froudezahlen F auf, die den Abfluss jedoch stabilisieren. Ein Zuschlagen war weder für den maximalen noch für geringere Abflüsse zu beobachten. Wie Bild 5 zeigt, befindet sich direkt hinter der Einlaufausrundung die Stollenbelüftung mit einem Querschnitt von 20% des Stollenquerschnittes.

Kolkversuche

Im Bereich des Streichwehres wird mit dem Einbau der beiden Buhnen und der Verengung des Flussquerschnittes eine massgebende Mehrbeanspruchung der Bachsohle am Aabach erzeugt. Da zudem die Umströmung der Buhnenköpfe dreidimensionalen Charakter hat, ist in diesem

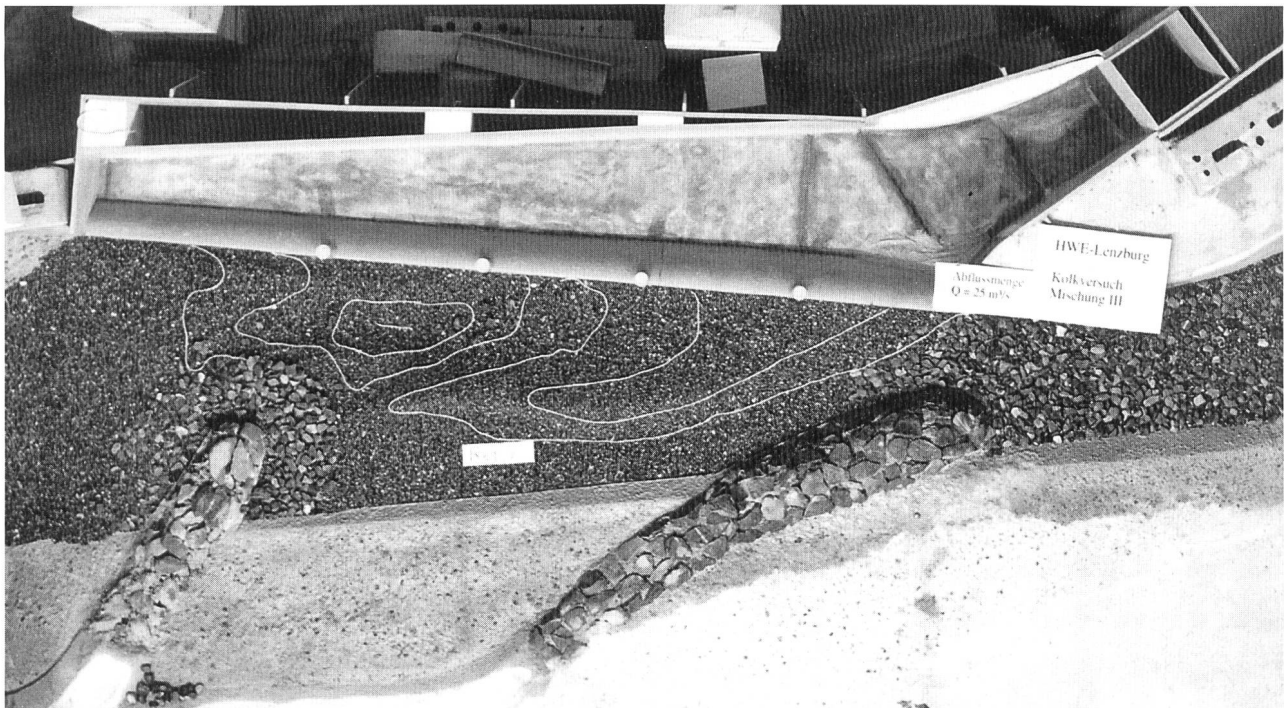


Bild 6. Kolkbildung nach 1,5 Stunden (Natur) mit $Q_a = 25 \text{ m}^3/\text{s}$. Der Abstand zwischen den Höhenlinien beträgt 0,50 m (VAW 45/12-4).

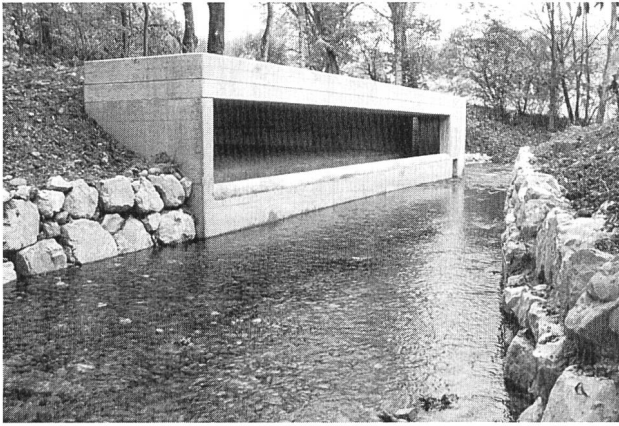


Bild 7. Das bereits fertiggestellte Zwischeneinlaufbauwerk Niederlenz mit Blick in Richtung Unterwasser wurde an der VAW rein numerisch untersucht (VAW 45/89–27).



Bild 8. Das Einlaufbauwerk Niederlenz während eines Hochwassers am 19. Mai 1994: Vom Aabachzufluss ($Q = 20 \text{ m}^3/\text{s}$) werden ca. $7 \text{ m}^3/\text{s}$ über das Streichwehr entlastet.

(Foto: Stadtbauamt Lenzburg)

Bereich mit einer Kolkbildung zu rechnen. Eine ausreichende Befestigung der Flusssohle ist für die Standsicherheit der Bühnen und somit die Funktionstüchtigkeit der Entlastung zwingend. Die Kolkversuche zeigten einerseits, welche Kolkdimensionen bei dem vorhandenen Sohlenmaterial zu erwarten sind, andererseits aber auch, welche Massnahmen unter Berücksichtigung sicherheitstechnischer, wirtschaftlicher und ökologischer Faktoren notwendig werden.

Um die tatsächlichen Zustände im Flussbett so genau als möglich zu simulieren, wurde am Aabach in Lenzburg durch Linienzahlanalysen die Korngrößenverteilung des Sohlenmaterials bestimmt. Dabei wird die Verteilung der Grobkomponenten der Deckschicht entlang einer Linie im Flussbett ermittelt. Die Deckschicht in einem Fluss, als oberste Sohlenschicht definiert, unterscheidet sich durch einen grösseren Anteil an Grob- und einen kleineren Anteil an Feinkomponenten von der Unterschicht. Mit den gemessenen Grunddaten wurde eine entsprechende Fraktionskurve für den Modellversuch berechnet (Fehr 1987).

Die Modellversuche zeigten eindeutig eine Bewegung des Sohlenmaterials bei grösseren Abflüssen durch die Veränderung des Gerinnequerschnittes im Streichwehrbereich. Aus diesem Grund ist eine zweilagige Sohlensicherung (Blockdurchmesser $> 30 \text{ cm}$) von ca. 2 m Breite um die obere Buhne nötig. Die Buhne am Streichwehre muss mit einer Blockrampe derselben Blockdimension erstellt werden. Die verbleibende Gerinnefläche entlang des Streichwehres wurde mit einer 30 cm starken, zweilagigen Steinschüttung (Durchmesser 10 bis 20 cm) gesichert, da sonst eine Auskolkung vor dem Streichwehr stattfinden kann (Bild 6).

Schlussbemerkung

Spezielle hydraulische Elemente von Entlastungsanlagen, die dreidimensionalen Strömungscharakter haben, lassen sich durch physikalische Modelle am besten optimieren. In Kombination mit numerischen Simulationen können Computerprogramme geeicht und getestet werden. Für ähnliche Problemstellungen liegen so zukünftig Erfahrungen vor, die es erlauben, Anlagenteile zuverlässig mit ausschliesslich numerischen Ansätzen zu projektieren.

Untersuchungen über Kolkbildung und hydraulisch günstige Formgebungen von Prototypen sind aber bis heute noch den physikalischen Modellen vorbehalten.

In diesem Sinne wurde das im Herbst 1993 fertiggestellte Zwischeneinlaufbauwerk Niederlenz (Bild 7) projektiert.

Literatur

- Chow, V. T. (1959): «Open Channel Hydraulics». McGraw-Hill, New York.
- Favre, H. (1933). «Contribution à l'étude des courants liquide». Rascher & Cie, Zürich.
- Fehr, R. (1987): «Einfache Bestimmung der Korngrößenverteilung von Geschiebematerial mit Hilfe der Linienzahlanalyse». Schweizer Ingenieur und Architekt, Nr. 38, 1104–1109.
- Hager, W. H. (1981): «Hydraulik von Verteilkanälen». Mitteilung Vol. 55 & 56 der VAW, ETHZ, ed. D. Vischer, Zürich, 1982.
- Vischer, D. L. (1993): «Das Zu- und Aufschlagen eines geschlossenen Kanals». gwf – Wasser/Abwasser, Vol. 134, Nr. 8, 492–497.
- Wernli, R. (1988): Stadt Lenzburg, Korrektion Aabach, Hochwasserentlastung, Technischer Bericht, Aarau, 1988.

Verdankung:

Die Verfasser danken dem Projektverfasser Ing. R. Wernli, Aarau, und Herrn M. Lienert, Baudepartement Aargau, Aarau, für die fruchtbare Zusammenarbeit bei der Auftragsdurchführung an der VAW.

Adresse der Verfasser: Roger Reinauer, dipl. Bauing. ETH/SIA; Dieter Müller, dipl. Bauing. ETH, Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, VAW, ETH Zentrum, CH-8092 Zürich; Laurent Filippini, dipl. Bauing. ETH, ehemals VAW, heute: SEA (Sezione Economia delle Acque), CH-6500 Bellinzona.