

Nachweis der Schadensfreiheit von HW-Schutzbauwerken mittels Niederschlag-Abfluss-Modell

Dipl. - Ing. Romain Koster, TR-Engineering – Luxemburg,

1 Veranlassung & Thematik

In den Jahren 1993 und 1995 wurde u.a. das Einzugsgebiet der mittleren Sauer gleich mehrmals von grösseren Hochwässern heimgesucht. Diese Ereignisse trafen die meisten Anliegerortschaften unvorbereitet, da in den Jahrzehnten davor nur kleine Hochwässer beobachtet wurden. Insbesondere die Häufung der Ereignisse in den 90er Jahren veranlasste die kommunalen und staatlichen Stellen, die entsprechenden Vorstudien zur Ausarbeitung von Schutzkonzepten in die Wege zu leiten.

Entlang der Mittelsauer reihen sich die Ortschaften auf wie Perlen an einer Schnur, und das oft in nur wenigen Hundert Meter Abstand. Auf den rund acht Flusskilometern, für welche das Ingenieurbüro TR-Engineering mit der Planung beauftragt wurde, sind dies fünf Ortslagen, eine davon ist die Kantonshauptstadt Diekirch mit ca. 6'100 Einwohnern.

Vorrangiges Ziel der Vorstudien war es, ein Hochwasserschutzkonzept zu erstellen, welches lokal und regional wirksame Massnahmen vorschlagen sollte, die schnell umsetzbar waren und dem das gut dokumentierte Ereignis von Januar 1993 zur Dimensionierung zu Grunde liegen sollte (Abfluss: ca. 570 m³/s in Diekirch).

Im Mai 1996 wurde für den Sauerabschnitt zwischen Ingeldorf und Bettendorf ein Massnahmenkatalog vorgestellt, der 34 Einzelmassnahmen beinhaltete. Der Umfang der „Schutz“massnahmen reichte vom Entfernen von bei den Hochwässern zerstörten alten und überfluteten Wehranlagen über das Verbreitern des Flussquerschnittes bis zum Errichten von Schutzmauern und –dämmen.

Während das Abtragen von alten Strukturen eher als besondere Unterhaltsarbeiten qualifiziert werden kann, welche ausschliesslich zu Lasten des Luxemburger Staates gingen, so werden die wasserspiegelabsenkenden Massnahmen wie Querschnittsverbreiterung und Uferabflachung sowie die konstruktiven Schutzmassnahmen durch neue Bauwerke als kommunale Projekte aufgefasst, denen sich der Staat mittels der zuständigen Verwaltungen, bis 2001 die Administration des Ponts & Chaussées, seit 2001 die mittlerweile neugeschaffene Wasserwirtschaftsverwaltung (Administration de la Gestion de l'Eau), als Co-Bauherr anschloss und noch anschliesst.

Ist die Zielsetzung des kommunalen Auftrags eindeutig, nämlich für den entsprechenden Schutz der betroffenen Ortsteile durch Überflutung zu sorgen, so ist die Aufgabe des Luxemburger Staates vielfältiger. Besonders hervorgehoben sollen im Rahmen dieses Seminars folgende Aspekte sein:

- einerseits stellen die staatlichen Verwaltungen den kompetenten Ansprechpartner für die fachliche Diskussion der einzelnen Projekte dar, da die technischen Gemeindedienste mangels Erfahrungen hierfür nur eingeschränkt qualifiziert sind;
- andererseits soll der Staat die Einzelprojekte koordinieren und dafür Sorge tragen, dass etwa bei konstruktiven Schutzmassnahmen der Schutz einer Ortslage nicht auf Kosten des Unter- oder Oberlieggers erfolgt.

Genau diesen zweiten Aspekt behandeln die nachfolgenden Ausführungen aus Sicht des Anwenders am konkreten Fallbeispiel: Wie kann sichergestellt werden, dass ein geplantes Schutzbauwerk den Unter- und Oberliegern keine neuen oder zusätzlichen Hochwasserschäden zufügt?

2 Beschreibung der Problemstellung

Es ist unbestritten, wenn auch hart in der Aussage für die vom Hochwasser Betroffenen, dass überflutete Wohn- und Geschäftsviertel sowie Industriegebiete mit hochwertigen Nutz- oder Produktionsgütern zum gewässereigenen Retentionsraum gehören. Warum dieses hohe Schadenspotential ausgerechnet in der Talauie in unmittelbarer Nähe zum potentiell Hochwasser führenden Fluss angesiedelt wurde, sei jetzt nicht das Thema und wird spätestens seit der Auftretenshäufung der Hochwasserereignisse intensiv und kontrovers diskutiert.

Der angesprochene Rückhalteraum wird nun jedoch durch konstruktive Massnahmen wie Schutzmauern und -dämme abgetrennt vom über die Ufer tretenden Fluss, dessen Ausbreitungsraum damit weiter verengt wird. Im vorliegenden Fallbeispiel in Diekirch handelt es sich um ca. 300'000 m³, welche dem HW-Rückhalt durch ein einzelnes Schutzbauwerk verloren gehen.

Die Anrainer, zu deren (relativen) Schutz das Bauwerk errichtet wird, sehen diese Tatsache natürlich mit anderen Augen als die ungeschützten oder noch nicht betroffenen Ober- bzw. Unterlieger.

Um diesen verschiedenen Ansichten Rechnung zu tragen, wird von den zuständigen staatlichen Dienststellen gefordert, dass eine Schutzmassnahme nur dann genehmi-

gungsfähig sei, wenn der Nachweis ihrer Schadensfreiheit für Ober- und Unterlieger erbracht werden kann. Diese Forderung hat sich insbesondere bei den in Luxemburg beliebten öffentlichen Projektvorstellungen als hilfreich erwiesen, da nur so eine breite Akzeptanz und Solidarität auch von den Nachbargemeinden erzielt werden kann. Es ist bei solchen Projekten guter Brauch, den von einer oberhalb geplanten Schutzmassnahme Betroffenen nicht von *vernachlässigbarem* Impakt zu berichten, sondern darauf zu bestehen, dass das geplante Schutzbauwerk mindestens hydrologisch und hydraulisch neutral für die Ober- und Unterlieger ist.

Die Darlegung der diesbezüglichen Nachweise mit Einbindung des bestehenden Instrumentariums ist der Themenschwerpunkt dieses Vortrags.

3 Die hydraulischen und hydrologischen Nachweisverfahren

Parallel zu den verschiedenen lokalen und regionalen Massnahmenkatalogen wird seit einigen Jahren i.A. des Luxemburger Zivilschutzes am Erstellen eines Hochwasserfrühwarnsystems für das Einzugsgebiet der Sauer (ca. 4000 km²) gearbeitet. Dieses System, welches sich derzeit in der flussgebiets- und pegelorientierten Feinkalibrierungsphase befindet, beruht auf einem computergestützten Niederschlag-Abflussmodell, welches im Endausbau mittels durch Online-Klima- und Abflussdaten gesteuerten Simulationen zuverlässige Risikovorhersagen und Frühwarnungen der Bevölkerung sowie der Not- und Rettungsdienste ermöglichen soll.

Mit diesem Modell wurde auch die abgelaufene Hochwasserwelle vom Januar 1993 an Hand der Pegelaufzeichnungen abgebildet. Dieses Januarhochwasser hat an fast allen grösseren Flüssen und Bächen in Luxemburg zu erheblichen Sachschäden geführt. Während insbesondere im südlichen und westlichen Alzetteeinzugsgebiet noch zusätzlicher Bedarf an der Vervollständigung der Datenlage besteht (insbesondere betrifft dies eine Reihe von Pegelabflusskurven und die Modellierung der Basisabflüsse), so konnte das damalige Abflussverhalten an der Mittelsauer im Diekircher Raum recht realitätsgetreu abgebildet werden.

Das berechnete Hydrogramm basierend auf einem Einzugsgebiet von ca. 2'200 km² dient nun als Eingangsdatengrundlage zur Abschätzung, inwiefern eine geplante lokale Schutzmassnahme Auswirkungen auf Unterlieger hat. Natürlich kann umgekehrt auch nachgewiesen werden, ob etwaige Ausgleichsmassnahmen die gewünschten Effekte haben, jeweils bezogen auf das Bemessungshochwasser mit bekannter Eingangswelle und auf die durch das HWS-Projekt veränderten Welle.

Die praktische Anwendung dieses **hydrologischen Nachweises** mittels NA-Modell wird gezeigt an Hand einer geplanten und sich bereits teilweise im Bau befindlichen

HWS-Massnahme in Diekirch, des sogenannten Loses XIII des bereits angeführten Massnahmenkatalogs für die Mittelsauer zwischen Ingeldorf und Bettendorf.

Die Abflussbildung wird an dieser Stelle als gegeben hingenommen, prinzipiell beruht der Nachweis auf der Berechnung der Wellenverformung mit den implementierten und bekannten Berechnungsverfahren wie *Muskingum-* oder *Kalinin-Miljukow-*Verfahren. Das bestehende, notwendigerweise grobe, Flussgebietsmodell wird zu diesem Zweck in den betrachteten Sauerabschnitten verfeinert. Im Grobmodell für kilometerlange Flussabschnitte gültige repräsentative Querschnitte werden ersetzt durch das Einfügen neuer Gewässerknoten und der lokal realen Flussquerschnitte samt ihren hydraulischen Charakteristika wie hydraulischen Grenzen, Flussschlauch- und Vorlandrauhigkeiten und Bewuchsparametern.

Das eingesetzte Modell erlaubt es weiterhin, gezielt die quasi strömungslosen Überflutungsbereiche als sogenannte „Vorlandspeicher“ abschnittsgenau zuzuordnen. Die Volumina dieser Speicher können durch ein 3-D-Geländemodell mittels der bestehenden topografischen Datenbanken („BD-Topo“), vervollständigt durch gezielte Geländeaufnahmen, recht genau quantifiziert werden. Das Geländemodell wird an Hand der dokumentierten Überflutungsdaten (Luftaufnahmen, ex-post topografisch aufgenommene Wasserstände u.ä.) kalibriert. Mittels einem Wasserspiegellagenprogramm kann auch recht genau ermittelt werden, ab welcher Geländehöhe und somit zu welchem Zeitpunkt der Welle vom Januar 1993 der betreffende Speicher aktiviert, sprich befüllt wurde, bzw. wann er auf dem absteigendem Ast der Welle wieder auslief. Die „historische“, gerechnete Eingangswelle wird demnach genau an der Stelle der geplanten Schutzmassnahme detailliert und neu berechnet, um somit als Referenzwelle zu dienen, an Hand derer die eventuellen nachteiligen Einflüsse der HWS-Massnahme für einen definierten, unterhalb gelegenen Beobachtungspunkt quantifiziert werden können.

Der **hydraulische Nachweis** der genaueren Veränderung der mittleren Fließgeschwindigkeiten und der Wasserstände wird erbracht mit dem bekannten Instrumentarium der querprofilorientierten stationäre Wasserspiegellagenberechnungen. Hierbei wird für eine Serie von Hochwasserabflüssen die Entwicklung der mittleren Geschwindigkeit über die betroffenen Flussstrecken berechnet, und so die Geschwindigkeit der durchgehenden Welle für bestimmte charakteristische Abflüsse weiter dokumentiert. Falls, wie im vorliegenden Beispiel, das HWS-Bauwerk ausserhalb der hydraulischen Grenzen errichtet wird, tendiert der Impact auf das Geschwindigkeitsprofil quasi gegen null; einzig die Erhöhung des Scheitelabflusses verändert die Fließgeschwindigkeiten und die Wasserspiegellagen.

4 Ergebnisse & Schlussfolgerungen

Für das Fallbeispiel der *lokalen* HWS-Massnahme in Diekirch ergaben die hydrologischen und hydraulischen Nachweisberechnungen folgende Ergebnisse:

- Erhöhung des Scheitelabflusses um ca. 0,04 % (ca. 0,20 m³/s)
- Zeitliche Stauchung der Welle bis zum Scheitelabfluss um ca. 2,5 Minuten (entsprechen 1 bis 3 Modellzeitschritten)
- Erhöhung der HW-Fliessgeschwindigkeiten lokal um ca. 0,01-0,03 m/s (infolge Zunahme des Scheitelabflusses)
- Erhöhung der Wasserspiegel lokal um ca. 0,01 m

Es kann festgestellt werden, dass die „Verschlechterungen“ der hydrologischen und hydraulischen Parameter sich als sehr geringfügig erweisen. Auch befinden sich die lokale Zunahme der Fliessgeschwindigkeit und die (ebenfalls nur lokale) Erhöhung des Wasserspiegels zumeist innerhalb der Genauigkeitstoleranzen des Berechnungsprogramms.

Nun ist es aber so, dass die besprochene Schutzmassnahme Teil eines *regional wirksamen* Gesamtmassnahmenkatalogs ist, der sich über mehr als 8 Flusskilometer erstreckt. Neben der konstruktiven Massnahme in Diekirch sind entlang dieses Flussabschnitts weitere Schutzmassnahmen wie Dämme und Absperrmauern geplant oder bereits realisiert. So sind folgende Projekte zu erwähnen:

- HW-Schutz Ingeldorf (Wegfall von ca. 65'000 m³ Rückhalteraum, grösstenteils im hydraulisch wirksamen Profil)
- HW-Schutz Diekirch-Gare (Wegfall von ca. 110'000 m³ Rückhalteraum, teilweise im hydraulisch wirksamen Profil)
- HW-Schutz Gilsdorf (Wegfall von ca. 130'000 m³ Rückhalteraum)
- HW-Schutz Bettendorf (Wegfall von bis zu 520'000 m³ Rückhalteraum, je nach Variante, teilweise im hydraulisch wirksamen Profil)

Summa summarum ergibt sich somit ein Ausfall von ca. 1'125'000 m³ Speichervolumen auf dem betrachteten Flussabschnitt von ca. 8 Kilometern.

Verlegt man nun den Beobachtungspunkt nach unterhalb der Ortslage Bettendorf, gelegen am unteren Ende des regionalen Projektabschnittes, und zieht man den potentiellen Gesamtverlust an Rückhaltekapazitäten infolge der geplanten Schutzmassnahmen in Betracht, so sieht die Abschätzung der hydrologischen bzw. hydraulischen Einflussparameter bereits auf Basis des Grobmodells etwas anders aus:

- Erhöhung des Scheitelabflusses um ca. 0,5 % (ca. 3,0 m³/s)
- Zeitliche Stauchung der Welle bis zum Scheitelabfluss um ca. 10 bis 20 Minuten
- Erhöhung der HW-Fliessgeschwindigkeiten um bis zu 0,04 m/s (infolge Zunahme des Scheitelabflusses)
- Erhöhung der Wasserspiegel lokal um bis zu 0,04 m

Es handelt sich nun nicht mehr um geringfügige Veränderungen mit negativem Trend, sondern um bereits „spürbare“ Effekte. Die Verkürzung des ansteigenden Astes des Hydrogramms um ca. 20 Minuten kann als tatsächlicher Verlust von Vorwarnzeit erheblichen Mehrschaden bewirken. Gleiches gilt für die Erhöhung des berechneten Wasserspiegels in Folge der Erhöhung des Scheitelabflusses. Sekundäre Effekte wie die Erhöhung der Sohl- und Böschungsschleppspannungen mit potentiell grösseren Erosionsschäden an Gebäuden und Flussquerschnitt sind für eine Schadensbilanz nur schwer zu erfassen und müssen wohl pauschal als gegeben angenommen werden. Es ist anzumerken, dass im detaillierteren Modell diese Effekte in absoluten Zahlen lokal wohl noch eindeutiger ausfallen werden. Im Gesamtkontext der HW-Welle sind diese Änderungen immer noch relativ klein, jedoch spielen sich diese Änderungen auch auf einem sehr beschränkten Abschnitt des Einzugsgebiets ab.

Es stellt sich also heraus, dass die staatliche Vorgabe, *lokale* Schutzmassnahmen im *regionalen und überkommunalen Kontext* zu untersuchen, durchaus sinnig ist und eine kumulative Betrachtung der Einflüsse von Einzelmassnahmen erst ermöglicht.

In diesem Sinn werden konsequenterweise die im Einzelfall nur geringfügigen negativen Effekte der Schutzmassnahme als nicht vernachlässigbar bewertet und also gefordert, im Interesse aller Unterlieger, dass die negativen hydrologischen und hydraulischen Impakte des Verlustes von Retentionsraum mittels Ausgleichsmassnahmen zu kompensieren sind.

Der Vollständigkeit halber sei angemerkt, dass die Oberlieger vom vorliegenden Projekt nicht negativ betroffen sind, da die Wasserspiegelerhöhungen nicht bis zur nächsten oberhalb gelegenen Ortslage reichen.

4 Art und Wirkung der Ausgleichsmassnahmen

Diese Ausgleichsmassnahmen wurden bereits im Vorfeld der Ausschreibung des Schutzbauwerks realisiert und führten zu einer Querschnittsaufweitung und Uferabflachung der Sauer auf beiden Uferseiten entlang der Schutzmassnahme. Hierbei wurden ca. 45'000 m³ Erdmaterial abgebaggert, welche teilweise wieder zum Bau des Schutzbauwerks benutzt werden.

Die geplante Wirkung der Ausgleichsmassnahmen sollte auf dem Konzept beruhen, den Verlust von hydrologischem Rückhalteraum ausserhalb der hydraulischen Grenzen im hydraulisch abflusswirksamen Querschnitt wieder herzustellen. Die Fliessgeschwindigkeiten im Vergleich zur Situation im Januar 1993 sollten dabei soweit herabgesetzt werden, dass die zeitliche Stauchung der Welle komplett wieder aufgehoben werden soll. Populär ausgedrückt, sollen die 300'000 m³ stehendes Wasser, welches durch das Schutzbauwerk in fliessendes Wasser verwandelt werden, durch die Ausgleichsmassnahme mit einer langsamer abfliessenden Gesamtwelle ersetzt werden. Während der vorige Rückhalteraum erst ab einem bestimmten Abfluss geflutet und somit wirksam wurde, spielt der strömungsverlangsamende Effekt der Ausgleichsmassnahmen bereits in den kleinen Abflussbereichen und bleibt auch bei den grösseren Abflüssen erhalten.

Die hydrologischen und hydraulischen Effekte wurden nicht nur für den Sofortzustand nach Abschluss der Bautätigkeit (den sogenannten Planzustand) berechnet, sondern die Flusssdynamik wurde mit einbezogen, indem unterstellt wurde, dass bis zu 25 % der neugewonnenen Querschnittsfläche in den nächsten Jahren wieder zu-sedimentieren werden.

Nachfolgend in Kurzform die Berechnungsergebnisse im Vergleich zur Eingangswelle vom Januar 1993, welche das Funktionieren des Konzepts belegen mögen:

- Verringerung des Scheitelabflusses um ca. 0,08 % (ca. 0,45 m³/s)
- Zeitliche Dehnung der Welle bis zum Scheitelabfluss um max. 2 Minuten
- Verringerung der HW-Fliessgeschwindigkeiten um ca. 0,05-0,30 m/s (infolge Situierung im hydraulisch wirksamen Querschnitt und in weit geringerem Masse durch Abnahme des Scheitelabflusses)
- Abnahme der Wasserspiegel um bis zu 0,25 m im HW-Fall

Positive Nebeneffekte ergeben sich einerseits durch die Verringerung der aktiven bzw. passiven Erosionskräfte in Folge der verringerten Fliessgeschwindigkeit und der kleineren Böschungsneigungswinkel. Andererseits sind ökologische Mehrwerte ge-

schaffen worden, die sich ausdrücken im Aufdecken von alten Kiesschichten als zusätzliche Fischlaichgründe und in der Schaffung von Flachwasserzonen, in denen wertvollere tierische und pflanzliche Biotope entstehen konnten.

6 Zusammenfassung der Erkenntnisse

Aus den vorangehenden Ausführungen geht hervor, dass konstruktive Hochwasserschutzbauwerke mit als Folge Rückhalteraumverlust negative Effekte für Unterlieger haben. Diese Effekte sind mit dem vorhandenen Instrumentarium eines NA-Modells, und insbesondere den implementierten Flood-Routing-Verfahren, nachweisbar und quantifizierbar.

Es hat sich in der Praxis gezeigt, dass selbst geringfügige nachteilige Effekte den Unterliegern, sowohl den kommunalen Instanzen als auch der betroffenen breiten Öffentlichkeit, nicht vermittelbar sind. Im Interesse eines zügigen Vorgehensweise in Bezug auf Planung, administrative Prozeduren und Umsetzung, und um verzögernde juristische Schritte zu vermeiden, erscheint es geboten, für den Retentionsraumverlust Ausgleichsmassnahmen zu konzipieren und deren Auswirkungen argumentativ darzulegen.

Im Sinne der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie dienen die Ausgleichsmassnahmen dabei auch, aber nicht nur, als „vertrauensbildende“ Massnahme bei der Einbeziehung der Öffentlichkeit in HWS-Projekte, sondern ermöglichen vor allem eine regionale, wenn möglich sogar einzugsgebietweite Bewirtschaftung der HW-Rückhaltekapazitäten sowie deren Schutz, bzw. wie im vorliegenden Fallbeispiel, deren mindestens gleichwertigen Ersatz.

Schlussendlich können Ausgleichsmassnahmen, wie hier beschrieben, durchaus landschaftsgestalterische und ökologische Mehrwerte schaffen sowie einen Anreiz zu einer naturnäheren Uferbewirtschaftung darstellen.