



Wasserbauliche Studie

Hochwasserschutzmaßnahmen am Oberrhein

**Naturnahe Überflutung des Rheinwaldes
zwischen Neuenburg-Zienken und Breisach**

Bearbeitung: Prof. Dr.-Ing. habil. H. H. Bernhart
Dr.-Ing. Boris Lehmann
cand.-ing. Jens-Uwe Hermann
cand. geoökol. Anke Hofacker

Auftraggeber: Bundesamt für Naturschutz, Bonn

Karlsruhe, im Oktober 2005

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Einführung in die Thematik	1
2. Hochwasserschutzmaßnahmen südlich Breisach	3
3. Aufgabenstellung	5
4. Aufbau und Eichung eines 1-dimensionalen mathematischen Modells	6
5. Variantenstudium	7
5.1 Wirkung von Inseln im Flussbett	7
5.2 Wirkung von aufgelösten Sohlswellen im Flussbett	8
6. Bewertung der Ergebnisse	10
7. Zusammenfassung	13

24 Anlagen

Anhang 1: Theoretische Grundlagen der Untersuchung

Anhang 2: Modellaufbau und Kalibrierung

1. Einführung in die Thematik

Im Bereich zwischen Basel und Breisach floss der Rhein vor der Durchführung der von Tulla konzipierten Regulierungsmaßnahmen als weit verzweigter Wildstrom ab und bestimmte das Geschehen in der gesamten Niederung. Bei jedem größeren Hochwasserabfluss verlegte er seinen Lauf und schuf sich immer wieder neue Gewässerstrukturen. Die Kartenausschnitte in **Anlage 1**, die sich auf die örtliche Situation in den Jahren 1838 und 1852 beziehen, geben einen Eindruck von den damaligen Gegebenheiten.

Das in **Anlage 2** wiedergegebene Gemälde von Peter Birmann, das vom Maler mit „Blick vom Isteiner Klotz nach Süden in Richtung Basel“ titulierte wurde, ermöglicht einen sehr guten optischen Einblick in die damalige „Inselwelt“ am Oberrhein. Dieses Gemälde lässt den Eindruck aufkommen, dass es sich um eine idyllische Landschaft gehandelt hat, was bei den dargestellten Abflussbedingungen auch zutreffen mag. Wie trügerisch dieser Eindruck ist, kann in Berichten über den Ablauf von Hochwasserereignissen nachgelesen werden.

Die historischen Hochwassermarken am Isteiner Klotz, die aus den in **Anlage 2** beigefügten Fotos zu ersehen sind, geben Zeugnis von den starken Wasserspiegelschwankungen und der absoluten Höhe der Wasserstände. Diese Darstellungen belegen, warum vor der Rheinregulierung an eine anderweitige Nutzung der Gebiete in der Rheinaue nicht zu denken war. Sie machen auch verständlich, welche Bedeutung die von Tulla angestrebten Regulierungsmaßnahmen für die Rheinanlieger hatten. Aus **Anlage 3** sind zum Vergleich Ansichten der örtlichen Gegebenheiten am Isteiner Klotz vor der Tulla'schen Regulierung und der heutigen Situation mit einem Blick nach oberstrom (analog zu dem Gemälde von Peter Birmann in **Anlage 2**) zu ersehen.

Die Linienführung des geplanten Regulierungsbettes ist in **Anlage 1** mit angegeben. Tulla plante zwar ein, dass sich durch diese Maßnahmen das Rheinbett eintiefen würde, er konnte aber nicht wissen, dass einige Jahrzehnte später Eingriffe in das Flussregime zum Tragen kommen sollten, die den Geschiebetransport von oberstrom nachhaltig verändert haben: Durch den Bau der Staustufen am Hochrhein wurde der Weitertransport des Geschiebes von oberstrom unterbunden: Aus **Abb. 1** ist zu ersehen, dass vor dem Bau der Staustufen bei der Einmündung der Wiese mit einem Geschiebetransport von ca. 26 000 m³/Jahr zu rechnen war, während seit der Fertigstellung des Kraftwerkes Ryburg-Schwörstadt durch dessen Stauraum kein Durchtransport mehr möglich ist. Durch den Bau des Grand Canal d'Alsace, der mit dem Bau der Staustufe Kembs (Bauzeit 1928-1932) begann, wurde zudem die Wasserführung im Flussbett völlig verändert.

Aufgrund der Flussbegradigung und des gestörten Geschiebehaushaltes setzte eine stetig fortschreitende Sohleneintiefung ein. Da das Flussbett zudem nur mit einer geringen Restwasserführung beschickt wurde, veränderten sich die Randbedingungen für den Grundwasserhaushalt und die Überflutungshäufigkeit der früheren Auwälder gravierend. **Abb. 2** zeigt die Entwicklung der Sohlenerosion in der zeitlichen Abfolge. Aus dem oberen Foto in **Anlage 4** ist zu ersehen, dass das Flussbett kaum noch Wasser führt, da bis zu Rheinabflüssen von ca. 1.500 m³/s fast der gesamte Abfluss in den Kraftwerkskanal ausgeleitet wird und nur eine sehr bescheidene Mindestabgabe im Rheinbett verbleibt; das untere Foto in **Anlage 4** zeigt die örtliche Situation im Bereich des Kraftwerkes Ottmarsheim.

Aufgrund der sehr nachteiligen Folgen der Seitenkanallösung wurde für den weiteren Oberrheinausbau auf die Schlingenlösung umgeschwenkt und der Wasserspiegel im Rheinbett durch Querriegel angehoben. Damit ging die Abflussdynamik im Flussbett für Wasserführungen unter der Ausbauwassermenge der Kraftwerke vollends verloren. Aus den Fotos in **Anlage 5** ist die Gesamtsituation im Bereich der Rheinschlinge bei Rhinau sowie ein im Flussbett eingebauter Querriegel zu sehen.

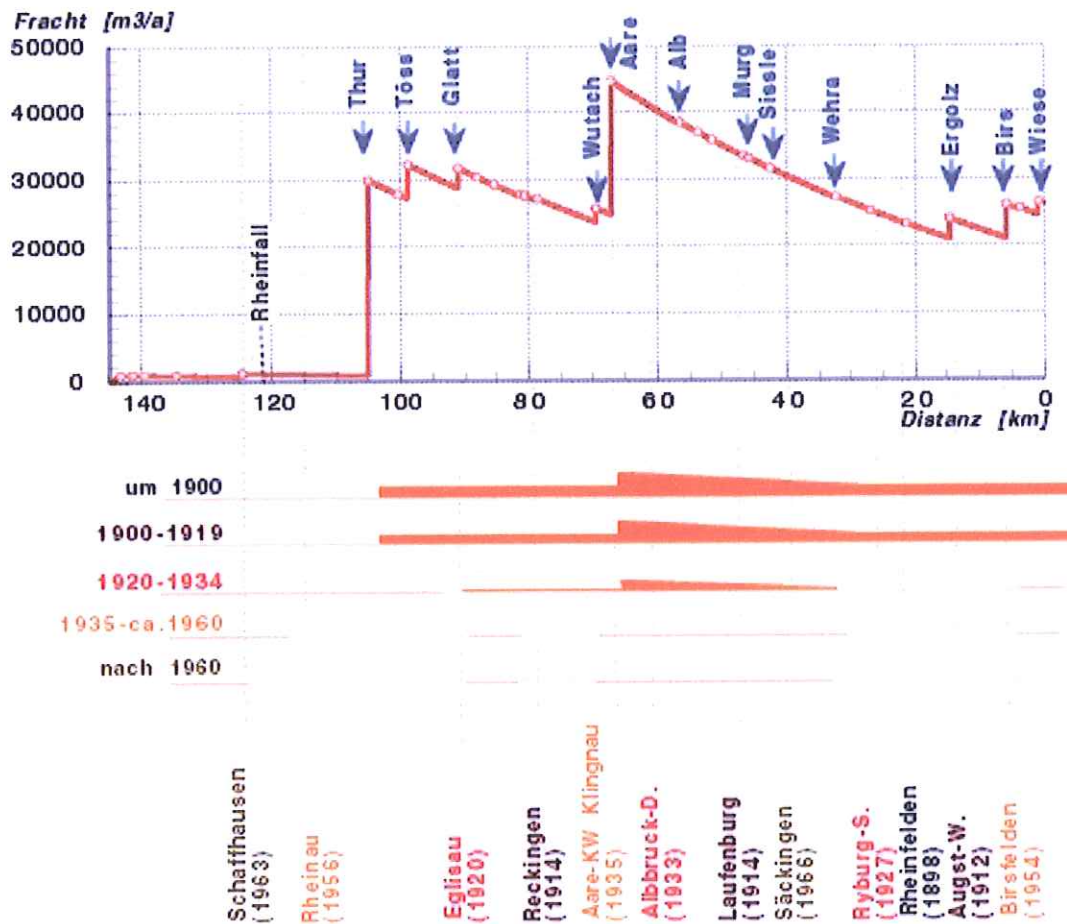


Abb. 1: Entwicklung des Geschiebehaushaltes seit 1900:

Oben: Längsprofil der mittleren jährlichen Geschiebefracht um 1900

Unten: Qualitative Entwicklung im Zusammenhang mit der Inbetriebnahme der Kraftwerke; die Dicke der waagrechten Balken deutet auf die Größe der Geschiebefracht hin. (Quelle: Bild 4.4, Bericht „Geschiebehaushalt Hochrhein“; Bearbeitung: Ing.-Büro Schälchli, Abegg + Hunzinger, Zürich und Institut für Wasserwirtschaft und Kulturtechnik, Universität Karlsruhe, i. A. des Bundesamtes für Wasser und Geologie, Biel und des Regierungspräsidiums Freiburg, 05. Juli 2000)

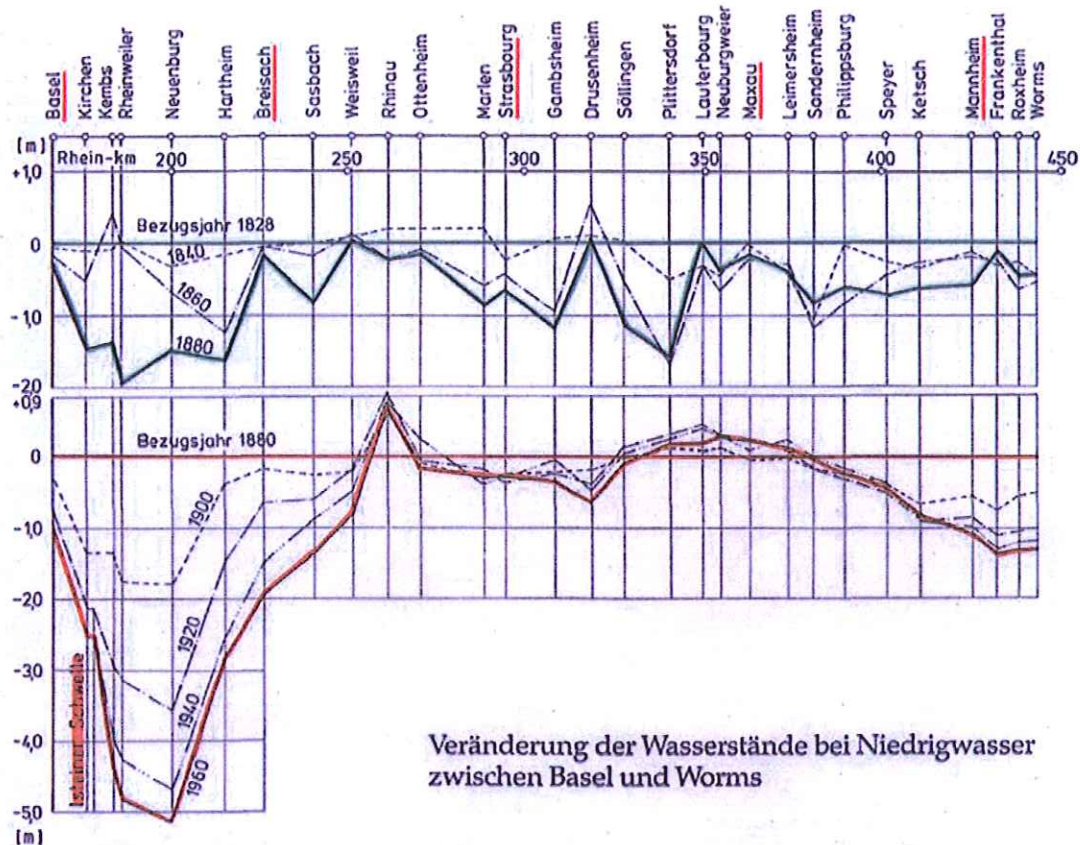


Abb. 2: Veränderung der Wasserstände infolge der Eintiefung der Rheinsohle

Für den Flussabschnitt nördlich von Straßburg wurde als weitere Ausbauvariante eine Staulösung im Flussbett gewählt. Aus Abb. 3 ist eine Bauphase während des Baus der Staustufe Gamsheim zu sehen: Die Hauptbauwerke, Wehranlage, Schleuse und Kraftwerk, wurden rechts und links des Mittelwasserbettes errichtet und abschließend das Flussbett durch einen Absperrdamm geschlossen. Das obere Foto in Anlage 6 zeigt diese Stauhaltung im fertiggestellten Zustand.

Die neuen Rheinhauptdeiche wurden an das frühere Mittelwasserbett herangerückt und die Auwälder, die als Hochwasserrückhalteräume dienten, wurden vom Flussregime abgetrennt. Der Blick entlang des Rheinhauptdeiches der Stauhaltung Iffezheim, der aus dem unteren Foto in Anlage 6 zu sehen ist, veranschaulicht diese Gegebenheiten.

2. Hochwasserschutzmaßnahmen südlich Breisach

Als Folge des Wegfalls der Rückhalteräume hat sich die Hochwassergefahr für die Unterlieger deutlich verschärft. Hinzu kommt die in den letzten Jahren zu beobachtende Tendenz einer Zunahme der extremen Abflussereignisse (gemäß Angaben des BWB, Biel, vom Nov. 1999 ist ein HQ1000 am Pegel Rheinfelden von 4 500 m³/s auf 5 000 m³/s angewachsen). Da die Hochwasserwellen sich aufsteilen und schneller ablaufen, treten hohe Wasserstände viel häufiger als früher auf und es werden auch höhere Scheitelwerte erreicht.

Die grafische Auswertung der Extremwerte der Wasserstände für den Pegel Maxau, die in Anlage 7 beigelegt ist, veranschaulicht dies eindrücklich: Im Jahrbuch von 1977 waren bei den zehn Extremwerten noch Hochwasserereignisse vom Ende des 19. und Anfang des 20. Jahrhunderts verzeichnet und auch Wasserstände von < 8 m dabei. In den aktuellen Jahrbüchern liegen die zehn Extremwerte alle deutlich über der 8 m-Marke und sie beziehen sich zudem nur noch auf den Zeitraum nach Fertigstellung des Oberrheinausbaus.



Abb. 3: Bau der Staustufe Gamsheim (Luftbild: „Wasserwirtschaft“, 1975, Heft 9)

Zur Wiederherstellung des Hochwasserschutzes sind im Rahmen des „Integrierten Rheinprogramms“ Maßnahmen geplant, mit denen Hochwasserschutz und Ökologie in Einklang gebracht werden sollen; ein Ausschnitt aus dem Titelblatt einer Broschüre des Ministeriums für Verkehr und Umwelt soll dies veranschaulichen (Anlage 7, unteres Bild).

Auch im Raum südlich von Breisach, in dem sich der Fluss so tief eingegraben hat (vgl. dazu Abb. 2), dass es nur noch bei sehr großen Abflüssen zu einer Überflutung der früher regelmäßig vom Hochwasser betroffenen Rheinwälder kommt, sind Maßnahmen geplant. Aus den Anlagen 8 und 9 sind Lagepläne dieses Gebietes zu ersehen und Anlage 10 enthält ein Luftbild des Bereiches bei Hartheim, aus dem sehr gut der früher überflutete Waldbereich zu ersehen ist.

Zur Verbesserung des Hochwasserschutzes müsste dieser Waldbereich wieder häufiger überflutet werden, um zum einen die Rückhaltung in diesem Gebiet zu reaktivieren und zum anderen auch eine Verzögerung des Abflusses zu erreichen. Um dies zu ermöglichen, sind prinzipiell zwei Wege denkbar:

- Anhebung des Wasserspiegels im Rheinbett, damit bei Abflüssen ab ca. 3 000 m³/s das Hochwasser in das Gelände abströmen kann oder
- „Tieferlegung des Geländes“ im Rheinvorland.

Von Seiten der Wasserwirtschaftsverwaltung des Landes Baden-Württemberg wurde nach Prüfung zahlreicher Varianten unter dem Stichwort „90m-Streifen“ eine Tieferlegung des Vorlandes der Öffentlichkeit vorgestellt und in das wasserrechtliche Verfahren eingebracht.

3. Aufgabenstellung

Im Interesse eines naturverträglichen Hochwasserschutzes soll im Auftrag des Bundesamtes für Naturschutz, Bonn, überprüft werden, ob eine „*Naturnahe Überflutung des Rheinwaldes ohne Wehr und ohne großflächige Auskiesung*“ zu realisieren ist, und ob dadurch eine wirksame Abflussminderung und Verzögerung des Wellenablaufes erzielt werden kann.

Da hierzu aufgrund der starken Sohlerosion eine deutliche Anhebung des Wasserspiegels bei Hochwasserabflüssen erforderlich ist, stellt sich zunächst die Frage, ob bzw. wie diese gegebenenfalls erfolgen kann. In einem naturnahen Flussbett kann die Wasserspiegellage durch eine Erhöhung der Fließwiderstände, z. B. dichter Bewuchs, und durch lokale Querschnittseinengungen, die zu einem Aufstau nach oberstrom führen, beeinflusst werden. Querschnittseinengungen wiederum können z. B. durch Inselstrukturen oder seitliche Einengungen, die als Vorschüttungen vom Ufer her eingebracht werden können, erreicht werden.

Zu überprüfen ist demnach als eine Möglichkeit, ob Inseln im Flussbett geschaffen werden können, auf denen sich zudem noch dichter Bewuchs entwickeln kann, gemäß dem Beispiel in Abb. 4, das einen Flussabschnitt der Donau östlich von Wien zeigt. Eine weitere Variante ist der Einbau aufgelöster Sohlschwellen analog zu der vor Ort vorhandenen Isteiner Schwelle. Die Fotos in Anlage 11 zeigen die dortigen natürlichen Gegebenheiten. Im Bereich dieser Schwellen ist zwischenzeitlich eine Höhendifferenz von mehreren Metern entstanden.

Bautechnisch kann eine vergleichbare Wirkung durch aufgelöste Schwellen in Blockbauweise erreicht werden; an der Isar in München wurden solche Maßnahmen kürzlich realisiert; vgl. Fotos in Anlage 12.

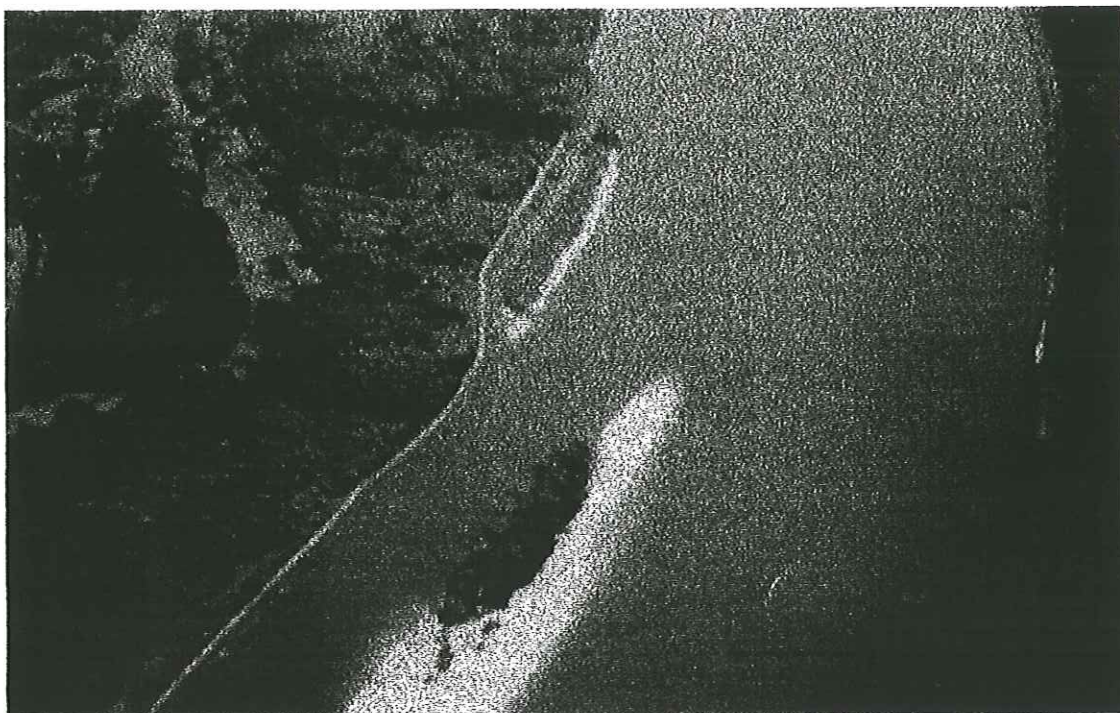


Abb. 4: Inseln in der Donau östlich Wien (Foto: B. Lötsch)

Mit einer solchen Variante kann durch die Ausleitung in die bisher nahezu hochwasserfreien Waldbereiche gezielt auf die Abminderung des Wellenscheitels und eine Verzögerung des Wellenablaufes hingewirkt werden. Da sich dieser an das Flussregime gekoppelte Rückhalteraum beim Abklingen der Hochwasserwelle mit entleert, steht er gegebenenfalls auch bei einer zweiten nachfolgenden Welle wieder zur Verfügung.

Wie sich dies auf die Hochwasserwelle und auf den weiteren Hochwasserablauf nach unterstrom auswirkt, müsste auch im Hinblick auf die Verschärfung des Abflussgeschehens durch instationäre Berechnungen überprüft werden.

4. Aufbau und Eichung eines 1-dimensionalen mathematischen Modells

Die Auswirkungen der zuvor erwähnten Maßnahmen auf den Wasserspiegelverlauf und die Fließgeschwindigkeiten können aufgrund der Ergebnisse einer 1-dimensionalen mathematischen Modellierung nur abgeschätzt werden. Daher war zunächst die Erstellung und Kalibrierung eines mathematischen Modells des zu untersuchenden Bereiches erforderlich. Die theoretischen Grundlagen für diese Untersuchungen sind im **Anhang 1** zusammenfassend erläutert.

Bei der Kalibrierung des mathematischen Modells musste insbesondere der Einfluss des auf den Uferböschungen und in den überströmten Vorlandbereichen vorhandenen Bewuchses berücksichtigt werden. Die Fotos in **Anlage 13** geben einen Eindruck von den unterschiedlichen örtlichen Gegebenheiten.

Der Aufbau des mathematischen Modells und dessen Kalibrierung sind im **Anhang 2** beschrieben. Der Bereich, der mit dem mathematischen Modell erfasst wurde, ist aus dem Lageplan, der im **Anhang 2** als **Abb. 3** beigelegt ist, zu sehen. In diesem Lageplan sind auch die für die Berechnungen verwendeten Querprofile angegeben.

Das mathematische Modell konnte erfolgreich kalibriert (geeicht) werden. Die Modelleichung wurde für Rheinabflüsse von $Q = 640 \text{ m}^3/\text{s}$, $1430 \text{ m}^3/\text{s}$ sowie $3040 \text{ m}^3/\text{s}$ überprüft. Die Übereinstimmung der Berechnungsergebnisse mit den für diese Abflüsse bekannten Wasserspiegellagen aus der Natur ist sehr gut (vgl. hierzu **Abb. 4, 5 und 6** im **Anhang 2**).

5. Variantenstudium

Um die angestrebte Retentionswirkung zu erreichen, muss der Wasserspiegel im Rheinbett so hoch angehoben werden, dass es bei Hochwasserabflüssen ab ca. $3\,000 \text{ m}^3/\text{s}$ zu Ausuferungen und zur großflächigen Überflutung der potentiellen Rückhalträume kommen kann. Daher wurde in dem mathematischen Modell überprüft, wie sich der Einbau von Inseln oder aufgelösten Schwellen in Blockbauweise (Sohlschwellen) auf die Wasserspiegellagen auswirkt.

Vergleichbare Untersuchungen wurden für die österreichische Donau östlich von Wien gemacht. Dort wurden die Ufer bei früheren Regulierungsarbeiten erhöht und wurden jetzt wieder abgesenkt, damit die Donau wieder früher als bisher in die Überflutungsflächen übertreten kann. Die Auswertungen in **Anlage 14** zeigen, dass je nach dem Ausmaß der Absenkung des Uferweges (1 m, 2 m oder 3 m) ein erheblicher Abflussanteil ausgeleitet werden kann, und dass bereits eine lokale Absenkung um nur 1 m eine sehr wirksame Maßnahme ist.

5.1 Wirkung von Inseln im Flussbett

Durch den Einbau von Inseln wird sich ein Aufstau nach oberstrom einstellen, der umso größer wird, je stärker der Abflussquerschnitt eingeengt wird. Die Querschnittseinengung kann jedoch nicht beliebig gewählt werden, da es bei einem zu starken Verbau bei der Umströmung der Inseln zu einer Beschleunigung des Abflusses kommt, die so stark sein kann, dass die Stabilität der Inseln nicht mehr gewährleistet wäre.

Für die Vergleichsberechnungen wurde als Bezugswert der abflusswirksame Querschnitt im Querprofil bei Rhein-km 210,600 bei einem **Rheinabfluss von $3\,040 \text{ m}^3/\text{s}$** gewählt. Der bei dieser Wasserführung vorhandene Abflussquerschnitt wurde zunächst um 35 % und dann um 50 % eingeengt.

Aus der oberen Grafik in **Anlage 15** ist der bei einem Verbaugrad von 35 % verbleibende Abflussquerschnitt im Querprofil bei Rhein-km 210,600 zu sehen. Mit eingetragen sind auch die berechneten Wasserspiegellagen und die Lagen der Energielinien mit und ohne diesen Verbau.

Die hier für die Berechnungen gewählte Form des Verbaus, die in der Grafik als senkrechter Balken dargestellt ist, ist nicht von Bedeutung.

Rechnerisch geht nur die dem Abfluss zur Verfügung stehende Fläche, unabhängig von deren Form, ein, da den Berechnungen die Kontinuitätsgleichung zu Grunde liegt:

$$\text{Abfluss } Q \text{ [m}^3\text{/s]} = \text{Fließgeschwindigkeit } v \text{ [m/s]} \times \text{Fläche } A \text{ [m}^2\text{]}.$$

Wie sich ein Verbau von 35 % auf die Wasserspiegellage oberstrom der Einbaustelle der Inseln auswirkt, ist aus der unteren Grafik in **Anlage 15** zu erkennen.

Auf eine grafische Wiedergabe der Ergebnisse für den Verbaugrad von 50 % wird verzichtet, da diese sich nicht grundsätzlich von den hier vorgestellten unterscheiden, sondern sich nur eine etwas höhere Wasserspiegelanhebung ergibt.

Der mit einem Querschnittsverbau durch Inseln zu erzielende Wasserspiegelanstieg kann aus den Berechnungsergebnissen, die in der folgenden Tabelle zusammengefasst sind, ersehen werden:

<i>Verbauungsgrad (%)</i> (1)	<i>Wasserstand [m+NN]</i> (2)	<i>WSP-Anstieg [cm]</i> (3)	<i>v mittel [m/s]</i> (4)
0	202,93	-	2,82
35	203,52	59	4,94
50	204,24	131	7,40

(1) = Querschnittseinengung, (2) = im Querprofil oberstrom der Einengung, (3) = Erhöhung des Wasserstandes durch den Verbau, (4) = mittlere Fließgeschwindigkeit im verbauten Querschnitt

Die Analyse dieser Ergebnisse zeigt, dass Querschnittseinengungen im Rheinbett allein nicht zielführend sind. Selbst bei einem Verbaugrad von 50 %, der weit über einer als „machbar“ einzuschätzenden Größenordnung liegt, könnte der Wasserspiegel nicht so weit angehoben werden, dass es zu großflächigen Ausuferungen in die Überflutungsflächen kommen würde. Da sich im Bereich der Inseln durch die Querschnittseinengungen zudem sehr hohe Fließgeschwindigkeiten einstellen, würden die Inseln zudem auch rasch wieder abgetragen.

Weil mit dem Querschnittsverbau allein durch Inseln kein Erfolg versprechendes Konzept zu erzielen ist, wurde im nächsten Schritt der Einbau von aufgelösten Sohlschwellen und deren Wirkung auf die Wasserspiegellagen untersucht.

5.2 Wirkung von aufgelösten Sohlschwellen im Flussbett

Durch den Bau von aufgelösten naturnah gestalteten Sohlschwellen in Blockbauweise, die in ihrer hydraulischen Wirkung einer flächenhaft ausgeführten Auffüllung des Flussbettes entsprechen, kann bei Hochwasserabflüssen ein Wasserspiegelanstieg erreicht werden, ohne dass es zu unzulässig hohen Fließgeschwindigkeiten kommt. Bei den neu entwickelten Bauweisen kann auch die Einbindung in das Flussbett gut gelöst werden, da die gewünschte Höhe der Schwellen über eine mehrere hundert Meter lange Strecke allmählich entwickelt werden kann. Die naturnahe Gestaltung gewährleistet die volle ökologische Durchgängigkeit; vgl. das Ausführungsbeispiel in **Anlage 12**.

Die Berechnungen wurden mit Schwellenhöhen von 2 m und 4 m wiederum für einen Rheinabfluss von 3 040 m³/s durchgeführt.

Abb. 5 veranschaulicht, wie sich solche Schwellen im Wasserspiegellängsschnitt auswirken. Die durchgezogenen roten Linien in **Abb. 5** entsprechen dem Wasserspiegelverlauf mit 2 m hohen und die grünen Linien demjenigen mit 4 m hohen Sohlsschwellen; die gestrichelten Linien beziehen sich auf den Verlauf der Energielinie. Der Referenzzustand ohne Einbauten ist blau eingezeichnet.

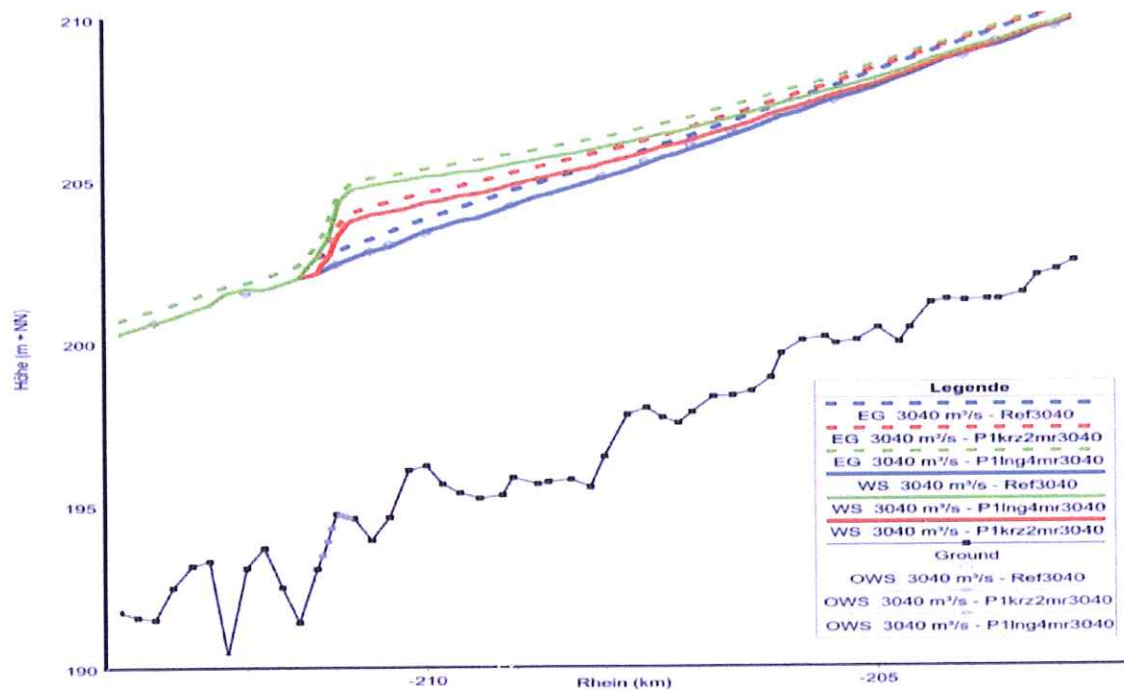


Abb. 5: Auswirkungen von Sohlsschwellen auf den Wasserspiegelverlauf nach oberstrom (durchgezogene rote Linie: Schwellenhöhe $H = 2$ m, durchgezogene grüne Linie: Schwellenhöhe $H = 4$ m, blaue Linie: Referenzzustand ohne Schwellen)

Die Darstellung der Wasserspiegellagen in ausgewählten Querprofilen, die aus **Anlage 16** zu ersehen ist, belegt, dass in diesem Bereich und bei diesem Abfluss mit der flacheren Schwelle ohne eine zusätzliche Absenkung des Leinpfades noch keine Ausuferung erreicht werden kann, dass aber mit der hohen Schwelle eine sehr gute Wirkung zu erzielen wäre. Der Bereich, in dem in den Berechnungen die Sohlsschwellen eingebaut wurden, ist in **Anlage 17** braun eingefärbt.

Da es bei sehr hohen Abflüssen (ab ca. 3 500 m³/s) auch derzeit zu Ausuferungen kommt, vgl. **Anlage 18**, stellt sich die Frage, wie sich die Sohlauffüllungen auf die Wasserspiegellagen bei extremen Hochwasserereignissen auswirken. Daher wurde der Aufstau in Abhängigkeit des Rheinabflusses ermittelt. Die in **Anlage 19** dargestellten Ergebnisse zeigen, dass die Wirkung der Sohlsschwellen infolge der bei steigenden Abflüssen immer größer werdenden Wassertiefe zwar abnimmt, aber selbst bei Abflüssen von 4500 m³/s oder größer ist je nach der Rauigkeit der neuen Flusssohle immer noch ein Aufstau im Rhein zwischen einem halben und einem Meter zu erzielen.

Aus diesen Ergebnissen können aber keine Rückschlüsse auf die Wasserspiegellagen am Hochwasserschutzdeich gezogen werden, da sich bei der Ausströmung in den Wald dort andere Höhen einstellen werden.

6. Bewertung der Ergebnisse

Als Fazit aus den in Kap. 5 vorgestellten Vergleichsberechnungen folgt, dass sich mit aufgelösten naturnah gestalteten Sohlschwellen von ca. 2-3 m Höhe in Verbindung mit einer Abgrabung des relativ hochgelegenen Uferbereiches eine Ausleitung des Hochwasserabflusses in die früheren Überflutungsflächen ab ca. 3.000 m³/s erzielen lässt. Um die Abflussbedingungen bei Niedrigwasserführungen nicht nachteilig zu beeinflussen, sind entsprechend ausgelegte Niedrigwasserrinnen zu integrieren.

Abb. 6 zeigt, dass das Gelände hinter dem Leinpfad tiefer liegt, so dass es bei einer Tieferlegung des Uferbereiches zur Einstromung in die Waldbereiche kommen kann.



Abb. 6: Übergang vom Leinpfad zum Überflutungsbereich: Blick von Rhein-km 211.200 nach oberstrom (Fotos: Bernhart)

Der Ausleitungseffekt könnte noch verstärkt werden, wenn im Bereich der Sohlschwellen Inseln mit Bewuchs integriert würden. Wie aus **Abb. 7** zu sehen ist, kommt es im Flussbett auch derzeit zur Ausbildung solcher Strukturen mit einem natürlichem Aufwuchs. Daher könnte es oberstrom der Schwellen aufgrund der verminderten Schleppkräfte verstärkt zu Ablagerungen kommen, auf denen sich Bewuchs entwickelt.

Genauere Aussagen hierzu sind auf Basis der vorliegenden Berechnungsergebnisse aber noch nicht möglich. Insbesondere können aus einer 1-dimensionalen Betrachtungsweise keine quantitativen Aussagen zur Retentionswirkung, die infolge einer Ausleitung ab ca. 3.000 m³/s erzielt werden könnte, abgeleitet werden. Dies war auch nicht Gegenstand der Untersuchungen.

Zielsetzung war, mit vergleichsweise geringem Aufwand eine erste rechnerische Abschätzung vorzunehmen, ob die Ausleitungen überhaupt realisiert werden können.



Abb. 7: Neu entstandene Rheininsel bei Neuenburg (Quelle: ILN, 77815 Bühl)

Wie sich Baumbewuchs auf das Abflussverhalten auswirkt, konnte u. a. auch in Modellversuchen, die im „Theodor-Rehbock-Laboratorium“ der Universität Karlsruhe durchgeführt wurden, nachgewiesen werden. In **Anlage 20** ist ein Foto wiedergegeben, das dies anschaulich belegt. Die rote Farbe wurde gleichzeitig über das gesamte Querprofil zugegeben: Während sie infolge der hohen Fließgeschwindigkeit im Flussbett dort schon weit mitgenommen wurde, blieb sie im Bereich des „Stangenwaldes“ hängen. Bei der Durchströmung von Waldbereichen kommt es immer zu einer erheblichen Verzögerung des Abflusses und einer Retentionswirkung, die aber nur mit aufwändigen 2-dimensionalen instationären Berechnungen quantitativ erfasst werden kann.

Mit einer Ausleitung in den Rheinwald ab Hochwasserabflüssen von ca. 3.000 m³/s ergibt sich im Vergleich zur Tieferlegung des Vorlandes eine veränderte Retentionswirkung, da die Scheitelabflüsse davon betroffen sind. Die im Hinblick auf den Hochwasserschutz im Flussabschnitt unterstrom von Iffezheim geplante Retention zielt nicht auf die Spitze der von Basel zufließenden Hochwasserwellen sondern auf deren ansteigenden Ast ab. Eine Retention, die auf die Scheitelabflüsse ausgelegt ist, würde zu anderen Wellenabläufen in der Strecke unterhalb führen.

Mit dem synoptischen Modell der Landesanstalt für Umweltschutz (LfU) des Landes Baden-Württemberg, Karlsruhe, werden die Berechnungen für den Einsatz erforderlicher Retentionsmaßnahmen durchgeführt. Beispiele für die Abflussganglinien des Kollektivs der Bemessungswellen aus diesem Modell sind in den **Anlagen 21 und 22** beigelegt. Gemäß einer Information des RP Freiburg, Projektgruppe Breisach, „handelt es sich in Basel bzw. in Breisach um Abflüsse, die unter Addition aller Nebenflüsse einen 200-jährlichen Hochwasserabfluss ohne geplante Retentionsmaßnahmen von 5.700 m³/s in Karlsruhe und 6.800 m³/s in Worms ergeben. Auf diese Hochwasserganglinien, 200-jährlicher Abfluss in Maxau und Worms, werden die Wirkungen der geplanten Hochwasserrückhalteräume und

des Sonderbetriebes der Rheinkraftwerke berechnet. Es ist hier zu erkennen, dass ein 200-jährlicher Hochwasserabfluss an den Pegeln nördlich der ausgebauten Rheinstrecke nicht in allen Fällen mit einem entsprechenden Hochwasserspitzenabfluss in Basel einhergehen muss. Es handelt sich im Wesentlichen um die typischen Eigenschaften von den im Abschlussbericht der Hochwasserstudienkommission definierten Winterhochwässern.“ (Schreiben des RP Freiburg an Prof. Bernhart vom 03.02.2005, AZ 40.24/3 mit Anlagen).

Vom RP Freiburg wurden 14 Ganglinien von Hochwasserabflüssen übergeben. Bei 10 Ereignissen bleiben die Wellenscheitel im Rheinabschnitt zwischen Weil und Breisach unter 3.000 m³/s (vgl. Beispiele in Anlage 21) und nur 4 Ereignisse liegen über diesem Wert. Die untere Ganglinie in Anlage 22 erreicht dabei mit ca. 3.750 m³/s den höchsten Abflusswert. Davon ausgehend wurden die Einsatzkriterien für den Rückhalteraum Kulturwehr Breisach, die nach Information des RP Freiburg, Projektgruppe Breisach auch für den Rückhalteraum Weil-Breisach gelten, wie folgt festgelegt: „Der Rückhalteraum Kulturwehr Breisach wird zur Hochwasserrückhaltung eingesetzt, wenn der Abfluss vor Ort 3400 m³/s überschreitet. [...] Bei dem Abfluss vor Ort handelt es sich um den Abfluss in Breisach, der sich zusammensetzt aus dem Abfluss des Rheinseitenkanals und des Rheines südlich Breisach.“ (Schreiben des RP Freiburg an Prof. Bernhart vom 28.01.2005, AZ 40.00 mit Anlagen).

In einem Schreiben der LfU an das Ministerium für Verkehr und Umwelt, Referat 55, vom 15.04.2002 (Az. 43.2-8961.453-14) wird dies bekräftigt: „Ziel ist nicht die Scheitelabminderung in diesem Bereich sondern der Eingriff in den ansteigenden Ast der Hochwasserwelle, um so schon früh die Wirkung des Oberrheinausbaus (Beschleunigung der Rheinwelle und zusätzlich damit eine ungünstige Überlagerung mit den Nebenflüssen zu verhindern) zurückzunehmen. Daher werden und müssen die Maßnahmen weit im Süden schon früh eingesetzt werden, um letztlich eine positive Scheitelabminderung an den Pegeln Maxau und Worms zu erreichen. Die Berechnungen der HSK und vor allem die noch weitgehend umfangreicheren Berechnungen danach haben die bestätigt. Die südlich Breisach vorgesehene ungesteuerte Maßnahme hat daher eine positive Auswirkung auf die Scheitelabflüsse der freien Rheinstrecke.“

Es wäre zusätzlich zu prüfen, wie sich die Situation bei Einbeziehung der Hochwasserereignisse in den neunziger Jahren darstellt: z. B. Mai 1994, Jan. 1995 und Mai 1999. Das Hochwasser vom Mai 1999, das in die früheren Überflutungsflächen übertrat, erreichte am Pegel Basel den bisher höchsten beobachteten Wert. Dieses Ereignis hat nur deshalb zu keiner bedrohlichen Situation für die Unterlieger geführt, weil in diesem Fall Zuflüsse aus dem Schwarzwald und den Vogesen ausgeblieben sind.

Unabhängig von dieser Problematik müsste überprüft werden, ob nur durch eine Ausleitung in die früheren Überflutungsflächen ohne zusätzliche Maßnahmen das erforderliche Rückhaltevolumen von ca. 25 Mio. m³ bereitgestellt werden kann. Zur Verbesserung der Volumenbilanz sollte gemäß eines Vorschlages des BfN das bei der Ausleitung zusätzlich aktivierbare Porenvolumen des Grundwasserspeichers mit herangezogen werden. Dieses Volumen ist zwar beträchtlich, wird aber rheinnah zum Teil bereits in Anspruch genommen, während die Hochwasserwelle sich aufbaut. Zusätzliche Versickerungen werden erst dann wirksam, wenn das Wasser in die bisher hochwasserfreien Waldflächen einströmen kann.

Die Durchlässigkeit des Kiesraumes ist mit ca. 10⁻³ m/s vergleichsweise hoch. Dies hat zur Folge, dass sich die Porenräume im Nahbereich des Flussbettes vergleichsweise schnell auffüllen, während sich der Fernbereich erst nach mehreren Tagen langsam auffüllt.

Die Grafik in **Anlage 23** belegt dies sehr gut. Wie weit der somit bei einer direkten Überflutung verfügbare Bereich auch zur Retention beitragen kann, ist ohne aufwändige Untersuchungen, die auch Infiltrationsversuche beinhalten müssen und instationäre Berechnungen nicht abschätzbar.

7. Zusammenfassung

Zur Verbesserung des Hochwasserschutzes am Oberrhein wird von Seiten des BfN angeregt eine naturnahe Überflutung des Rheinwaldes in die Überlegungen mit einzubeziehen. Hierdurch soll wieder, wie in **Anlage 24** skizziert, eine großflächige Überflutung der früheren Auwaldbereiche erreicht werden.

Da dies infolge der zwischenzeitlich eingetretenen Sohlerosion nur möglich ist, wenn der Wasserspiegel im Flussbett bei großen Abflüssen wieder so weit angehoben wird, dass ein nennenswerter Abfluss ausgeleitet werden kann, wurde mittels einer 1-dimensionalen mathematischen Modellierung überprüft, ob und wie dies zu erreichen wäre.

Die Berechnungen haben gezeigt, dass eine Ausleitung durch den Einbau von aufgelösten Sohlschwellen, die in naturnaher Bauweise, analog zur Renaturierung der Isar in München (vgl. **Abb. 8**) ausgeführt werden können, möglich wäre. Ein Ausführungsvorschlag dazu müsste in wasserbaulichen Modellversuchen entwickelt werden.



Abb. 8: Aufgelöste Sohlschwellen in Riegelbauweise an der Isar im Stadtgebiet von München (Foto: Bernhart)

Durch eine Kombination dieser Maßnahmen mit Inselerschüttungen könnte eine verstärkte Wirkung erzielt werden. Mit diesem Vorschlag vergleichbare Inselstrukturen haben sich bereits von selbst eingestellt (vgl. **Abb. 9**).



Abb. 9: Neu entstandene Inselstruktur im Rheinbett auf Höhe Fessenheim

Da die Ausleitung ab Abflüssen von ca. $3.000 \text{ m}^3/\text{s}$ einsetzt, bewirkt die dadurch erzielbare Retention eine Abminderung des Hochwasserscheitels. Es wäre somit zu überprüfen, welche Auswirkungen auf den Ablauf der Hochwasserwellen sich bei einer Ausleitung gemäß der hier vorgestellten Überlegungen ergeben. Dabei ist zu beachten, dass Aussagen zur Retentionswirkung bei allen Varianten nur mit aufwändigen instationären Berechnungen quantitativ belegt werden können, diese liegen jedoch großräumig bisher nicht vor.

Mit 1-dimensionalen Berechnungsverfahren können nur auf den gesamten Abflussquerschnitt bezogene Mittelwerte für die Wasserspiegellagen und die Fließgeschwindigkeiten ermittelt werden. Die hier anstehenden Fragen erfordern jedoch eine instationäre Behandlung mit zweidimensionalen Modellen, wobei zusätzlich auch ein Modul für die Berechnung der Einsickerung in den Untergrund mit zu integrieren ist.

Wenn diese Gedanken weiter verfolgt werden sollen, müsste im nächsten Schritt der Nachweis geführt werden, wie sich die Form der Hochwasserwelle beim Durchlaufen dieser Flussstrecke verändert, und wie sich die Anforderungen an den Hochwasserschutz gemäß der internationalen Verträge erfüllen lassen. Hierbei wäre auch einzubeziehen, dass es hinsichtlich dieser Fragestellung zu relevanten Veränderungen im Abflussgeschehen gekommen ist, was sich in einer Zunahme der extremen Hochwasserereignisse widerspiegelt.

Unabhängig davon ist eine Wiederanbindung von ehemaligen Rheinarmen durch relativ einfach zu realisierende Abgrabungen im Uferbereich möglich. Die in **Anlage 14** vorgestellten Maßnahmen an der Donau östlich von Wien wurden zwischenzeitlich ausgeführt und haben zu einer deutlichen Verbesserung bei der Durchströmung und der Grundwasserdynamik beigetragen; vgl. **Abb. 10**.

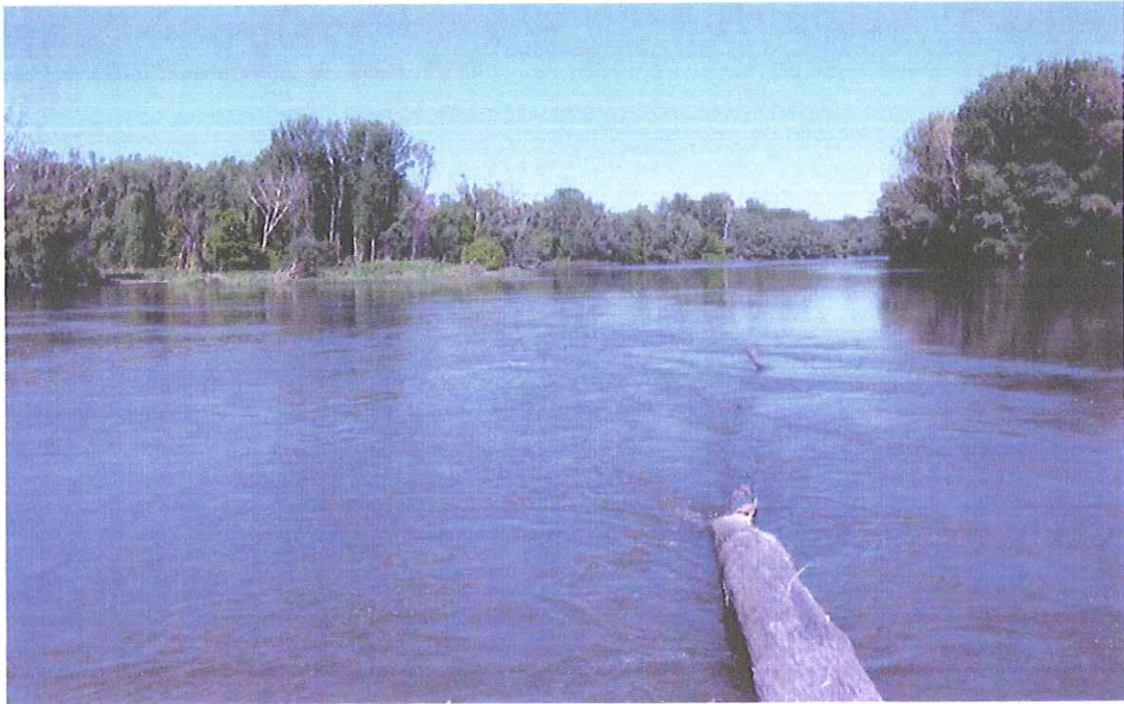


Abb. 10: Durchströmung des Donauarmes bei Regelsbrunn; vgl. **Anlage 14** (Foto: Bernhart)

Karlsruhe, im Oktober 2005

H. H. Bernhart

Prof. Dr.-Ing. habil. H. H. Bernhart