

Einflüsse von Rodung und von Einengung der Flußauen auf Hochwasserspitzen

Prof. Dr.-Ing. Ekkehard Heinemann, Fachhochschule Köln

1. Einführung

Die Ursachen für das Auftreten gesteigerter Hochwasserabflüsse sind zu vielfältig, um diesbezügliche Anteile klar zuordnen zu können. Der Begriff "Anthropogene Einflüsse" ist im Rahmen der Wasserwirtschaft bereits stark strapaziert worden, ohne daß die entsprechenden Auswirkungen quantifiziert worden wären. Meist fehlen präzise Angaben über die Zeit vor großen Rodungsperioden (dies gilt auch für Mitteleuropa) und Vergleiche mit anderen Gebieten sind wegen der klimatischen Unterschiede kaum zweckmäßig. Anhaltswerte lassen sich gelegentlich über abflußbeschränkende Bauwerke ermitteln, wie nachfolgend am Beispiel des Rheins bei Köln gesehen.

Weiterhin zeigen hydraulische Ansätze, daß Flußauen aufgrund Ihrer Breite und ihres Bewuchses durch Zwischenspeicherung Hochwasserspitzen abmildern. Die Berechnungsmethoden werden angeführt und die Wirkungsweise in Zahlenbeispielen verdeutlicht.

2. Entwicklung von Hochwasserabflüssen

In der Zeit von etwa 300 bis 900 nach Christi Geburt kreuzte eine Holzbrücke auf Steinpfeilern den Rhein ca. 80 m unterwasserseitig des Kölner Pegels (Abbildung 1). Aufgrund des erreichten Alters von etwa 600 Jahren darf erwartet werden, daß die hölzerne Tragkonstruktion durch höhere Wasserstände verbunden mit Treibeis und Geschwemmsel nur selten

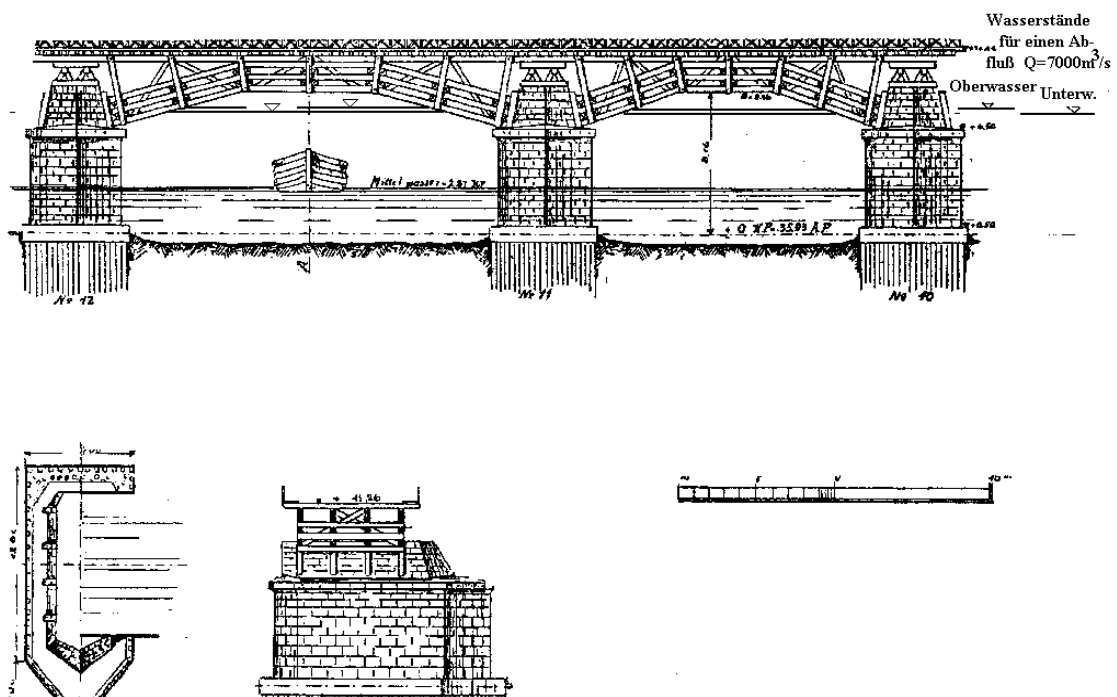


Abb. 1: Mittelteil der römischen Brücke in Köln zwischen 300 und 900 n. Chr.

(und dann auch nur in geringem Umfang) beansprucht wurde. Andernfalls wäre der Unterhaltungsaufwand nicht über einen derart langen Zeitraum tragbar gewesen.

Mit Hilfe der Ende des letzten Jahrhunderts vermessenen Pfeilergründungen, der notwendigen Rampen und anderer Bauwerksfunde wurde die Bauwerksform damals soweit rekonstruiert, daß darauf Abschätzungen bezüglich der hydraulischen Leistungsfähigkeit aufgebaut werden können [1].

Größere Änderungen der Sohlage des Rheins sind erst durch unterschiedliche Maßnahmen im Laufe des letzten Jahrhunderts ausgelöst worden. Das hier maßgebliche Gefälle unterwasserseitig des Kölner Pegels hat sich auch später nur wenig verändert. Weiterhin wird aufgrund von Funden rheinnaher Bauwerksgründungen dem damaligen Mittelwasser in Köln etwa die heutige Höhe zugewiesen [4]. Diese Sachverhalte erlauben den Schluß, daß eine Abflußtafel vom Anfang des 19. Jahrhunderts bezüglich des Unterwassers an der Römerbrücke zumindest die Abschätzung der Größenordnung und damit die Ermittlung von Hochwasserabflüssen ermöglicht, die zur Zeit der Römer kaum überschritten wurden.

Im dargestellten Brückenabschnitt (Abbildung 1) sind der Unterwasserstand und der durch Pfeilerstau bewirkte Oberwasserstand für einen Abfluß von 7000 m³/s eingetragen. Es wird deutlich, daß für den

angesetzten Abfluß schon eine Beanspruchung der Holzkonstruktion durch Treibgut erfolgen würde. Außer dem Treibeis wird ferner der Umfang treibender Hölzer aus den nicht bewirtschafteten Wäldern wesentlich höher gewesen sein. Aber auch jetzt ist der Anfall an Geschwemmsel ganz erheblich, wie während der Hochwasserereignisse im Dezember 1993 und im Februar 1995 beobachtet werden konnte. Ein auf schweren Stahlträgern gelagerter Fußgängersteg auf dem rechten Rheinufer wurde in beiden Fällen durch Treibgut zerstört.

Die Betrachtungen führen zu dem Schluß, daß Hochwasserereignisse mit Scheitelabflüssen von über 7000 m³/s während eines Zeitraumes von etwa 600 Jahren kaum aufgetreten sein dürften. Vergleicht man diesen Wert mit den während der letzten 100 Jahre aufgetretenen Jahreshöchstabflüssen, so wird eine erhebliche Veränderung gegenüber den Abflußverhältnissen zu römischer Zeit erkennbar. Während dieser Zeit wurde in über dreißig Fällen der geschätzte Grenzwert überschritten und bei vier Ereignissen sogar die Größenordnung von 11000 m³/s erreicht. Bezogen auf den angesetzten Grenzwert von 7000 m³/s entspricht dies einer Steigerung von über 50%. Die Bundesanstalt für Gewässerkunde ermittelte für die letzten hundert Jahre einen ansteigenden Trend mit etwa 13 m³/s und Jahr für den Rhein bei Köln [7].

Tabelle 1: Entwicklung des Waldes

12000 v. Chr. (Altsteinzeit)	Zunehmende Erderwärmung. Kältesteppe entwickelt sich zu Wald (Zeit nomadisierender Jäger und Sammler).
1800 v. Chr. (Bronzezeit)	Beginn der Nutzung von Wäldern für die Holzkohleproduktion zum Schmelzen der Erze, konzentriert auf wenige Erzlagerstätten.
Christi Geburt	Land schon dicht besiedelt. Ein Viertel der Landfläche gerodet.
800 (Karolingerzeit)	Anhaltende Rodungstätigkeit, auch in weniger siedlungsgünstigen Gebieten.
1000	Rodungen großen Ausmaßes, Wälder teilweise schon in desolatem Zustand.
1300	Angst vor Holznot (frühe Energiekrise). Erste obrigkeitliche Forstordnung („Weistümer“). Versuche, die hemmungslose Holznutzung und das ungezügelte Roden zu unterbinden.
1500	Wald auf seine heutige Ausdehnung zurückgedrängt (ca. 30% der Gesamtfläche). Danach Anfänge einer geregelten Forstwirtschaft.
1700	Mit Zunahme der Bevölkerung wieder Angst vor Holznot. Anstoß zu wissenschaftlich begründeter Forstwirtschaft. Erste Anbauversuche mit ausländischen Baumarten.
1800	Erste Meisterschulen. Später Fakultäten an Hochschulen. Nach 1825 intensive Wiederaufforstungsversuche. In Revolutionsjahren um 1848 nochmals viele Waldungen verwüstet, große Heidegebiete entstehen.
1850	Forstwissenschaft und Forstwirtschaft nehmen beträchtlichen Aufschwung. Auf großen Flächen entstehen ertragreiche Wälder.
1950	Wiederaufforstung der im Zweiten Weltkrieg und infolge der Reparationshiebe entstandenen ausgedehnten Kahlfleichen.
1975	Bundeswaldgesetz

Quelle: [6]

Historiker vermuten, daß die Konstantinbrücke wegen des entfallenen militärischen Nutzens aufgegeben wurde. Möglich erscheint jedoch, daß das Bauwerk aufgrund anwachsender Hochwasserabflüsse um 900 n. Chr. nicht mehr zu halten war. Als Ursache für den Anstieg der Hochwasserspitzen wären ausgedehnte Rodungsmaßnahmen anzunehmen. Hierzu kann die in Tabelle 1 wiedergegebene, kleine "Waldchronik" des zuständigen Bundesministeriums herangezogen werden [6]. Danach gab es um 800 n. Chr. eine anhaltende Rodungstätigkeit auch in weniger siedlungsgünstigen Gebieten und um 1000 n. Chr. befinden sich die Wälder teilweise schon in einem desolaten Zustand. Diese Entwicklung hat mit Sicherheit das Niederschlags-Abfluß-Verhalten sehr nachteilig beeinflußt und zu einem extremen Anwachsen der Hochwasserabflüsse geführt. Berichte über ausgedehnte Überflutungen in den Jahren 1096 und 1240 n. Chr. runden die Eindrücke aus den Betrachtungen zur Konstantinbrücke ab.

Ähnliche Entwicklungen zeichnen sich aktuell in den Ländern ab, die in Ermangelung anderer Brennstoffe oder um landwirtschaftlich nutzbare Flächen zu erweitern heute in größerem Umfang von Rodungsmaßnahmen betroffen sind. Zusätzlich zum hochwassersteigernden Effekt der Abholzung tritt eine verstärkte Erosion auf. Dabei wird nicht nur die Humusdecke von den Hängen abgetragen, sondern es erfolgt auch eine Aufhöhung der Täler, die in extremen Fällen zu langfristigen Unterbrechung von Straßen und Schienenwegen geführt hat. Als Beispiel sei die Eisenbahnverbindung zwischen Oruro und Cochabamba in Bolivien angeführt, deren Gleise nach Hochwasserereignissen durch Geschiebe des Arque-Flusses überdeckt sind. Die Nachteile nicht angepaßter Landnutzung treffen somit nicht nur Land- und Wasserwirtschaft sondern auch andere volkswirtschaftlich bedeutende Bereiche.

Der ansteigende Trend für die Hochwasserabflüsse ist nach einer Auswertung der Bundesanstalt für Gewässerkunde ebenso für die Niederschläge erkennbar. Diesbezüglich ist jedoch anzumerken, daß:

- im vergangenen Jahrhundert über einige Zeit auch ein umgekehrter Trend vorherrschte,
- die Veränderung von Niederschlagsintensitäten sowie saisonale Verschiebungen bei dieser Betrachtung noch unberücksichtigt blieben.

In den meisten tropischen Ländern sind hydrologische Daten noch nicht über einen hinreichend langen

Zeitraum erfaßt worden, um längerfristige Entwicklungen erkennen zu können.

3. Folgen der Rodung und der Einengung von Auenbereichen

3.1 Anthropogen geprägte Entwicklung von Flußauen

Natürliche Fließgewässer haben die Eigenschaft, daß Querschnittsform und Linienführung Änderungen unterworfen sind. In Zeiten umfangreicher Rodungen wird die verstärkte Erosion teilweise zur Aufhöhung der Täler geführt haben. Ähnliche Abläufe sind heute in einigen Ländern der dritten Welt zu beobachten. Im Auenbereich wurde das Wasser durch verästelte Gerinnesysteme abgeführt. Schon bei leicht erhöhten Abflüssen kam es zu großflächigen Überflutungen. Derartige Verästelungen gab es nicht nur am häufig zitierten Oberrhein, sondern auch an den Nebenflüssen der Donau, an der Elbe oberhalb von Hamburg bis in das heutige Stadtgebiet hinein und an vielen anderen Flüssen. Beispielhaft seien die Veränderungen für einen Abschnitt des Inn dargestellt (Abbildung 2). Erkennbar ist nicht nur die heute gegebene Konzentration auf einen Hauptvorfluter, sondern auch die nun mögliche intensive Bewirtschaftung des Landes im Auenbereich. Die damit ermöglichte wirtschaftliche Entwicklung wurde angestrebt und der Wasserbau trug und trägt dazu bei, die von der Gesellschaft vorgegebenen Ziele zu erreichen. Der Gewässerausbau war über Jahrzehnte mit der Vorgabe einer möglichst geringen Inanspruchnahme von Flächen durch den Vorfluter verbunden. Die höheren Fließgeschwindigkeiten in gestreckten Gewässern mit hydraulisch günstigen Querschnitten führten zur schnelleren Abführung gesteigerter Hochwasserspitzen, was häufig genug die Unterlieger zu einer Fortführung dieses Ausbaus zwang. Die Fortsetzung dieser Entwicklung führte insgesamt zu größeren Hochwasserabflüssen, die nachteilige Wirkung der vorhergehenden Rodungsmaßnahmen wurde somit noch verstärkt.

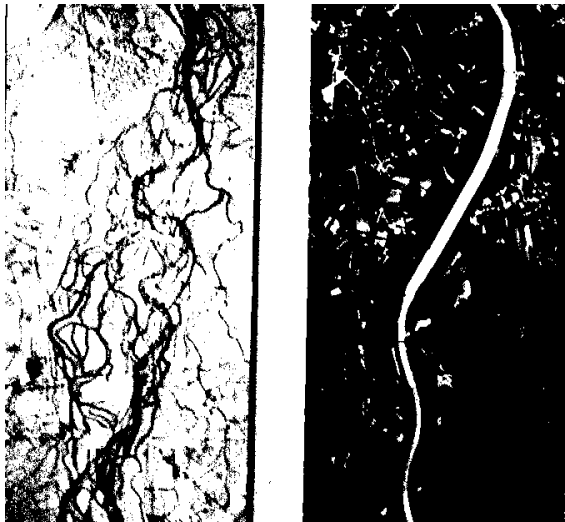


Abb. 2: Abschnitt des Inn nahe Rosenheim (links entsprechend einer alten Karte, rechts der heutige Zustand auf einem Luftbild)

3.2 Verändertes hydraulisches Verhalten nach Rodungsmaßnahmen

Während der letzten 10 Jahre wurde den Auswirkungen von Bewuchs auf die Strömung in Fließgewässern besondere Aufmerksamkeit gewidmet, da die in Mitteleuropa heute verstärkt angestrebte, naturnahe Gestaltung auf entsprechende Berechnungsansätze angewiesen ist [2,3,5]. Als Grundlage dient dabei der bisher für die Rohrhydraulik verwendete Reibungsansatz von Voisin-Weisbach mit dem Widerstandsbeiwert λ nach Colebrook-White oder nach Keulegan, wobei der durchströmte Bewuchs mit einem zusätzlichen Widerstandsbeiwert λ_p berücksichtigt wird. Durch die Entfernung von Bewuchs stellt sich bei gleichem Abfluß durch das Fließgewässer eine deutlich niedrigere Wassertiefe ein, was nachfolgend mit einem Zahlenbeispiel verdeutlicht werden soll.

Eine Flußaue soll auf einer Länge von 7 km gerodet werden. Das Längsgefälle beträgt etwa 1 ‰ und die Hochwasserabflüsse treten in einer Größenordnung von $HQ = 200 \text{ m}^3/\text{s}$ auf. Die Aue hat eine Breite von rund 50 m, anschließend steigt das seitliche Gelände unter einer Neigung von ca. $V:H = 1:4$ an. Das Tal weist einen Baumbestand mit einem mittleren Durchmesser von $d_p = 0,30 \text{ m}$ und einen Abstand zwischen den Stämmen (gemessen längs und quer zur Fließrichtung) von $a_x = a_y = 3,00 \text{ m}$ auf. Das Mittelwasserbett meandert innerhalb der Aue und der abflußbegünstigende Einfluß dieses bewuchs-

freien Bereiches ist deshalb bei Hochwasser vernachlässigbar gering.

Bei Ansatz des Normalabflusses (stationär-gleichförmiger Zustand) und einer Rauheit für die Talsohle von $k = 0,30 \text{ m}$ ergibt sich eine Wassertiefe von $h = 4,96 \text{ m}$.

Setzt man nach der Rodung die gleiche Rauheit für den Talboden an, so würde sich bei unverändertem Hochwasserabfluß eine Wassertiefe von nur $h = 2,22 \text{ m}$ einstellen. Sicherlich ist die Genauigkeit solcher Rechnungen aufgrund der notwendigen Annahmen und Vereinfachungen nur als grobe Schätzung zu werten. Diese zeigt allerdings, daß bei einer Länge von 7 km nach der Rodung

ein Volumen von etwa $1,5 \text{ Mio. m}^3$

weniger zurückgehalten werden und folglich die Hochwasserspitze mit erhöhtem Scheitelwert beschleunigt an die Unterlieger weitergeleitet wird.

Neben der verminderten Hochwasserretention ergeben sich durch die erhöhte Fließgeschwindigkeit Erosionsvorgänge, die unterstrom des Rodungsgebietes zu problematischen Verlandungen (Aufhöhung des Tales) führen.

3.3 Berechnungsverfahren zur Erfassung des Retentionseffekts (Minderung des Hochwasserabflusses)

Zur Erfassung der Wirkung von Fließgewässern mit Vorländern, die bei Hochwasser überstaut werden, ist die Betrachtung der instationären Abläufe innerhalb der Ausbaustrecke erforderlich. Der hierfür notwendige Rechenaufwand richtet sich nach den Anforderungen an die Ergebnisse und dem entsprechend verwendeten Rechenverfahren. Stärkere Vereinfachungen sind insbesondere mit den hydrologischen Verfahren verbunden. Die Anwendung des Muskingum-Verfahrens scheidet für die Erarbeitung einer Prognose völlig aus, da die erforderlichen Parameter erst aufgrund beobachteter Hochwasserganglinien ermittelt werden können. Das Kalinin-Miljukov-Verfahren läßt sich verwenden, wenn das Energieliniengefälle hinreichend genau dem Wasserspiegelgefälle entspricht und Vereinfachungen bezüglich des zwischengespeicherten Volumens zulässig sind. Eine wirklich zuverlässige Aussage ist aber auch hier erst nach zumindest einer Nachkalibrierung zu erwarten.

Weniger Einschränkungen bieten die hydraulisch-numerischen Verfahren, wie

- Charakteristikenverfahren
- Finites Differenzenverfahren
- Verfahren der Finiten Elemente

Schwierigkeiten bei der Simulation können sich dann ergeben, wenn sich nach dem Ausufern meandernder Gewässer die Hauptfließrichtung durch Überströmung der Vorländer so ändert, daß hierdurch eine Gefälleerhöhung entsteht.

Bezüglich des im Gewässer gespeicherten Wasservolumens ist die Geometrie von einmündenden Seitentälern zu berücksichtigen. Leichte Abminderungen in den Randbereichen sind zweckmäßig, wenn die Füllung und Entleerung seitlicher Räume entsprechende Gefälle quer zur Hauptfließrichtung erfordert.

Der durch die Reaktivierung von Gewässerauen erzielbare Retentionseffekt hängt von der Dauer des Hochwasserereignisses ab und beschränkt sich unter Umständen auf einige Prozente. Aber neben der

Minderung des Spitzenabflusses ist als weiterer Vorteil die weit deutlicher erkennbare Verzögerung der Hochwasserwelle anzuführen. Die Auswirkungen an einem relativ kurzen Gewässerabschnitt sollen an einem fiktiven Zahlenbeispiel verdeutlicht werden.

Ein Gewässer mit Ursprung am Mittelgebirgsrand wird nach einer längeren Fließstrecke geradlinig durch eine Aue geführt. Das Gefälle beträgt dort 2 ‰. Ein Ausufern soll zukünftig durch Deiche verhindert werden. Auf einer Länge von 3 km erscheint eine Reduzierung der Sohlbreite des Gewässers auf 1,50m Breite bei einer Böschungsneigung V:H = 1:3 möglich.

Der ursprünglich vorhandene Retentionseffekt wird auf der Basis einer vereinfachten dreieckförmigen Zuflußganglinie mit einem Spitzenabfluß von 15,5 m³/s untersucht. Die Zunahme des Zuflusses soll sich über 5 bzw. 10 Stunden und der Rückgang über 8,5 bzw. 17 Stunden erstrecken, um den Einfluß der Zeit auf das Geschehen zu verdeutlichen. Der Retentionseffekt wird für die ursprüngliche Breiten 10 m, 20 m und 50 m ermittelt. Die Dichte des dort vor-

WIRKUNG ÜBERFLUTETER GEWÄSSERAUEN (OHNE POLDERUNG):

VORAUSSETZUNGEN FÜR DIE BERECHNUNG DER AUSWIRKUNGEN

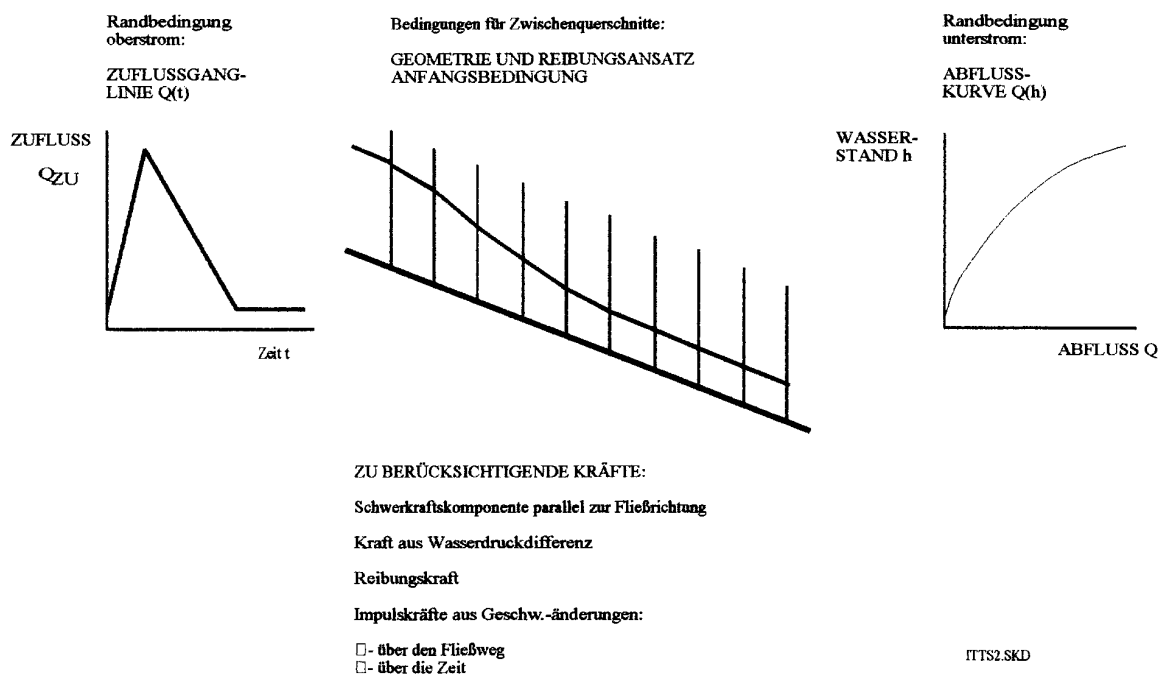


Abbildung 3: Voraussetzungen für die Berechnung instationärer Gerinneströmungen

handenen Bewuchses wird breitenabhängig variiert. Dies wird durch die Wahl der Rauheitsbeiwerte nach Manning-Strickler berücksichtigt.

Für die Untersuchung sind folgende Vorgaben notwendig (Abbildung 3):

- Oberstromseitige Randbedingung, hier die Zuflußganglinie
- Unterwasserseitige Randbedingung, hier die Abflußkurve des weiterführenden Gewässers
- Geometrie, Reibungsansatz und Anfangsbedingung für alle Querschnitte

Für die Durchführung der Untersuchung wurde das Charakteristikenverfahren verwendet.

Ergebnisse:

Die Gegenüberstellung der Zufluß- und der Abflußganglinie für einen der untersuchten Fälle (Abbildung 4) zeigt die Steigerung des Scheitelabflusses sowie die zeitliche Beschleunigung. Die erzielten Ergebnisse sind in nachfolgender Tabelle zusammengestellt:

Tabelle 2: Ergebnisse der Hochwassersimulation an einem 3 km langen Gewässerabschnitt

Varianten:		kurze Hochwasserwelle:		lange Hochwasserwelle:	
Ursprüngliche Breite	Beiwert nach Strickler	Abfluß-Erhöhung	Beschleunigung	Abfluß-Erhöhung	Beschleunigung
m	$m^{1/3}/s$	%	Stunden	%	Stunden
10	30	4	0,1	3	0,1
20	25	6	0,3	4	0,3
50	20	10	0,8	6	0,8

3.4 Vergleich mit anderen Untersuchungen

In einer 1990 an der TH Darmstadt durchgeführten Untersuchung [9] wurden die erzielbaren Minderungen des Scheitelabflusses für unterschiedliche Konzepte für das hessische Rheinufer berechnet. Dem Istzustand mit über 9400 ha Retentionsfläche ganz links wurde ein erweitertes Auensystem mit norma-

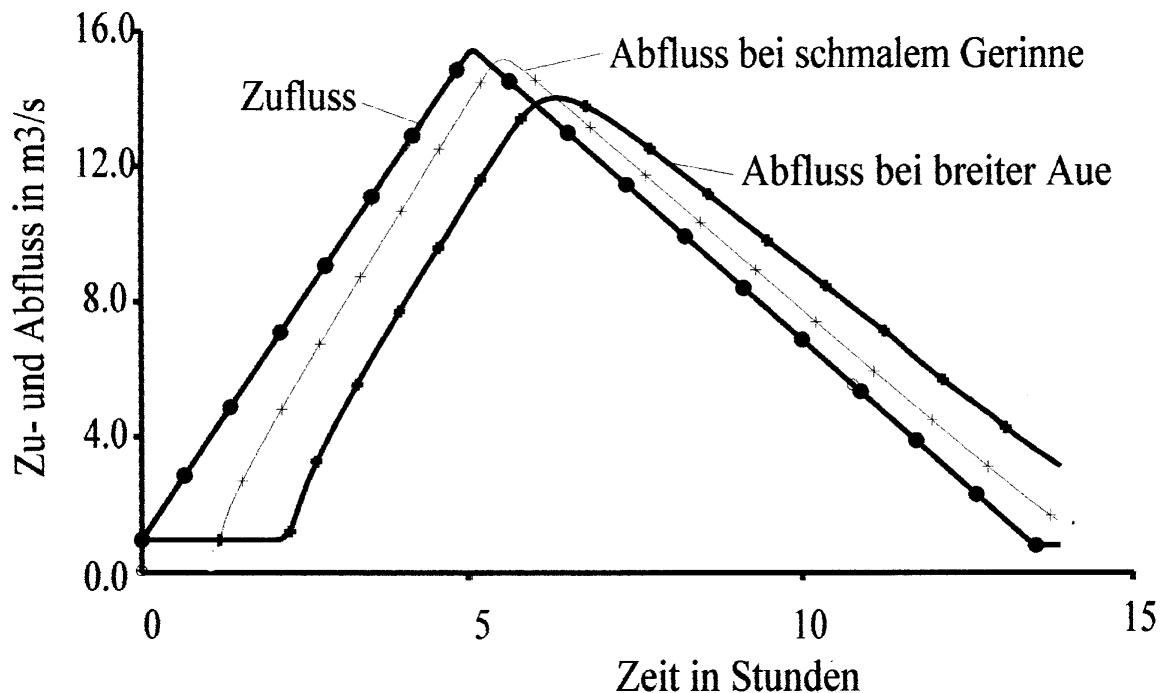


Abb. 4: Veränderung einer vereinfachten Hochwasserganglinie auf dem Fließweg durch ein schmales Gerinne und eine breite Aue

lerweise voll geöffneten Durchlässen gegenübergestellt. Die Steuerung dieser Durchlässe würde erst ab einem bestimmten Schwellenwert ausgelöst.

Als Ergebnis war festzustellen, daß sich ohne jede Beeinflussung durch Steuermechanismen keine nennenswerten Unterschiede gegenüber dem gegenwärtigen Zustand ergeben. Starke Abminderungen sind nur mit Steuerungssystemen möglich.

Eine andere Untersuchung der Bundesanstalt für Gewässerkunde [8] beschäftigte sich mit der Wirkungsweise der bestehenden hessischen Sommerdeiche auf die Ganglinien am Pegel Kaub. Als mögliche Alternativen zum Istzustand werden der volle Schutz der Polder mit entsprechender Deicherhöhung und der vollständige Wegfall dieser Deiche miteinander verglichen. Während sich beim langanhaltenden Hochwasser vom Mai 1970 keine nennenswerten Unterschiede zeigen, ist die Wirkung bei dem kürzeren und höheren Scheitel des Hochwassers vom Mai 1978 sehr deutlich. Das vorhandene System mit überlaufenden Sommerdeichen (als Polder) führte zu den günstigsten Ergebnissen.

Ohne Polderung zeigen auch andere Untersuchungen eine hochwassermindernde Wirkung der Auen in ähnlicher Größenordnung, wie sie durch die Berechnungen mit dem Charakteristikenverfahren erzielt wurden.

4. Zusammenfassung

Der Einfluß menschlicher Eingriffe auf die Hochwasserabflüsse wird an den Beispielen der Rodung und der Einengung von Gewässerauen besonders deutlich. Nachdem diese Entwicklung in Europa klar erkennbar ist, sollten vermeidbare Schäden der Dritten Welt erspart bleiben. Bei unvermeidlicher Änderung der Landnutzung sind begleitende Maßnahmen erforderlich, um eine Begrenzung der Auswirkungen zu erreichen. Das zukünftige Abflußverhalten (Größe und zeitlicher Ablauf) ist dabei von großer Bedeutung. Die Erfahrungen aus Gebieten mit ausgedehnten Rodungen sollten weitgehend bewertet und ebenso herangezogen werden, wie die heute verfügbaren Berechnungsansätze. Aufgrund der erzielten Ergebnisse darf vermutet werden, daß die Abholzung auch für die Wasserwirtschaft weit größere Nachteile mit sich bringt als die Eindeichung von Flüssen.

Literatur

- [1] Kraus, O: Die römische Rheinbrücke zu Köln und die Stadtmauer der Südseite. Bonner Jahrbücher 130 (1925) 232-235.
- [2] Rouvé, G. (Hrsg.): Hydraulische Probleme beim naturnahen Gewässerausbau. DFG Forschungsbericht. VCH Verlagsgesellschaft, Weinheim 1987.
- [3] NN.: Hydraulische Berechnung von Fließgewässern. DVWK Merkblätter 220/1991. Verlag Parey, Hamburg-Berlin 1991.
- [4] Holthausen, D.: Reliefentwicklung und Bodenkontamination der Kölner Altstadt seit der Römerzeit. Unveröffentlichte Diplomarbeit, Geographisches Institut der Universität zu Köln 1994.
- [5] Mertens, W: Zum Strömungswiderstand naturnaher Fließgewässer. Die Wasserwirtschaft 3 (1994) S. 138-141.
- [6] NN.: Unser Wald, Natur und Wirtschaftsfaktor zugleich. Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. Dezember 1994.
- [7] Ebel, U., H. Engel: Das "Weihnachtshochwasser" 1993/94 in Deutschland. Bayerische Rück, Sonderdruck 16.
- [8] Engel, H., M. Mürlebach: Hochwasserretention am Rhein, mögliche Maßnahmen und deren Auswirkungen. Deutsche Gewässerkundliche Mitteilungen 2/3 (1986).