

## 5.9 Dämpfung von Hochwasserspitzen in Fließgewässern

### Einleitung

Hochwasser sind beeindruckende Naturereignisse. Dass der seit Jahrhunderten andauernde Kampf der Menschen gegen diese Naturgefahr noch nicht gewonnen ist, zeigen die grossräumigen Überflutungen, die bei Hochwassern oft auftreten (Fig. 3). In den letzten 200 Jahren wurden viele Flüsse eingedämmt und begradigt. Flächen, die früher regelmässig überflutet wurden, sind heute gesichert und zu wertvollen Wohn- und Industriegebieten geworden. Aber nach jedem grossen Hochwasser stellt sich die Frage, wie stark dieses durch die Aufhebung von Überflutungsflächen verschärft worden ist. Die grossräumigen Überflutungen beeindrucken derart stark, dass deren dämpfende Wirkung in der Öffentlichkeit als hoch eingeschätzt wird. Die auf solchen Flächen zurückgehaltenen Volumina müssen aber stets im Verhältnis zu den bei Hochwassern abfliessenden Wassermengen gesehen werden. Diese Wassermengen, die als Produkt von Abfluss und Zeit nicht direkt wahrgenommen werden können, werden meist unterschätzt. So sind in der Aare bei Bern beim Hochwasser im Mai 1999 in 14 Tagen etwa 600 Mio m<sup>3</sup> abgeflossen [1]. Damit könnte der Kanton Zug mit einer Fläche von 240 km<sup>2</sup> 2.5 m tief unter Wasser gesetzt werden. Wollte man den maximalen Abfluss im Mai 1999 in Bern von 620 m<sup>3</sup>/s auf 400 m<sup>3</sup>/s dämpfen, müssten zwischen Thun und Bern rund 106 Mio m<sup>3</sup> gespeichert werden. Dies würde bei einer Wassertiefe von 2.5 m eine Überflutungsfläche von 40 km<sup>2</sup> bedingen. Da auf solchen Überflutungsflächen das Wasser meist langsam talwärts fliesst, ist der tatsächliche Flächenbedarf zur Erzielung einer solchen Dämpfung noch wesentlich grösser.

Es ist nicht einfach, die Wirkung des Rückhalts (Retention) auf den Hochwasserabfluss abzuschätzen. Die Retention wird sowohl von den Fliessvorgängen in Gerinne und Vorland beeinflusst (Hydraulik) als auch vom Verlauf des Hochwassers und damit von der Art der Hochwasserentstehung (Hydrologie) (Fig. 1). Auf der vorliegenden Tafel wird anhand von Fallbeispielen gezeigt, wie unterschiedlich die Retention wirken kann, und es wird übersichtsmässig dargestellt, in welchen Flüssen eine substantielle Dämpfung erwartet werden kann.

Aufgrund ihrer jeweiligen Wirkungsweise wird zwischen der Retention im Gerinne, der fließenden Retention bei Vorlandüberflutungen sowie der stehenden Retention bei Vorlandüberflutungen unterschieden.

### Retention im Gerinne

In steilen Gerinnen treten so grosse Fliessgeschwindigkeiten auf, dass keine Dämpfung zu beobachten ist. Vielmehr kann sich nach einer ausreichend langen Fliessstrecke sogar eine senkrechte Wasserfront ausbilden mit verheerenden Folgen für Menschen, die von einer solchen Flutwelle erfasst werden.

In Gerinnen mit geringem Gefälle verflachen sich Hochwasserwellen dagegen auch dann, wenn keine Überflutungen auftreten. Die Abminderung des Spitzenabflusses wird von den Gerinneigenschaften und der Form der Hochwasserwelle beeinflusst [2,3]. Bei Sohlgefällen von unter 1 % ergibt sich eine spürbare Wirkung der Retention (Fig. 8). Ein rauhes Gerinne erhöht die Retention (Fig. 9). Von überragender Bedeutung für die Dämpfung ist jedoch die Anstiegszeit eines Hochwassers (Fig. 10). Je rascher der Abfluss ansteigt, desto stärker wird die Abflussspitze im Gerinne gedämpft. Ab einer gewissen Dauer des Hochwassers ist keine Wirkung der Retention mehr feststellbar.

Für die Gerinneretention gilt also, dass sie nur bei flachen Flussläufen mit Sohlgefällen von unter 1 % von Bedeutung ist und dass sie nur kurze Hochwasser mit hoher Abflussspitze dämpft. In der ersten Karte sind die Gefällsverhältnisse der Fließgewässer dargestellt. Es fällt auf, dass Bäche und Flüsse im Alpen- und im Voralpenraum keine wesentliche Retentionswirkung entfalten.

## Stehende und fließende Retention

Die Dämpfung von Hochwassern durch Überflutung der Vorländer ist effizienter als die Retention im Gerinne. Stehende Retention tritt auf, wenn Wasser aus dem Gerinne ins Vorland fliesst und dort in Geländemulden – natürlichen Ursprungs oder durch bauliche Massnahmen geschaffen – oder z.B. hinter Strassendämmen gestaut und so dem Hochwasser entzogen wird (Fig. 3) [6]. Wichtig ist der Zeitpunkt der Überflutung. Wenn wegen zu geringer Gerinnekapazität bereits zu Beginn des Hochwassers Überflutungen auftreten, sind die Speicher schon vor Erreichen der Hochwasserspitze gefüllt und die Abflussspitze wird kaum gedämpft.

Entscheidend für die Dämpfung ist jedoch das Verhältnis zwischen der Grösse des Rückhalterumes und dem Hochwasservolumen. Ist das Volumen des Hochwassers, das auf die Vorländer ausfliessen könnte, wesentlich grösser als das Rückhaltevolumen, ist keine Retentionswirkung zu erwarten.

Wesentlich häufiger, aber auch weniger wirkungsvoll, ist die fließende Retention. Dabei wird das Wasser auf den Überflutungsflächen nicht zurückgehalten, sondern fliesst langsam talwärts. Die Vorländer wirken in diesem Fall nicht wie ein Speicher, sondern als Erweiterung des Gerinnes (Fig. 2). Bei dieser Retentionsart sind unterschiedliche Fließgeschwindigkeiten im Hauptgerinne und im Vorland für die Dämpfung verantwortlich [2,3]. Das Wasser fliesst im Vorland aufgrund der geringeren Wassertiefe und der erhöhten Reibung langsamer als im Hauptgerinne. Wenn die Verzögerung im Vorland so gross ist, dass sich am Ende des Gerinneabschnittes die Spitzenabflüsse im Vorland und im Hauptgerinne nicht mehr überlagern, resultiert eine wesentliche Dämpfung der gesamten Welle (Fig. 11). Die Grösse der Dämpfung wird also durch den Unterschied zwischen den Fließgeschwindigkeiten im Hauptgerinne und im Vorland, die Dauer des Hochwassers und die Länge der Fließstrecke bestimmt.

Unterscheiden sich die Fließgeschwindigkeiten nur wenig, muss entweder die Fließstrecke lang oder die Dauer des Hochwassers kurz sein, um eine deutliche Veränderung der Ganglinie zu bewirken. So werden auf einer Flussstrecke von 10 km Länge bei einer Differenz der Fließgeschwindigkeiten von 1 m/s nur Hochwasser gedämpft, die weniger als 3 Stunden dauern.

## Hydrologie

In Tafel 5.7 wurde an sechs Einzugsgebieten aufgezeigt, dass jedes Einzugsgebiet charakteristische Hochwasserreaktionen aufweist. Aufgrund der hydraulischen Gegebenheiten können nur Hochwasser mit kurzen Anstiegszeiten durch die Retention beeinflusst werden. Kurze, steile Hochwasser entstehen in Gebieten mit wenig speicherfähigen Böden, wie z.B. im Allenbach (Adelboden). Solche Verhältnisse finden sich vor allem in den Alpen und den Voralpen. In diesen Regionen weisen aber die Gerinne mehrheitlich Sohlgefälle von über 1 % auf, so dass die Retention wenig Wirkung zeigen kann. In flachen Gebieten mit Sohlgefällen von unter 1 % haben die Böden meist eine grössere Speicherfähigkeit. Damit entstehen Hochwasser, die aufgrund ihrer langen Anstiegszeit nicht durch die Retention beeinflusst werden können. Diese Überlegungen zeigen, dass die Retention nicht durchgehend, sondern nur bei gewissen Hochwassern und in geeigneten Einzugsgebieten wirkt, wie z.B. bei der Langeten [4]. Der Oberlauf der Langeten ist steil, so dass oft rasch ansteigende Hochwasser beobachtet werden; der Unterlauf ist flach und weist grosse Überflutungsflächen auf. Im Einzugsgebiet der Langeten treten demnach oft grosse Hochwasser auf, die durch die Retention gedämpft werden. Auch in der Luthern werden gewisse Hochwasser gedämpft. Daneben gibt es aber auch Ereignisse, die kaum beeinflusst werden. Obwohl die Dünnern in ihrem Unterlauf sehr flach ist, spielt hier die Dämpfung durch die Retention aufgrund der langen Anstiegszeiten keine Rolle (Fig. 4).

In der zweiten Karte sind diejenigen Einzugsgebiete hervorgehoben, in denen grosse Hochwasser aufgrund der Gefällsverhältnisse und des Hochwasserablaufs gedämpft werden. Die Karte wurde erstellt, indem die Anstiegszeiten der grössten Hochwasser aus den Aufzeichnungen der Pegel herausgelesen oder bei Flüssen ohne Messungen aufgrund der hydrologischen Gegebenheiten abgeschätzt wurden.

### Fallbeispiel Thur

Die Thur ist in ihrem Unterlauf kanalisiert und besitzt weite Vorländer, die bei grösseren Abflüssen überflutet werden. Umfangreiche hydraulische Berechnungen zeigen, wie Hochwasser unterschiedlicher Dauer und Grösse in dem Flussabschnitt zwischen Halden und Andelfingen gedämpft werden (Fig. 5). Bei Hochwassern mit Anstiegszeiten von über 10 Stunden ist von der Gerinneretention und der Überflutung der Vorländer keine Wirkung mehr zu erwarten. Die Anstiegszeiten und Spitzenabflüsse der grössten Hochwasser der letzten 35 Jahre liegen aber meist ausserhalb dieses Dämpfungsbereiches. Diese Hochwasser werden also in diesem Abschnitt kaum durch die Retention beeinflusst.

### Fallbeispiel Gürbe

Bei der Gürbe kann die Retention eine wesentliche Wirkung entfalten. Am 29. Juli 1990 wurden im oberen Teil des Einzugsgebietes innerhalb weniger Stunden 240 mm Niederschlag gemessen. Das rasch ansteigende Hochwasser hinterliess im steilen Oberlauf tiefe Spuren. Oberhalb des Pegels Burgstein tritt die Gürbe in die Ebene ein und fliesst dann mit geringem Gefälle bis zum Zusammenfluss mit der Aare unterhalb von Belp. Dieser Abschnitt bietet also gute Voraussetzungen für die Retention. Beim Hochwasser von 1990 überflutete der Fluss die Ebene an mehreren Stellen [5]. Mitgeführte Bäume verstopften eine Brücke in Toffen, was zu zusätzlichen Überflutungen führte. Das Diagramm in Figur 6 zeigt die Wirkung dieser Überflutungen auf den Abfluss in Belp. Dargestellt ist der bei Burgstein gemessene Zufluss. Darauf basierend wurde mit einem numerischen Modell der Abfluss bei Belp berechnet – unter den Annahmen einer Dämpfung nur durch Gerinneretention einerseits und einer zusätzlichen Dämpfung durch Überflutungen andererseits. Diese Ganglinien werden mit dem in Belp tatsächlich gemessenen Abfluss verglichen, der durch die Verstopfung der Brücke bei Toffen noch zusätzlich gedämpft wurde. Während das Hochwasser im oberen Teil der Gürbe ein ganz ausserordentliches Ereignis war, wurde es in Belp dank der Dämpfung durch die Retention kaum wahrgenommen. Durch die Gerinneretention wurde der Abfluss um  $5 \text{ m}^3/\text{s}$  gedämpft. Die Überflutungen mit einem Volumen von  $160\,000 \text{ m}^3$  erbrachten eine weitere Reduktion von  $34 \text{ m}^3/\text{s}$ . Durch die Verstopfung der Brücke wurden zusätzlich  $290\,000 \text{ m}^3$  Wasser ausgeleitet; der Spitzenabfluss wurde dadurch aber nur noch um  $12 \text{ m}^3/\text{s}$  reduziert, da die Ausleitung lange vor Erreichen der Spitze, also zu einem ungünstigen Zeitpunkt, erfolgte.

### Schlussbemerkungen

Insgesamt zeigt die Tafel, dass in erstaunlich wenigen Gebieten grosse Hochwasser durch die natürliche Retention wirksam gedämpft werden. Die Dauer der Hochwasser ist in den meisten Flüssen so lang, dass die Wirkung der Retention aufgrund der hydraulischen Gegebenheiten schon vor dem Durchgang der Hochwasserspitze zusammenbricht.

## Literatur

- [1] **Aschwanden, H., Bürgi, T. (2000):** Hochwasser 1999 – Analyse der Messdaten und statistische Einordnung. Hydrologische Mitteilung, Nr. 28, Bern.
- [2] **Haider, S. (1994):** Der Beitrag der Vorlandüberflutungen zur Verformung der Hochwasserwellen. Mitteilung der VAW, Nr. 128, Zürich.
- [3] **Haider, S. (1994):** Die Retentionswirkung von Vorlandüberflutungen und ihre Abschätzung. In: Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft 46. Jg., Heft 7/8:171–181, Wien, New York.
- [4] **Haider, S. (1994):** Überschwemmung und Hochwasserwahrscheinlichkeit, Fallbeispiel Langete. In: Wasser–Energie–Luft 7/8:240–242, Baden.
- [5] **Institut für Hydromechanik und Wasserwirtschaft (1997):** Die Hochwasser der Gürbe (Entstehung, Ablauf, Häufigkeit), Bericht Nr. A 2/97, Zürich.
- [6] **Naef, F. (1991):** Natürliche und künstliche Retention im Reusstal. In: BWW/LHG (Hrsg.): Ursachenanalyse der Hochwasser 1987 – Ergebnisse der Untersuchungen, Hydrologische Mitteilung, Nr. 14, Bern.