

Tagung Sicherheit von Bauwerken im Wasser Murten, 24. April 1998

Referat B. Herzog: Hochwassersicherheit bei Brücken und Durchlässen

Zusammenfassung

Engnisse wie zu knapp bemessene Durchlässe und Brückenquerschnitte sind häufig das auslösende Moment für Hochwasserereignisse. Der Dimensionierung solcher Bauten wird im allgemeinen nur die Wassermenge zugrunde gelegt, ohne Einflüsse von Geschiebe und Holz zu berücksichtigen. Pflästerungen unter Brücken oder ein lokales Absenken der Sohle schaffen keine Abhilfe. Um hochwassersicher dimensionieren zu können, müssen die verschiedenen Prozesse im Gerinne betrachtet werden. Eine Abhilfe bei ungenügenden Querschnitten können Verschalungen bieten, die einen Druckabfluss ermöglichen.

Situation

Schäden bei Hochwasserereignissen können durch verschiedene Prozesse ausgelöst werden. Ein auslösendes Moment, das häufig beobachtet werden kann, sind Engnisse im Abflussprofil wie Durchlässe, eingedolte Strecken oder Brücken mit ungenügendem Durchflussprofil. Solche Engnisse können bei Hochwassern mit Geschiebe- oder Holzanfall verstopfen.

Ist die Durchflusskapazität unter einer Brücke zu klein, führt dies zu einem Aufstau und damit seitlichen Ausuferungen. Dadurch sinkt die Geschiebetransportkapazität im Gerinne ab und es kommt zu Auflandungen, die die Kapazität weiter verkleinern.

Zahlreiche Hochwasserereignisse der letzten Jahre waren auf Ausbrüche bei solchen Engnissen zurückzuführen, so z.B. Brig (Saltina) 1993, Poschiavo (Poschiavino) 1987, Davos (Schiabach, Guggerbach) 1995 oder Menziken (Wyna) 1996. Diesen Ereignissen ist gemeinsam, dass die Durchflussprofile für einen Reinwasserabfluss knapp genügt hätten, aber Geschiebetrieb und Holz die Situation während des Hochwassers vollkommen veränderten.

Probleme

Für die Dimensionierung von Durchlässen und Brückenquerschnitten wird in der Praxis eine Projektierungswassermenge zugrunde gelegt, die sich aus Hochwasserstatistiken oder Niederschlags-Abflussmodellen und dem Bemessungshochwasser (Schutzziele) ergibt. Sekundäre Hochwasserprozesse wie Geschiebe- und Holztrieb werden oft zuwenig berücksichtigt. Häufig werden ausserdem nur Spitzenwerte und nicht Frachten betrachtet. Auch langfristige Prozesse wie Auflandungstendenzen in Flüssen werden im allgemeinen vernachlässigt, die Flusssohle wird als etwas Unveränderliches, Stabiles angesehen.

Weiter wird oft der Abfluss nur im eigentlichen Durchlass (Rohrprofil) nachgewiesen. Dabei wird unterschlagen, dass die Fliessgeschwindigkeiten oberstrom und unterstrom des Durchlasses im offenen Profil meist wesentlich tiefer liegt (Rauhigkeit, hydraulischer Radius, Bewuchs). Das Wasser hat in den meist kurzen Strassen- oder Bahndurchlässen gar nicht genug Zeit auf den 'Dimensionierungswert' zu beschleunigen. Die entsprechenden notwendigen Beschleunigungsstrecken müssten ebenfalls nachgewiesen werden.

Diese Vorgehensweisen führen vielerorts zu zu kleinen Durchflussprofilen.

Abhilfen in der Praxis, die nicht funktionieren

Bei Brücken mit knappen Querschnitten kann oft beobachtet werden, dass die hydraulische Kapazität z.B. mit einer *Pflästerung der Sohle unter der Brücke* vergrössert wird. Solche Pflästerungen heben

den K-Wert und damit die Abflusskapazität. Insbesondere bei Bächen befinden sich nun aber diese Brücken häufig dort, wo das Längsgefälle des Baches abnimmt und unsere Siedlungen beginnen. Diese Gewässerabschnitte sind typischerweise im Hochwasserfall Auflandungsstrecken. Während dem Hochwasser werden nun also diese Pflästerungen mit Geschiebe eingedeckt, so dass die effektive Sohle nicht nur höher liegt, sondern auch die Rauigkeit der Sohle der Umgebung und nicht mehr der Pflästerung entspricht. Die effektive Kapazität ist also viel kleiner als die theoretische, die der Dimensionierung zugrunde gelegt wurde.

Ein weiterer 'Kunstgriff' ist die *Ausbaggerung der Sohle im Bereich von Brücken*. Damit wird das Durchflussprofil vergrößert. Solche Absenkungen werden aber im Hochwasserfall schnell wieder auf das ursprüngliche Niveau angehoben, der Fluss gleicht sein Längenprofil aus. Auch mit einer Pflästerung kann dies nicht verhindert werden, da der Einfluss der Rauigkeit verglichen mit dem des Gefälles sehr klein ist.

Solche Massnahmen täuschen eine nicht vorhandene Sicherheit vor.

Anforderungen an die Projektierung

Gefährdungsbilder und Belastungsgrößen

Prozessbeurteilung und Szenariendefinition sind das zentrale Element in der Dimensionierung von Wasserbauten. Sie sind vergleichbar mit den Belastungsannahmen in der Statik. Anders als dort können aber nicht einfach Normlasten angesetzt werden, da die Belastungen sich aus Naturprozessen ergeben, die sehr komplex sind. Als erste Grundlage ist daher ein gutes Prozessverständnis notwendig. Aufgrund von Profilaufnahmen, Abschätzung von Holz und Geschiebefrachten, dem grossräumigen Längenprofil, Sohlenfixpunkten, Berechnungen oder Abschätzungen von Geschiebeablagerungen, usw. kann der gefährdende Prozess für ein Bauwerk erkannt werden. Dabei muss über den Projektperimeter hinaus gedacht werden, das Gewässer ist als ganzes System zu betrachten. Praxistaugliche Ansätze für solche Berechnungen findet man in der unten aufgeführten Literatur.

Hieraus erhält man nun in Kombination mit Eintretenswahrscheinlichkeiten die Belastungsgrößen, die der Dimensionierung zugrunde gelegt werden müssen. Es sind dies z.B. die maximale Auflandung in Bereich des Bauwerkes und ein zugehöriger Wasserspiegel. Für die Berechnung des maximalen Wasserspiegels ist (insbesondere in Gerinnen mit stark änderender Gerinnegeometrie) zu beachten, dass der 'Normalfall' eine Staukurve ist und 'Normalabfluss' einen Spezialfall darstellt.

Mit diesen Größen kann nun ein minimales Durchflussprofil berechnet werden, zu welchem noch das Freibord hinzugeschlagen wird.

Minimales Freibord

Das Freibord dient als Reserve für Wellenschlag, Geschwemmsel, Unsicherheiten bei den Annahmen über Rauigkeiten, Auflandungen, etc. Zur Bemessung gibt es keine Norm oder Vorschriften. Das Freibord sollte nachvollziehbar gewählt werden, und nicht eine Funktion der persönlichen Ängstlichkeit oder Risikobereitschaft des Projektanten sein.

- Eine erste Grösse ergibt sich aus der Höhe der Energielinie des Abflusses, also $v^2/2g$ über dem Wasserspiegel. Damit ist die maximale Höhe angegeben, auf die das Wasser bei unveränderter Gerinnegeometrie steigen kann.
- Dazu kommt nun fallweise noch ein Sicherheitszuschlag, der die nach der Berechnung verbleibenden Unsicherheiten bezüglich Sohlenverhalten, Berechnungsannahmen, Hochwasserstatistiken, etc. berücksichtigt und Platz für Holztrieb, Eisgang und Geschwemmsel freihalten soll.

Schliesslich sollten folgende minimale Grössen (Vischer 1993) für das Freibord nicht unterschritten werden:

für kleinere Gewässer	0.5-0.8 m am Ufer	0.7-1.0 m unter Brücken
für Flüsse	0.8-1.3 m am Ufer	1.0-1.5 m unter Brücken

Allgemein kann hinzugefügt werden, dass das Freibord bei grösseren Gefällen grösser gewählt werden sollte, und dass die Sicherheitsmarge vom Profil abhängt: in einem Trapezprofil ist die Kapazitätsreserve pro Meter Zuschlag grösser als in einem Rechteck- oder Kreisprofil (Rohre!).

Nachweis der Fliessparameter und des Strömungszustandes

Fliessgeschwindigkeiten und Fliesstiefen sind im Durchlass / unter der Brücke, aber ebenso oberstrom davon nachzuweisen. Liegt die Fliessgeschwindigkeit im Durchlass wesentlich höher als davor, sind genügend lange Beschleunigungsstrecken nachzuweisen und ggf. baulich anzuordnen. Sehr ungünstig sind in jedem Fall Fließwechsel. Es sollte für alle wesentlichen Abflüsse nachgewiesen werden, dass kein Wassersprung auftritt und allfällige stetige Fließwechsel für alle Bemessungssituationen genügen weit oberstrom des Bauwerkes erfolgen.

Massnahmen an bestehenden Bauwerken

Brückenverschalungen

Eine Abhilfe an Brücken mit zu kleinem Freibord sind Verschalungen, die oberwasserseitig an der Brücke angebracht werden und entsprechende Anpassungen der Ufermauern oder Dämme. Im Falle eines Aufstaus entsteht nun unter der Brücke ein Druckabfluss. Dies hat zwei Effekte: die Kapazität nimmt zu (höhere Geschwindigkeiten) und in der Sohle bildet sich ein Kolk, was das Profil vergrössert. Die zusätzlichen Belastungen auf die Brücke im Falle eines Einstaus müssen berücksichtigt werden.

Dies Massnahme kann in Fällen empfohlen werden, wenn das Freibord ungenügend ist oder die Brücke nur knapp eingestaut würde.

Anheben der Brücken

Kleinere Brücken können mit einfachen Massnahmen angehoben werden. Ein Fussgängersteg lässt sich z.B. durch einfaches Erhöhen der beiden Widerlager und Anpassen der Ufer verbessern. Dem Anheben von Strassen- und Bahnbrücken sind häufig durch die Verkehrsvorschriften Grenzen gesetzt. Es handelt sich ausserdem um sehr teure Massnahmen.

Rückhalt von Feststoffen

Bei Bächen kann die mangelnde Hochwassersicherheit oft nur durch Zurückhalten des Geschiebes vor dem Einlauf in ein Rohr oder dem Durchlass verbessert werden. Solche Entnahmen sind so unmittelbar wie möglich vor dem Einlaufbauwerk anzuordnen. Holzrechen sind möglichst flach anzubringen und nicht senkrecht vor dem Durchlass, so dass das Holz oben aufschwimmen kann und den Einlauf nicht verlegt.

Entlastungen von Durchlässen

Kann ein Durchlass oder eine Dole nicht vergrössert werden und besteht eine Verstopfungsgefahr muss eine kontrollierte Entlastung vorgesehen werden.

Staubli, Kurath & Partner AG
Bachmattstr. 53
8048 Zürich

Literaturvorschläge

- Bezzola, G.A.; e.a.: Reduzierte Hochwassersicherheit durch Geschiebe, Schweizer Ingenieur und Architekt SIA Nr. 41/1996
- Bundesamt für Wasserwirtschaft: Anforderungen an den Hochwasserschutz '95
- Bundesamt für Wasserwirtschaft: Empfehlung zur Berücksichtigung der Hochwassergefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten, Biel 1997
- Bundesämter für Wasserwirtschaft, Strassenbau und Verkehr, GD SBB: Empfehlung für die Überwachung und den Neubau von Bauteilen im Wasser, Bern 1997
- Hunzinger, L., Zarn, B.: Geschiebetransport und Ablagerungsprozesse in Wildbachschalen, Interpraevent 1996, Tagungsband 4
- Jäggi, M.: Flussbau, ETH Zürich 1987
- Jäggi, M., Abegg, J.: Cimavilla-Brücke Poschiavo - eine unkonventionelle Lösung aufgrund der Erfahrungen aus dem Unwetter vom Juli 1987, Schweizer Ingenieur und Architekt SIA Nr. 16-17/1993
- Vischer, D., Huber, A.: Wasserbau, Berlin 1993
- Willi, H.P.: Gefährdungsbilder und Szenarien, Kursunterlagen 'Gefahrenkarten', Bundesamt für Wasserwirtschaft, Biel 1997