WISSENSCHAFTLICHE REIHE

Heft 37/2015

Zu den Möglichkeiten einer Geschiebebewirtschaftung und den zugehörigen Optimierungspotentialen für die Donau östlich von Wien

Gegenstand dieser Studie ist die Erarbeitung eines geschiebehydraulisch / flussbaulichen Konzeptes für die angestrebte dynamische Sohlstabilisierung der Donau im Bereich des Nationalpark Donau-Auen (Wien-Freudenau bis Marchmündung bzw. in einzelnen Aspekten auch die slowakisch/österreichische Grenzstrecke). Es sollen Optimierungsmöglichkeiten bzw. Modifikationen zu der im Rahmen des Flussbaulichen Gesamtprojektes (der via donau) vorgesehenen Granulometrischen Sohlverbesserung auf genereller, konzeptiver Ebene untersucht werden, wobei im Besonderen die Kombination aus Normalgeschiebezugabe und einer Sohlvergröberung zu berücksichtigen sind, speziell im Sinn einer Ausweitung der VHP-Geschiebezugabe zur Unterwassersicherung des Kraftwerk Freudenau.

Gerhard Klasz

nationalpark donauauen
KOSTBARE NATUR FÜR GENERATIONEN

Studie: Zu den Möglichkeiten einer Geschiebe-bewirtschaftung und den zugehörigen Optimierungs-potentialen für die Donau östlich von Wien

Ingenieurbüro für Kulturtechnik
& Wasserwirtschaft
Dipl.-Ing. Gerhard Klasz

im Auftrag der
Nationalpark
Donau-Auen GmbH.
Wien, Mai 2014

„Ich verlasse Sisyphos am Fuße des Berges! Seine Last findet man immer wieder. Nur lehrt Sisyphos uns die größere Treue, die die Götter leugnet und die Steine wälzt. Auch er findet, dass alles gut ist. Dieses Universum, das nun keinen Herrn mehr kennt, kommt ihm weder unfruchtbar noch wertlos vor. Jedes Gran dieses Steins, jeder Splitter dieses durchnächtigten Berges bedeutet allein für ihn eine ganze Welt. Der Kampf gegen Gipfel vermag ein Menschenherz auszufüllen. Wir müssen uns Sisyphos als einen glücklichen Menschen vorstellen.“

Albert Camus:
Der Mythos von Sisyphos

Ingenieurbüro für Kulturtechnik & Wasserwirtschaft
Dipl.-Ing. Gerhard Klasz

Studie:
Zu den Möglichkeiten einer optimierten Geschiebebewirtschaftung für die Donau zwischen Wien und österreichisch/slowakischer Grenzstrecke

1 Allgemeines und Fragestellung

[1] Auftraggeber dieser Studie ist die Nationalpark Donau-Auen GmbH.

[2] Gegenstand dieser Studie ist die Erarbeitung eines geschiebehydraulisch / flussbaulichen Konzeptes für die angestrebte dynamischen Sohlstabilisierung der Donau im Bereich des Nationalparks Donau-Auen (Wien-Freudenau bis Marchmündung bzw. in einzelnen Aspekten auch die slowakisch/österreichische Grenzstrecke). Es sollen Optimierungsmöglichkeiten bzw. Modifikationen zu der im Rahmen des Flussbaulichen Gesamtprojektes (der via donau) vorgesehenen Granulometrischen Sohlverbesserung[1] auf genereller, konzeptiver Ebene untersucht werden, wobei im Besonderen die Kombination aus Normalgeschiebezugabe und einer Sohlvergröberung zu berücksichtigen sind, speziell im Sinn einer Ausweitung der VHP-Geschiebezugabe zur UW-Sicherung / KW Freudenau.

[3] Die Arbeit an dieser Studie begann im Winter 2010/2011, wurde dann aber zurückgestellt, um relevante Entwicklungen im Umfeld (Naturversuch Bad Dt. Altenburg; Akteursforum; Erstellung eines DWA-Regelwerkes zum Sedimentmanagement in Flüssen[2]) zumindest teilweise abzuwarten, und schließlich im Dezember 2013 fertiggestellt; sie gibt also den Kenntnisstand mit Ende 2013 bzw. Anfang 2014 wieder[3].

[4] Eine besondere Bedeutung hat die Geschiebezugabe am Oberrhein (stromab der Staustufe Iffezheim), weil die Methode dort entwickelt wurde (Felkel, 1970, 1980) und mittlerweile Erfahrungen über rund 35 Jahren vorliegen. Zweitens ist die Geschiebezugabe der Verbund Hydro Power (VHP) im Unterwasser des Donaukraftwerkes Wien-Freudenau, die seit 1996 läuft, besonders zu berücksichtigen, einerseits weil auch dabei relevante Erfahrungen gesammelt werden, andererseits weil damit Geschiebehaushalt und Sohlstabilität der Donau im Untersuchungsbereich unmittelbar beeinflusst werden und auch rechtlich relevante Randbedingungen geschaffen wurden; man kann in diesem Zusammenhang von einem ersten Modul für eine Geschiebebewirtschaftung sprechen.

[5] Diese Studie steht nicht im Gegensatz zum Flussbaulichen Gesamtprojekt[4], sie soll vielmehr zusätzliche Handlungsoptionen und Möglichkeiten, die ggf. auch mit dem FGP kombiniert werden können oder als Zwischenlösung bis zu seiner Realisierung durchgeführt werden könnte, aufzeigen und untersuchen. Mit dem Flussbaulichen Gesamtprojekt der via donau (DonauConsult, 2006) liegt ein klares und mit dem Leitungsausschuss der via donau (bzw. des BMVIT) und dem Nationalpark Donau-Auen akkordiertes Konzept zur Sohlstabilisierung,

---

1 Im Folgenden auch mit „GSV“ abgekürzt.

2 Im Folgenden: DWA (2012): Merkblatt DWA-M 525: Sedimentmanagement in Fließgewässern – Grundlagen, Methoden, Fallbeispiele; Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.; November 2012.

3 Eine Erst-Fassung (zwecks Abstimmung mit dem Auftraggeber) wurde Ende 2013 erstellt; die überarbeitete Zweit-Fassung ist mit Mai 2014 datiert.

4 Im Folgenden auch mit „FGP“ abgekürzt.

zur Verbesserung der Verhältnisse für die Schifffahrt und zur Verbesserung der ökologischen Funktionsfähigkeit vor. Das Ziel der Sohlstabilität wird dabei im Wesentlichen mit einer einzigen Maßnahme angestrebt, nämlich der Granulometrischen Sohlverbesserung (Sohlvergröberung). Das FGP wurde im Jahr 2006 für eine UVP-Grundsatzgenehmigung bei den dafür zuständigen Behörden eingereicht; nach der Öffentlichen Erörterung im Oktober 2008 und vor einem erkennbar positiven Abschluss dieses Verfahrens kam es zur Einstellung aller – zumindest von außen – erkennbaren Aktivitäten der Behörden, ohne dass dabei das Verfahren im Sinn des österreichischen Verwaltungsrechtes abgeschlossen worden wäre. Die Zukunft dieses Projektes ist ungewiss, während sich die Sohlerosion der Donau ungehindert fortsetzt.

[6] Die Granulometrische Sohlverbesserung wurde unter den bisherigen Randbedingungen und Zielsetzungen als deutlich günstiger als die Normalgeschiebezugabe eingestuft und zwar vor allem mit dem Argument ihrer Materialeffizienz (Scheuerlein, 2003; DonauConsult, 2006; Klasz et al., 2009b; Zottl & Scheuerlein, 2009). Unter geänderten Rahmenbedingungen und Zielsetzungen kann hingegen eine optimierte Geschiebebewirtschaftung eine bessere Lösung sein. Solche Faktoren, die in diese Richtung wirken, sind beispielsweise:

- die Forderung oder Zielsetzung, das Projektrisiko im gesellschaftlichen, juristischen und politischen Umfeld zu reduzieren;
- die Forderung oder Zielsetzung, das technischen Risiko bzw. das damit verbundene Risikos von Kosten- und Baudauerüberschreitungen gering zu halten;
- die Reduktion von Baukosten (Investitionskosten), dies allerdings um den Preis höherer Instandhaltungskosten;
- die Fortführung (bzw. ggf. auch Integration) der VHP-Geschiebezugabe;
- die Reduktion der Ziel-Fahrwassertiefen unter RNW;

[7] Konkrete Schwerpunkte und Fragen für diese Studie sind:

- die Identifikation und Beschreibung der wesentlichen sedimenthydraulischen und hydrologischen Einflussfaktoren für die Geschiebebewirtschaftung;
- die Berücksichtigung der laufenden VHP-Geschiebezugaben zur Sicherung des Unterwassers des KW Wien-Freudenau;
- die Berücksichtigung des Geschiebeaustrages aus der österreichischen Strecke in den Stauraum Gabčikovo (Unterliegerstrecke);
- die Identifikation und Darstellung der wesentlichen Teile (Elemente) einer optimierten Geschiebebewirtschaftung und die Darstellung verschiedener Szenarien für ihre zeitlich-räumliche Entwicklung (Unterscheidung zwischen einem „Anfangsszenario“ und einem „Langfristszenario“);
- die Berücksichtigung und Diskussion wirtschaftlicher Aspekte (Baukosten versus Instandhaltungskosten, Gesamtkosten nach Diskontierung);
- die Berücksichtigung und Diskussion der Möglichkeiten der Integration einer adaptiven Vorgangsweise;

[8] Zur Methodik:

- die wesentlichen hydrologischen, hydraulischen und geschiebehydraulischen Randbedingungen und Einflüsse werden beschrieben bzw. zusammengeführt;
- die Erfahrungen und relevanten Überlegungen vom Oberrhein (Geschiebezugabe stromab von Iffezheim) und von der VHP[5]-Geschiebezugabe zur Unterwasser- Sicherung stromab von Wien-Freudenau werden recherchiert (Literaturrecherche) und zusammengeführt;
- Kostenmodelle für die wesentlichen Teile (Module) einer optimierten Geschiebebewirtschaftung in der Donau östlich von Wien werden erstellt, mit dem Ziel, die Gesamtkosten im Sinn einer Grobkostenschätzung angeben zu können;
- zum Zusammenspiel der Maßnahmen und zu einer optimierten Geschiebebewirtschaftung werden eigene Überlegungen angestellt;

2 Vorgeschichte, bisheriger diskursiver Prozess

2.1 Erster Akt: „Hainburg“, der „Boden der Legalität“, Weihnachtsfrieden, Nachdenkpause

[9] Dezember 1984.
Aus Sicht des Projektbetreibers und der zuständigen Behörden waren alle Voraussetzungen für den Bau des Donaukraftwerkes Hainburg erfüllt; der Status als „bevorzugter Wasserbau“ sollte Chancen für allfällige Einsprüche reduzieren; Vorbereitungsarbeiten (Vermessungen, bodenmechanische und hydrographische Untersuchungen) waren weit fortgeschritten. Mit einem Stauziel von 151,0 m.ü.A. hätte der Stau bis Wien gereicht, die Nutzfallhöhe von 15,2 m (bei MW) und die Abflüsse hätten eine installierte Leistung von 360 MW und ein Regelarbeitsvermögen von 2075 GWh/a ergeben, damit wäre „Hainburg“ das leistungsfähigste Donaukraftwerk in der österreichischen Strecke geworden. Die Investitionskosten wurden auf damaliger Preisbasis mit 11,4 Mrd. öS geschätzt (Nachtnebel, 2009). Der Projektbetreiber, die Österreichische Donaukraftwerke AG, hatte reichlich Erfahrung mit dem Bau solcher Kraftwerke: zwischen 1956 und 1985 wurden neun Kraftwerke errichtet, von Jochenstein bis Greifenstein. Ein Ausbauplan (von 1954) sah den Vollausbau der österreichischen Donau vor.

[10] Von Behörden und Projektbetreiber zunächst kaum ernst genommen hatte sich im Vorfeld aber bereits Widerstand gebildet: Im Februar 1983 hatte der WWF eine Kampagne „Rettet die Auen“ gestartet, aus verschiedenen Gruppen hatte sich eine „Aktionsgemeinschaft gegen das Kraftwerk Hainburg“ gebildet, und am 7. Mai 1984 gaben prominente Gegner des Projektes, teilweise als Tiere verkleidet[6], eine „Pressekonferenz der Tiere“; es sollte ein Volksbegehren eingeleitet werden und der Nobelpreisträger Konrad Lorenz wurde als Namensgeber gewonnen: „Konrad-Lorenz-Volksbegehren“. Außerdem hatte es bereits ab 1979 Konzepte (der Planungsgemeinschaft Ost) für die Schaffung eines Auen-Nationalpark gegeben, und be-

---

5 VHP: Verbund Hydro Power AG; zuvor (ab 1999): Verbund - Austrian Hydro Power AG (AHP) und noch früher: Österreichische Donaukraftwerke AG.

6 Günter Nenning (Publizist): Auhirsch; Jörg Mauthe (Schriftsteller, Wiener Stadtrat): Schwarzstorch; Bernd Lötsch (Ökologe): Purpurreiher; Peter Turrini (Dramatiker): Rotbauchunke; Othmar Karas (Obmann der ÖVP-Jugend): Kormoran; Freda Meisner Blau (Publizistin, Umweltaktivistin): Laufkäfer; Hubert Gorbach (Chef der FPÖ-Jugend): nicht kostümiert, später auch als Blaukehlchen; Quelle: „Zeitgeschichte. An der schönen blauen Donau“, profil, 27. November 2004.

reits zwischen 1977 und 1983 wurden die Donau-Auen oder Teile davon unter verschiedenen Titeln[7] unter Schutz gestellt.

[11] Alles Weitere ist mittlerweile ein bekanntes Kapitel österreichischer Zeitgeschichte: am 8. Dezember 1984 kam es zur Sternwanderung nach Stopfenreuth; hunderte, später tausende Menschen, die meisten davon jung, Studenten, besetzten die Au, wollten die unmittelbar bevorstehenden Rodungen verhindern, leisteten zivilen Widerstand. Am 10. Dezember 1984, als die Rodungen beginnen sollten, kam es zu ersten Zusammenstößen zwischen Aubesetzern und Exekutive; am 11. Dezember 1984 erklärte der damalige Innenminister Blecha vor dem Nationalrat[8] *„der Einsatz der Sicherheitsexekutive sei in Erfüllung des gesetzlichen Auftrages zur Aufrechterhaltung der öffentlichen Ruhe, Sicherheit und Ordnung erfolgt; Behauptungen eines brutalen Einsatzes der Sicherheitskräfte und einer Unverhältnismäßigkeit der eingesetzten Mitteln weise er mit Entschiedenheit zurück; nicht die Einsatzkräfte, sondern Kraftwerksgegner hätten den Boden der Legalität verlassen; das bewusste, organisierte und systematische Missachten unserer Rechtsordnung […] müsste ohne entsprechende Reaktion des Staates und seiner Organe zu anarchistischen Verhältnissen in Österreich führen“*. Am 12. Dezember 1984 kam es zu einem Gespräch zwischen den Kraftwerksgegnern und der Bundesregierung unter Bundeskanzler Fred Sinowatz, dabei wurde eine ‚Nachdenkpause‘ bis zum 17. Dezember vereinbart. Am 19. Dezember eskalierte die Situation erneut, die Polizei ging mit unverhältnismäßiger Härte (späteres Urteil des Verfassungsgerichtshofes) gegen die Aubesetzer vor, aber auch gegen einzelne Journalisten, die Bilder blutender Studenten schockierte die Öffentlichkeit, die ‚Kronen Zeitung‘ titelte: *„Die Schande von Hainburg“*; am gleichen Tag demonstrierten etwa 35‘000 Personen auf dem Wiener Heldenplatz gegen das Projekt und die Vorgangsweise des Staates; in einer Krisensitzung in der Nacht vom 21. zum 22. Dezember entschied der Bundeskanzler, die Rodungsarbeiten vorläufig einstellen zu lassen, es solle einen Weihnachtsfrieden geben. Am 2. Jänner 1985 untersagte der Verwaltungsgerichtshof aufgrund einer von Grundeigentümern eingebrachten Beschwerde den Bau; damit – und auch mit späteren Urteilen – war das Kraftwerksprojekt erledigt, sowohl juristisch, als auch politisch; die Protestbewegung hatte mit ihrem Slogan *„Wo Unrecht Recht wird, wird Widerstand zur Pflicht“*[9] Recht behalten (profil, 27. November 2004).

[12] Im Zuge dieser Auseinandersetzungen war auch erstmals das Problem der Sohleintiefung in einer breiteren Öffentlichkeit diskutiert worden. Unter Experten war das Thema bereits länger bekannt, es wurde aber zunächst nicht als Problem gesehen, mit Errichtung einer durchgehenden Staukette wäre die Sohlerosion ja beendet und irrelevant geworden und zwischenzeitlich würde damit die Sicherheit gegen Hochwässer etwas vergrößert. Nun, nach dem Scheitern des Kraftwerkprojektes war die Frage völlig neu zu bewerten. Schwierig wurde das aber dadurch, dass die Sohleintiefung von Kraftwerksbefürwortern zum Argument – und zunehmend zum Hauptargument - für eine Staustufenlösung gemacht wurde; anders als

---

7 1977: Untere Lobau: Biosphärenreservat der UNESCO; 1978: Lobau in Wien: Naturschutzgebiet; 1979: Donau-March-Thaya Auen in Niederösterreich zum Landschaftsschutzgebiet; 1983: Donau-March-Thaya-Auen und Untere Lobau als Feuchtgebiete von internationaler Bedeutung nach Ramsar-Konvention.

8 Das folgende Zitat nach: Parlamentskorrespondenz Nr. 175 vom 16.03.2007: 1984/85: Hainburg – Ein Kraftwerksbau erschüttert die Republik; abgerufen über Internet: http://www.parlament.gv.at/PAKT/PR/JAHR_2007/PK0175/index.shtml.

9 Diese Formulierung „Wo Unrecht Recht wird, wird Widerstand zur Pflicht“ wurde und wird von verschiedenen Protestbewegungen verwendet, meist unter Bezug auf Bertolt Brecht.

mit Staustufen, so die überwiegende Mehrheit der österreichischen Wasserbauexperten, wäre das eben nicht in den Griff zu bekommen. Der Projektkritiker und Aktivist Günter Schobesberger verwies hingegen bereits damals auf die Bedeutung des Geschiebehaushaltes und insbesondere der gröberen und plattigen Anteile des Geschiebes für die Sohlstabilität[10]. Die Bundesregierung verordnete, was das Donaukraftwerk, die Sohlstabilität und ähnliche Sachfragen betraf, eine Nachdenkpause.

2.2 Der zweite Akt: Ökologiekommission, Grobkornzugabe zur Deckschichtbildung; Gründung des Nationalparks; Staustufen stromauf/stromab; Nachdenkpause

[13] In der Politik können schwierige und brisante Fragen mitunter durch Einsetzung von Arbeitsgruppen, Expertengremien und dergleichen entschärft oder zumindest beruhigt werden. Also wurde 1985 eine Ökologiekommission[11] eingesetzt, die sich mit dem Ausbau der Donau oder der Erhaltung der freien Fließstrecke stromab und damit zusammenhängenden Fragen zu beschäftigen hatte.

[14] Die Variante Hainburg, um die es ja in erster Linie ging, wurde klar ausgeschlossen: *„Es ist nicht verantwortbar, ausgerechnet den wertvollsten Teil der verbliebenen Fließstrecken der österreichischen Donau mit einem nachweislich unausgereiften Projekt zu verbauen. Die Staustufe Hainburg soll daher entfallen.“* (Ökologiekommission, Arbeitspapier Nr.11; 1985; vgl. auch: Nationalparkplanung Donau-Auen, 1987).

[15] Andererseits wurden kleinere Staustufen zunächst nicht generell abgelehnt: *„Aus ökologischer Sicht wird vorgeschlagen, die bestehende Fließstrecke der Donau zwischen Wien und Hainburg zu erhalten. Ist dies nicht möglich, sind kleinere Staustufen aus ökologischer Sicht weniger unverträglich als Großanlagen. Mit den Nationalparkzielen sind nach gegenwärtigem Wissensstand auch kleinere Stauhaltungen unvereinbar.“* (Ökologiekommission, Arbeitspapier Nr.11; 1985; vgl. auch: Nationalparkplanung Donau-Auen, 1987), die beiden Staustufen Wien-Freudenau und Wolfsthal II wurden positiv bewertet: *„Die Errichtung der Staustufe Wien ist aus wasserwirtschaftlicher Sicht wünschenswert und mit einer Reihe von ökologischen Vorteilen (z.B. Prater, Lobau, Alte Donau) verbunden. Sie ist auch mit einem Nationalpark Donau-March-Thaya-Auen vereinbar. Die Errichtung der Staustufe Wolfsthal II erscheint zielführend. Für dieses Projekt sind noch umfassende Vorarbeiten im Rahmen eines interdisziplinären Projektes erforderlich.“* (Ökologiekommission, Arbeitspapier Nr.11; 1985; vgl. auch: Nationalparkplanung Donau-Auen, 1987).

[16] Die weitere Diskussion im Rahmen der Vorbereitung des Nationalparks hat dann noch klarere Aussagen gegen einen Staustufenausbau ergeben, beispielsweise die Untersuchung der Planungsgruppe Wasserbau - Auenökologie[12] (1991): *"Insgesamt muss gefolgert werden, dass - trotz neuen Versuchen in der Anwendung ökotechnischer und gestalterischer Begleitmaßnahmen - das Wesen der Aulandschaft und -ökologie, das hydraulische System und sonstige steuernde Faktoren von Fauna und Flora durch den Ausbau der Donau mittels Kraftwer-*

---

10 Mündliche Mitteilung von Dr. Baumgartner (Nationalpark Donau-Auen).

11 Unter Leitung von Jörn Kaniak (Arbeitsgruppe Donaugestaltung) und Bernd Lötsch (Arbeitsgruppe Nationalpark).

12 Mit den Experten: Grabherr, Janauer, Schacht, Schiemer, Winkler, Wösendorfer, Zottl;

ken bzw. Staustufen so stark verändert werden, dass die Kriterien einer natürlichen Au nicht mehr erfüllt sind. Aus diesen Gründen wäre zu konstatieren, dass die Errichtung eines Auennationalparks mit einem Ausbau der Donau gemäß Szenario 3[13] *unvereinbar ist"* (Planungsgruppe Wasserbau - Auenökologie; 1991).

[17] In der Ökologiekommission war auch (wie bereits unter Kap. 2.1 erwähnt) die Frage der Sohlerosion, die mit etwa 3 cm/a (im langjährigen Mittel) für einen Nationalpark nicht tolerierbar sein kann, zu diskutieren. Aber gerade dafür gab die Ökologiekommission noch keine Antwort: *„Die Eintiefung der Stromsohle muss aus ökologischer Sicht frühestens in rund 20 Jahren gestoppt werden. Aus ökologischer Sicht wird vorgeschlagen, zunächst die Möglichkeiten zur Erhaltung der Fließstrecke im Rahmen eines Forschungsprojektes zu erkunden. Eine durchgehende Fahrwassertiefe von 3,5 m (Empfehlung der Donaukonvention) ist in einer Fließstrecke nicht möglich. Die Probleme eines etwaigen Sohledurchschlages und der Sicherung lokaler Kolke sind kurzfristig zu prüfen."* (Ökologiekommission, Arbeitspapier Nr.11; 1985; vgl. auch: Nationalparkplanung Donau-Auen, 1987).

[18] Im Hintergrund stand immer die grundsätzliche Möglichkeit einer Normalgeschiebezugabe, in der Form, die auch am Oberrhein (seit etwa 1979, vgl. Kap. 4.1) erprobt wurde und bis heute durchgeführt wird; andererseits wurde dies bereits im Zuge der Ökologiekommission kritisch diskutiert: *„Am Oberrhein gilt es einen einzigen sich stark ausbildenden Erosionskeil in einer Längserstreckung von ca. 4 km zu stabilisieren bzw. aufzufüllen. Zusätzlich gibt es keinen Unterlieger und eine viele Meter mächtige Kiesschicht unter der Sohle. An der Donau ist im Vergleich mit der Strecke am Oberrhein eine relativ geringe Eintiefung vorhanden. Sie wirkt jedoch auf einer Gesamtstrecke von ca. 75 km in wechselhaftem Ausmaß, was durch die Abfolge von Kolk- und Furtbereichen bedingt ist. Eine derartige Maßnahme an der Donau würde nach gegenwärtiger Auffassung bedeuten, dass eine Menge von ca. 400'000 m*^{3} *Kiesmaterial jährlich eingebracht werden müsste. Dies ergibt Probleme mit der Materialbeschaffung, der Einbringung, der Schiffahrtsrinnenfreihaltung in Furtbereichen und der Ablagerung im nächsten Stauraum (Gabčikovo). Unabhängig von wirtschaftlichen Aspekten (jährliche Kosten ca. 250 Mio. öS) kann ein voller Erfolg der Geschiebezugabe derzeit nicht sicher vorhergesagt werden. Diese Methode kann daher zunächst nicht als erfolgversprechende Maßnahme empfohlen werden. Zur Klärung offener Fragen müsste ein umfangreiches Forschungsprojekt in Auftrag gegeben werden."* (Ökologiekommission, Arbeitspapier Nr.11; 1985)[14].

[19] Obwohl also eine Normalgeschiebezugabe (im Ausmaß von 300‘000 bis 400‘000 m^3/Jahr) bereits als mögliche Problemlösung erkannt wurde und dieser Ansatz im Jahr 1985 aufgrund der Erfahrungen am Oberrhein (vgl. Kap. 4.1) auch schon als ‚Stand der Technik‘ gelten konnte, schien sie kaum jemand als sinnvolles oder erstrebenswertes Szenario zu akzeptieren. Der damit verbundene Aufwand und Materialverbrauch wurde als unangemessen hoch eingeschätzt. Aus diesen Gründen entwickelte der Zivilingenieur Hermann Zottl (zunächst im Auftrag der Stadt Wien; Zottl & Erber, 1987) seine Variante einer „Grobkornzugabe zur

---

13 Unter Variante 3 (im Sinn dieser Studie) wurden ein- oder zweistufige Kraftwerksvarianten (Staustufenvarianten) verstanden, im Besonderen die Varianten „Wildungsmauer (Strom-km 1892,5) + Wolfsthal-Bratislava II (Strom-km 1873)“ und „Engelhartstetten (Strom-km 1883)“.

14 Die damals von der Ökologiekommission mit 250 Mio. öS (Preisbasis 1985) angenommenen Kosten, das wären heute rd. 32 Mio. €/Jahr (Kostensteigerung nach Tiefbaupreisindex zwischen 1985 und 2013 mit dem Faktor von ca. 1,77; Umrechnung Euro / öS = 1 zu 13,7603), sind aus heutiger Sicht extrem übertrieben, vgl. auch Kap. 7.

Deckschichtbildung“, die dann im Zusammenhang mit der Vorbereitung und Planung des Nationalparks eine wichtige Rolle spielen sollte.

[20] Dieser Vorschlag sah zunächst vor (Darstellung der Variante im Folgenden nach Klasz, 2002), einen etwa 10 bis 20 cm starken Grobkiesbelag mit der Körnung 60/150 mm (und einem mittleren Korndurchmesser von ca. 100 mm)[15] auf die Donausohle aufzubringen. Damit entstünde eine Deckschichte, welche auch den größten bei Hochwasser auftretenden Strömungsbeanspruchungen zu widerstehen vermag. Im Modellversuch an der TU-Wien wurde nachgewiesen, dass eine derart befestigte Sohle im Grenzzustand tatsächlich einem Extremhochwasser widerstehen kann, vgl. Ogris et al. (1988). Allerdings zeigten diese Versuche auch, dass die oberste Sohllage durch die (mit der Schifffahrt verbundenen) Schraubstrahlbeanspruchung in einer Stärke von ca. 50 cm durchmischt werden kann, was ein Versagen des Grobkiesbelages bedeutet; erst ein Grobkornbelag mit einer Stärke von etwa 50 cm würde durch den Schiffverkehr nicht mehr mit dem darunter liegenden feineren Ausgangsmaterial durchmischt; die Kornverteilung des Belages kann so gewählt werden, dass dieser auch ohne Deckschichtbildung einem extremen Hochwasserabfluss widersteht; dies ist bereits bei einer Körnung 60/120 mm der Fall (Ogris et al., 1988)[16].

[21] Im Modellversuch ergab sich also, dass im gesamten Bereich des Fahrwassers (120 m Breite) ein auf 50 cm Schichtdicke verstärkter Grobkornbelag erforderlich wäre. Dies wäre dann aber nicht mehr als „Grobkornzugabe durch Deckschichtbildung“, sondern wohl eher als Sohlberollung bzw. Stein-Deckwerk zu bezeichnen.

[22] Zielrichtung war jedenfalls eine „absolute“, also statische Sohlstabilität und damit eine praktisch vollständige Unterbindung jeder morphologischen Dynamik. Es ist interessant, dass dieses überaus harte Konzept aus naturschutzfachlicher Perspektive kaum kritisch rezipiert wurde, während die gegenseitige Beeinflussung zwischen Steinbelag und Schifffahrt letztlich zum Scheitern dieses Konzeptes führten.

[23] Ähnliche Überlegungen und Entwicklungen hatte es im Übrigen auch für den Oberrhein gegeben, vgl. auch Pkt. [105]. Im Zuge der „Breisacher Versuche“ (im Jahr 1970) wurde eine Sohlabdeckung („Panzerung“) mit Grobkies (Steindurchmesser größer als 6 cm, bis etwa 12 cm) getestet, man kam zum Ergebnis, dass diese Berollung aus Grobkorn mit der Schifffahrt nicht verträglich und daher nicht zweckmäßig sei, vgl. auch Felkel & Steinweller (1972) und Felkel (1987). Für eine nachträgliche Analyse ist nicht uninteressant, dass diese Erfah-

---

15 Dies ist der ursprüngliche Vorschlag; in den Modellversuchen wurden drei Zugabemischungen untersucht: „Z4“ (63/150 mm), „Z5“ (63/180 mm) und „Z6“ (63/200 mm).

16 Die Relevanz von Modellversuchen für die Beurteilung der Stabilität bzw. Mobilität von Deckwerken aus Grobkies oder Grobkorn muss heute vor dem Hintergrund erster Ergebnisse beim Naturversuch Bad Dt. Altenburg kritisch hinterfragt werden; während das GSV-Material (40/70 mm) im 1:10-Modell zumindest auch kleineren Hochwässern ohne nennenswerte Bewegung stand gehalten hat, war dies in der Natur nicht der Fall, bereits bei Abflüssen zwischen Mittelwasser und etwa 3‘300 m^3/s kam es zur raschen Mobilisierung des Materials der GSV-Schüttung, vgl. auch Pkt. [149]. Erste Überlegungen gehen in die Richtung, dass das Material beim Einbau (Verklappen) zunächst in einer derart lockeren Lagerung bzw. der Strömung übermäßig exponiert vorliegt, dass Erfahrungen aus Modellversuchen (wo das Material anders und viel sorgfältiger eingebaut wird) oder von ‚konsolidierten‘ Geschiebemischungen nicht direkt übertragbar sind. Darüber hinausgehend dürfte die Turbulenz in der Natur einen deutlich stärkeren Einfluss als im Modellversuch haben (Problem der Unmöglichkeit der Einhaltung des Reynoldschen-Modellgesetzes bei Einhaltung des Froudeschen-Modellgesetzes; diese Schwierigkeit ist unter Modellhydraulikern grundsätzlich bekannt, wurde / wird aber unter den gegebenen Verhältnissen für vernachlässigbar eingeschätzt, was ggf. eine unzutreffende Annahme bildet). Diese Überlegungen wären auch auf das Ergebnis der Modellversuche mit dem Grobkorn der Fraktion 60/120 mm anzuwenden.

rungen, obgleich darüber Veröffentlichungen vorliegen, für die österreichische Donau nicht genutzt wurden.

[24] In einer Studie des Institutes für Wasserbau und Kulturtechnik der Universität Karlsruhe[17] wird eine Stabilisierung der Wasserspiegellagen durch eine Sicherung von Teilabschnitten des Flussbettes in Kombination mit der Grobmaterialzugabe und der Wiederanbindung und Öffnung abgeschnittener Seitenarme (einschließlich der Absenkung aller dortigen Querbauwerke) empfohlen; in den Abschnitten zwischen Sohlschutzmaßnahmen könne hingegen eine weitere Eintiefung zugelassen werden; für die Schifffahrt nachteilige Absenkungen der Wasserspiegellagen könnten durch Ein- oder Umbau von Buhnenfeldern ausgeglichen werden (Bernhart, 1990). Diese Studie hatte in weiterer Folge keine besondere Wirkung, u.a. weil sie in wesentlichen Fragen bei sehr allgemeinen Festlegungen bleibt, beispielsweise findet man keine Angaben über die Art (Korngrößenverteilung) der Sohlstabilisierung, vielmehr wird diesbezüglich auf die Beiträge von Zottl und Ogris verwiesen. Diese Studie geht auch nicht in die Richtung einer optimierten Geschiebebewirtschaftung, allerdings wird die entlastende (den Geschiebetransport reduzierende) Wirkung einer möglichst weitgehenden Seitenarmöffnung thematisiert.

[25] In den 1990er-Jahren änderten sich dann, Schritt für Schritt, die Randbedingungen für die Strecke:

- in Wien (Strom-km 1921,05) wurde nach einer positiven Volksbefragung (im Mai 1991) das Donaukraftwerk Freudenau[18] errichtet (wasserrechtliche Grundsatzgenehmigung[19] 1991; Teilstau im März 1996, Vollstau im November 1997; Inbetriebnahme 1998); damit war auch eine laufende Normalgeschiebezugabe verbunden (vgl. auch Kap. 4.2), die aber nur die Verschlechterung der Geschiebebilanz durch das Kraftwerk kompensieren und soll;
- in der Unterliegerstrecke, in der Slowakei (Strom-km 1836), wurde das Kraftwerk Gabčikovo gebaut (Stauerrichtung 1992), der Rückstau reicht bei Niederwasser annähernd bis zur Marchmündung;
- die ‚Grobkornzugabe zur Deckschichtbildung' wurde 1995 im Rahmen von Überfahrversuchen[20] hinsichtlich ihrer Verträglichkeit mit der Schifffahrt getestet, dabei wurden die Schiffsschrauben durch angesaugte Grobkörner schwer beschädigt, vgl. Strobl (2002), die Variante wurde verworfen[21];

---

17 Diese Studie wird hier unter „Bernhart, 1990" zitiert, obwohl sie von Prof. Dr. Larsen als Institutsleiter signiert wurde; die tatsächliche Bearbeitung lag aber primär bei Dr. Bernhart.

18 Stauziel (bei MW): 161,35 m ü.A., Nutzfallhöhe (bei MW) ca. 8,6 m; installierte Leistung: 172 MW; Regelarbeitsvermögen ca. 1'052 GWh/a (Quellen: Klasz, 2002; http://www.verbund.com/pp/de/laufkraftwerk/wien-freudenau)

19 Bescheid der Obersten Wasserrechtsbehörde, Bundesministerium f. Land- und Forstwirtschaft: Zl. 14.570/182-I 4/91 vom 31.07.1991 zum Donaukraftwerk Freudenau – Wasserrechtliche Grundsatzgenehmigung.

20 Überfahrt von Probefeldern bei Petronell (bei Strom-km 1893, außerhalb der Fahrrinne) mit einem Motorschiff (MS Jochenstein); zwei Probefelder (70 m breit, 200 m lang, 0,5 m stark; mit den Soll-Körnungen 6/13 cm und 6/18 cm (Klasz, 2002);

21 Zu kritisieren wäre, dass bei diesen Versuchen die Flottwassertiefen nicht hinreichend genau bestimmt wurde; es liegt auch keine Dokumentation (Bericht) vor; verschiedentlich wurde behauptet, dass in den Versuchsfeldern viel zu grobes Material eingebaut wurde;

- nach langen Diskussionen und Vorbereitungen wurde 1996/97 der Nationalpark Donau-Auen gegründet;

[26] Zu den Entwicklungen dieser Zeit sind auch der Beitritt Österreichs zur Europäischen Union (1995) und die damit verbundene Übernahme mehrerer naturschutzrechlicher bzw. gewässerökologisch relevanter Richtlinien (Vogelschutz-Richtlinie; FFH-Richtlinie; später, im Jahr 2000, auch die Wasserrahmenrichtlinie) zu zählen.

[27] Nach dem Scheitern der ‚Grobkornzugabe zur Deckschichtbildung' durch die Überfahrversuche war klar (oder hätte zumindest klar sein können), dass man bei der Lösung des Problems der Sohlerosion letztlich keinen Schritt weiter gekommen war. Eine permanente Normalgeschiebezugabe (zur Lösung des Gesamtproblems) wurde nach wie vor nicht ernsthaft in Betracht gezogen. Der Nationalpark musste somit mit der Hypothek weiterhin ungehinderter Sohlerosionen starten.

2.3 Der dritte Akt: Granulometrische Sohlverbesserung; das FGP (Flussbauliches Gesamtprojekt); ein asserviertes UVP-Verfahren; Nachdenkpause[22]

[28] Als Reaktion auf das Scheitern der ‚Grobkornzugabe zur Deckschichtbildung' wurde in den Jahren 1996/1997 im Ingenieurbüro Zottl & Erber die „Granulometrische Sohlverbesserung" entwickelt (DonauConsult, 1997; Zottl, 1998; Klasz et al., 2009b); Auftraggeber war die Wasserstraßendirektion. Die GSV ist im Prinzip eine spezielle Form der Geschiebebewirtschaftung: Durch flächiges Verklappen von (auch derzeit in der Kornverteilung vorhandenem) Grobkies der Fraktion 40/70 mm (oder ähnlich) über die strömungsexponierten Teilen der Stromsohle soll der mittlere Korndurchmesser der Sohle erhöht und der Geschiebetransport auf etwa 10 bis 15 % des derzeitigen Wertes reduziert werden; dieses dann immer noch bestehende Defizit soll im Zuge der Instandhaltung, also durch gelegentliches Nachbessern des Belages, gedeckt werden. Der Einbau soll der flussmorphologischen Dynamik, welche im Vergleich zu einer Sohlberollung mit Grobmaterial nicht unterbunden wird, folgen. Die Methode bietet mit Schüttstärke, Kornverteilung des Zugabematerials und räumlicher Ausdehnung der Verklappbereiche zumindest drei Steuermöglichkeiten. Zusätzlich sollten mögliche Anlandungsbereiche zunächst ausgespart und erst dann (im Sinn einer adaptiven Baudurchführung) belegt werden, wenn dort stärkere Sohlerosionen zu beobachten sind. In Relation zu einer herkömmlichen Geschiebezugabe (Normalgeschiebe) würde das Ziel der Sohlstabilität mit deutlich reduziertem Materialaufwand erreicht werden, also mit höherer Materialeffizienz und dadurch auch mit gesamtökologisch besserer Bilanz.

[29] Parallel zu den ersten Überlegungen zur Sohlstabilisierung mit Hilfe der GSV wurde 1996/1998 das erste große Projekt zur Gewässervernetzung (rechtsseitiger Seitenarm zwischen Ma. Ellend - Haslau - Regelsbrunn; Schiemer & Reckendorfer, 2000; Reckendorfer et al., 2004; Reckendorfer et al., 2009) realisiert und es war klar, dass mit Blick auf die Ziele und Anforderungen des Nationalparks weitere Projekte dieser Art folgen sollten, und andererseits wurden Forderungen zur Verbesserung der nautischen Verhältnisse (Fahrwassertiefen unter Niederwasser) immer lauter. Im Binnenschifffahrtsmemorandum der österreichischen Bundesregierung wurde bereits 1992 eine Abladetiefe von 27 dm gefordert, was dann – unter Berücksichtigung einer erhöhten Flottwassertiefe wegen der geplanten Sohlvergröbe-

[22] Die Darstellung in diesem Kapitel greift weitgehend auf die Veröffentlichung Klasz et al. (2009) zurück.

rung (vgl. auch Kap. 5.2) – zur Entwicklung einer 32 dm-Variante führte. Diese Variante wurde von Vertretern und Interessensgruppen des Naturschutzes heftig kritisiert. In diesen Jahren zwischen 1998 und 2000 entstand unter Regie des BMVITs, der WSD und des Zivilingenieurs Hermann Zottl einerseits der Gedanke eines „Gesamtprojektes", das in der Lage sein sollte, eine „Win-Win"-Situation zwischen Schifffahrt und Ökologie herbeizuführen (einerseits deutlich erhöhte Fahrwassertiefen unter NW, andererseits Sohlstabilisierung und Forcierung ökologischer Maßnahmen wie beispielsweise Gewässervernetzungen)[23], und andererseits formierte sich der Widerstand gegen einen als übertrieben bezeichneten „Ausbau" der Wasserstraße. Es wurde also für alle Beteiligten klar, dass ein solches Gesamtprojekt für Naturschutz und Schifffahrt sowohl enorme Chancen als auch erhebliches Konfliktpotential mit sich bringt. Von beiden Seiten wurde die Idee und Forderung einer Win-Win-Situation in die Diskussion gebracht, und von beiden Seiten wurden auch Grenzen der Handlungsspielräume („Schmerzgrenzen") deutlich gemacht.

[30] Die bisher gültigen Empfehlungen der Donaukommission verlangen 25 dm Fahrwassertiefe unter RNW auf einer Breite von 120 m. Diese Anforderung blieb in den Furten bisher häufig unerfüllt. Die Richtwerte der Donaukommission haben nur für eine erste Ausbaustufe 25 dm vorgesehen, in einer zweiten Phase sollten dann mit Hilfe eines staugeregelten Ausbaues 35 dm (unter RNW) erreicht werden.

[31] Die Ziele zur Verbesserung der Fahrwassertiefen wurden auch in der Vereinbarung gemäß Artikel 15a B-VG (zwischen dem Bund und den beiden Bundesländern Niederösterreich und Wien), die die Grundlage für die Schaffung des Nationalparks bildet, vorausgesetzt, und zwar mit einer mit dem Nationalpark zu verbindenden Schiffs-Abladetiefe von bis zu 27 dm, was auf Fahrwassertiefen von zumindest 30 dm hinaus laufen würde (unter Berücksichtigung eines Zuschlages von 3 dm für Flottwasser und hydrodynamischen Sunk): *„In Verfolgung der Zielsetzungen gemäß Abs. 1 ist [...] die Funktion der internationalen Wasserstraße Donau für einen ungehinderten Betrieb der Schifffahrt sicherzustellen. Die Länder Wien und Niederösterreich werden gewährleisten, dass angemessene Maßnahmen zur Erhaltung und zum Betrieb sowie die erforderlichen Regulierungsmaßnahmen, insbesondere zur Verbesserung der Fahrwasserverhältnisse bis zu einer Schiffs-Abladetiefe von 2,7 m bei Regulierungsniederwasser den jeweiligen Nationalparkgesetzen nicht unterliegen"* (Artikel III, Abs. (2) der Artikel 15a B-VG Vereinbarung)[24].

[32] Zum Ausgleich der Interessen und zur fachlichen Begleitung der Planungen wurde vom BMVIT schließlich ein Leitungsausschuss eingerichtet. Vertreter der Wissenschaft (Ökologie und Wasserbau), des Nationalparks, der Schifffahrt und der Raumplanung kamen beinahe monatlich zusammen und entschieden - auch das ein wesentlicher Grundsatz - nach einem strikten Konsensprinzip. Niemand sollte überstimmt werden, alle Entscheidungen sollten

---

23 Die Idee eines gesamtheitlichen Projektes war, genau genommen, bereits im „Flussbaulichen Gesamtkonzept" enthalten, das in den frühen 1990er-Jahren im Zuge der Nationalparkvorbereitung erarbeitet wurde (Wasserstraßendirektion, Zottl & Erber, 1991, im Auftrag der Betriebsgesellschaft Marchfeldkanal). Dabei sollte die „Grobkornzugabe zur Deckschichtbildung" (vgl. Abs. [20] bis [25]) mit einer Niederwasserregulierung und der Wiederanbindung von Seitenarmen (Gewässervernetzung) verbunden werden. Speziell die Konzepte zur Gewässervernetzung hatten und haben starken Einfluss auf die später tatsächlich durchgeführten Projekte (GV Regelsbrunn/Haslau; GV Orth; GV Schönau) und auf das FGP.

24 Diese Überlegungen beziehen sich ausdrücklich auf das Verhältnis zwischen den Nationalparkgesetzen (der beiden Bundesländer Wien und Niederösterreich) und Maßnahmen zur Verbesserung der Verhältnisse für die Schifffahrt. Aus den Naturschutzgesetzen und den dort eingearbeiteten europarechtlichen Bestimmungen (vgl. Abs. [26]) ergibt sich sehr wohl eine Genehmigungspflicht solcher Eingriffe (mündliche Mitteilung, D. Baumgartner).

gemeinsam getragen werden. Zwischen 2002 und 2004 wurde über verschiedene Varianten diskutiert, und diese Beratungen waren sehr schwierig. Für Nationalpark und Ökologie waren die in der Variante 27dm-A[25] vorgesehenen baulichen Eingriffe eine obere Grenze, für Schifffahrt und BMVIT war eine Fahrwassertiefe von 29 dm ein minimales Ziel: die Schnittmenge möglicher Konsensvarianten bildete damals also eine ‚leere Menge'. Aus dieser verfahrenen Situation fand der Leitungsausschuss schließlich einen Ausweg: man „vergaß" diese ganze Variantendiskussion (nicht aber auf die dabei gewonnenen Erkenntnisse) und einigte sich auf insgesamt acht Entwurfsgrundsätze; diese wurden von allen Mitgliedern des Leitungsausschusses und vom damaligen Staatssekretär (im Verkehrsministerium) Kukacka mitgetragen und unterschrieben und sie bilden die Grundlage für alle weiteren Planungen. Im Einzelnen lauteten diese Entwurfsgrundsätze:

a. Die Sohlstabilisierung wird mittels granulometrischer Sohlverbesserung erzielt.

b. Die Verbesserung der RNW-Mindestfahrwassertiefe erfolgt so weit wie möglich durch Stromsohlenanpassung (Baggerungen und flächiger Wiedereinbau in tieferen Bereichen einschließlich zusätzlicher flächiger Kiesschüttungen) und so wenig wie möglich durch Regulierungsbauwerke (Buhnen).

c. Maßnahmen werden nicht gegen die flussmorphologische Eigendynamik, sondern möglichst weitgehend in Übereinstimmung damit konzipiert.

d. Der wasserbauliche Entwurf von Regulierungsbauwerken erfolgt integrativ unter gleichwertiger Berücksichtigung hydraulischer, morphologischer und ökologischer Kriterien (Einströmbereiche, Gleitufer).

e. Die granulometrische Sohlverbesserung wird im Sinne einer adaptiven Bauausführung minimiert und gelangt unmittelbar nur in Kolkstrecken mit einer – bereits aufgrund der flussmorphologischen Verhältnisse gegebenen – RNW-Fahrwassertiefe von zumindest 28 dm zur Ausführung. Eine Belegung der übrigen Sohlbereiche (Furten) erfolgt nur bei – im Zuge des flussmorphologischen Monitorings festgestellter und für jeden Abschnitt individuell beurteilter – Überschreitung von vorab festgelegten Kriterien in Bezug einerseits auf die Vergröberung des Sohlmaterials (durch Eintrag aus bereits belegten Sohlbereichen) und anderseits auf die Eintiefung der Stromsohle in den betreffenden Bereichen.

f. Die Fahrwasserbreiten und -tiefen können nach nautischen und flussmorphologischen Kriterien differenziert werden: Auf einer Fahrwasserbreite von 120 m wird eine RNW-Mindestfahrwassertiefe von 26 dm vorgesehen. Im zentralen Bereich der Schifffahrtsrinne (100 m) ist die Sicherstellung einer RNW-Mindestfahrwassertiefe von 27 dm erforderlich. In Abschnitten mit granulometrischer Sohlverbesserung wird ein Zuschlag zur RNW-Mindestfahrwassertiefe von 1 dm vorgesehen. Um gewässerökologische Beeinträchtigungen weitestgehend zu vermeiden, überschreitet der Aufwand für Regulierungsbauwerke (Buhnen etc.) dabei nicht das Ausmaß der im Rahmen des Variantenvergleichs detailliert untersuchten Variante 27A.

g. Potenziale für Uferrückbau und Gewässervernetzung werden weitestgehend genutzt; der Rückbau harter Steinsicherungen ist insbesondere in Gleitufer- und Übergangsbereichen bzw. sonstigen weniger strömungsexponierten Uferabschnitten vorzusehen. Uferabsenkungen für Gewässervernetzungen werden so tief wie möglich angeordnet.

h. Die Hochwasserspiegellagen (Indikator: HSW) werden nicht angehoben, sondern möglichst abgesenkt; dies erfolgt durch Querschnittsaufweitungen (Uferrückbau) und eine verstärkte Beaufschlagung der Nebenarme.

[33] Zu den wesentlichen Eigenschaften und Voraussetzungen des FGP zählt, wenngleich nicht explizit in den acht Entwurfsgrundsätzen angeführt, dass die Erhöhung der Fahrwassertiefen nicht durch Absenkungen der mittleren Sohllagen erreicht werden, sondern durch Anhebung der Wasserspiegel bei niederen und mittleren Abflüssen (um rd. 2 bis 3 dm); es handelt sich

---

25 Mit einer Ziel-Fahrwassertiefe von 27 dm unter RNW und möglichst wenig Regulierungsbauwerken (Buhnen); die Verbesserung der nautischen Verhältnisse würde weitestgehend durch Stromsohlanpassungen vorgenommen.

eben nicht, wie verschiedentlich behauptet, um ein „Eintiefungsprojekt“ oder ein „Vertiefungsprojekt“, vgl. auch DonauConsult (2006).

[34] Erst auf Grundlage dieser unter Abs. [32] genannten acht Grundsätze wurde dann das eigentliche ‚Flussbauliche Gesamtprojekt‘ im Jahr 2005 entwickelt, wobei im Planungsteam von vornherein Wasserbauer, Ökologen und Raumplaner direkt zusammengearbeitet haben (integrativer Planungsansatz) und alle grundsätzlichen Festlegungen nicht nur mit dem Auftraggeber, sondern auch mit dem Leitungsausschuss abgestimmt wurden. Das Ziel war eine UVP-Grundsatzgenehmigung, für die einzelnen Bauabschnitte waren Detailprojekte, die in einer zweiten UVP-Phase ebenfalls zu genehmigen wären, vorgesehen. Mit dieser Vorgangsweise wäre es gut möglich adaptiv vorzugehen und die Ergebnisse des laufenden Monitorings und jeweils laufender Projekte zu berücksichtigen. Die Schwäche dieses Ansatzes ist aber seine Langsamkeit, die dadurch vergrößert wird, dass Projektgegner in verschiedenen Phasen Einsprüche einlegen und damit einen längeren Instanzenzug bemühen können.

[35] Das Flussbauliche Gesamtprojekt wurde also 2006 bei den zugehörigen Behörden (Niederösterreichische Landesregierung, RU-4; Wiener Landesregierung, MA22) eingereicht; im Oktober 2008 kam es nach der Prüfung der UVE (Umweltverträglichkeitserklärung) und Einreichunterlagen durch die Behörde und verschiedene Nachbesserungsaufträge zur öffentlichen Erörterung, dadurch ist klar, dass die Behörden die Projektunterlagen und die UVE zu diesem Zeitpunkt für aussagekräftig und verhandlungsfähig hielten, auch lagen alle Stellungnahmen der Behördensachverständigen vor, bis hin zur „Zusammenfassenden Bewertung der Umweltauswirkungen“ (gem. §12a-UVP-G). Danach brachen aber alle erkennbaren Aktivitäten der Behörden ab. Ein Devolutionsantrag[26] wurde nicht gestellt.

[36] Die Kritik der Projektgegner (WWF; Umweltdachverband; Forum Wissenschaft und Umwelt; Bürgerinitiative ‚Virus‘ rund um Wolfgang Rehm; Bürgerinitiative ‚Donaufreunde‘ rund um Günter Schobesberger; Univ.Prof. Dr. Lötsch) konzentriert sich vor allem auf die Maßnahmen zur Verbesserung der Fahrwassertiefen; alle über 25 dm (Fahrwassertiefe unter RNW) hinausgehende Ausbauziele würden einen ‚Ausbaudruck‘ auf andere Donaustrecken bewirken, die von Verkehrsplanern als „bottlenecks“ (Engpässe) definiert werden. Für einzelne NGOs stehen generell umweltpolitische Aspekte im Vordergrund; so sah der WWF den Streit um die Fahrwassertiefen im Nationalpark Donau-Auen in erster Linie im Kontext einer europaweiten Auseinandersetzung zwischen Schifffahrt und Naturschutz, dies u.a. mit Hinweis auf die Pläne der EU-Kommission, paneuropäische Wasserstraßen verstärkt auszubauen, wie es etwa auch der TEN-T-Report fordert (WWF, 2002; Manzano, 2009). Einen weiteren Kritikpunkt bildet die aus Sicht dieser Gruppen unzureichende Bürgerbeteiligung und die als „durchgängig, einheitlich und wenig flexibel“ bewertete Vorgangsweise, die zu wenig Platz für eine „örtlich angepasste“ und schrittweise modifizierbare „Adaptivität“ lassen würde (forum wissenschaft & umwelt, 2011). Auf strecken- und maßnahmenspezifischer Ebene wird schließlich vor allem kritisiert, dass

[26] Nach §73 AVG kann bei Säumnis der zuständigen Behörde (im Normalfall nach sechs Monaten) ein solcher Antrag gestellt werden, um das Verfahren zur sachlich in Betracht kommenden Oberbehörde zu ziehen, das wäre im vorliegenden Fall der Umweltsenat.

- die Sohlerosion in ihrem Ausmaß übertrieben dargestellt würde, insgesamt also viel geringer als dargestellt sei, und im Übrigen würde das FGP diesbezüglich einem monokausalen Erklärungsmodell folgen,
- die GSV noch unausgereift sei und die Gefahr der Kolmation mit sich brächte,
- das Ziel der Anhebung der Wasserspiegel nicht ausreichend berücksichtigt würde,
- das Problem der Feinsedimentablagerungen im Vorland und speziell die Uferwallbildung nicht berücksichtigt worden sei,
- die Dynamisierung der Donau und ihrer Seitenarme die Stillwasserlebensräume bedrohe,
- ökologische Potentiale zur Dynamisierung der Donau-Auen nicht ausreichend genutzt würden;

[37] Im Rahmen des UVP-Verfahrens wurden diese projektspezifischen Kritikpunkte von der Projektbetreiberin und den von ihr beauftragten Planern im Detail beantwortet und aus deren Sicht auch widerlegt. Im Sinn der gesetzlichen Vorgaben für eine UVP wären all diese Argumente und Gegenargumente von den UVP-Behörden und ihren Sachverständigen zu prüfen gewesen und die Ergebnisse dieser Bewertung wäre bei der Genehmigung oder allfälligen Ablehnung des Projektes im Rahmen des UVP-Bescheides zu berücksichtigen gewesen. Tatsächlich scheint aber gerade dieser Schritt durch die zuständigen Behörden nicht mehr erfolgt zu sein; jedenfalls liegen diesbezüglich keine Ergebnisse vor.

[38] Robert Musil erläutert im 56. Kapitel seines Romans ‚Der Mann ohne Eigenschaften' einen zentralen Begriff der österreichischen Bürokratie, jener des „Asservierens":

> *„Der Ministerialrat, der die Zuschrift wieder übernahm, legte sie gewöhnlich auf einen Stapel anderer Zuschriften, und wenn die letzte oben lag, las er in den Augen Sr. Erlaucht. Dann pflegte der Mund Sr. Erlaucht zu sprechen: »Das ist alles ausgezeichnet, aber man kann nicht ja und nicht nein sagen, solange wir über den Mittelpunkt unserer Ziele nichts Grundsätzliches wissen.« Das aber war es, was der Ministerialrat schon bei jeder vorangegangenen Zuschrift in den Augen Sr. Erlaucht gelesen hatte, und es bildete genau auch seine eigene Meinung, und er hielt einen goldgefaßten Taschenbleistift in der Hand, mit dem er schon an das Ende einer jeden Zuschrift die Zauberformel »Ass.« geschrieben hatte. Diese Zauberformel Ass., die in den kakanischen Ämtern in Gebrauch war, hieß »Asserviert«, auf deutsch soviel wie »Zu späterer Entscheidung aufgehoben«, und war ein Vorbild der Umsicht, die nichts verloren gehen läßt und nichts übereilt. Asserviert wurde zum Beispiel die Bitte des kleinen Beamten um eine außergewöhnliche Wöchnerinnenbeihilfe so lange, bis das Kind erwachsen und selbständig erwerbsfähig war, aus keinem anderen Grunde als dem, daß die Materie bis dahin vielleicht gesetzlich geregelt sein konnte und das Herz der Vorgesetzten vorher die Bitte nicht abschlagen wollte; asserviert wurde aber auch die Eingabe einer einflußreichen Person oder Amtsstelle, die man durch Ablehnung nicht kränken durfte, obgleich man wußte, daß eine andere einflußreiche Stelle gegen ihre*

Eingabe war, und grundsätzlich wurde alles, was zum erstenmal an ein Amt herantrat, solange asserviert, bis ihm ein ähnlicher Fall voranging.“ (Musil, 1978)[27]*,*

und in diesem Sinn kann das FGP wohl als asserviert bezeichnet werden.

[39] Neben diesen stagnativen „Entwicklungen“ gab es auch Möglichkeiten, flussbauliche und ökologische Erfahrungen zu sammeln und dabei für den Nationalpark günstigere Randbedingungen zu schaffen:

- in Kooperation zwischen Wasserstraßendirektion (nunmehr: via donau) und Nationalpark wurden zwei weitere Gewässervernetzungsprojekte realisiert: Orth (2001/2003) und Schönau (2003/2004);
- gegenüber von Hainburg, zwischen Strom-km 1885,5 und 1883 (linksufrig, „Thurnhaufen“) wurde im Winter 2005/2006 in Kooperation zwischen Wasserstraßendirektion (nunmehr: via donau) und Nationalpark ein erstes Uferrückbauprojekt realisiert: über weite Strecken vollständiger Abtrag von Ufersicherungen, in Teilbereichen weitgehender Abtrag; knapp über 50‘000 m^3 Wasserbausteine wurden aus dem Projektgebiet entfernt, vgl. Klasz et al. (2008, 2009c);
- zwischen Strom-km 1893,3 und 1891,8 (linksufrig), querab von Witzelsdorf, wurde zwischen November 2007 und März 2009 von der via donau ein zweites Uferrückbauprojekt realisiert, dieses Mal in Kombination mit einem Abtrag bzw. Umbau von Regulierungsbauwerken (Absenkung eines Leitwerkes auf RNW+0,5 m; Absenkung von Buhnen auf RNW+0,3 m, stärkere Absenkungen an der Buhnenwurzel, Umbau in eine deklinante Grundrissanordnung mit größeren Abständen zueinander), vgl. auch Klasz et al. (2008, 2009c);
- im Februar 2012 begannen schließlich die Bauarbeiten zu dem seit Langem geplanten (und zwischen 2006 und 2011 durch Einsprüche von Projektgegnern blockierte) Naturversuch Bad Dt. Altenburg im Abschnitt zwischen Strom-km 1887,5 und 1884,5; Projektträger ist die via donau; neben Uferrückbau, Buhnenumbau und der Öffnung des Johlerarmes wird dabei erstmals auch die GSV getestet (geplante Einbaumenge ca. 100‘000 m^3; bis zum Dezember 2013 wurden knapp über 50‘000 m^3 GSV-Material eingebaut); die Arbeiten sind zum Zeitpunkt der Erstellung dieser Studie noch nicht abgeschlossen.

[40] Im Winter 2011/2012 (konstituierende Sitzung am 16.01.2012) wurde mit dem ‚Akteursforum‘ ein sogenanntes ‚Stakeholder-Beteiligungsmodell‘ installiert. Dabei sollen verschiedene Interessensvertreter (vier Umweltgruppen: WWF; Forum Wissenschaft und Umwelt; BirdLife; Landesfischereiverband; vier Vertreter der Schifffahrt / Wirtschaft: Wirtschaftskammer/Schifffahrt; Pro Danube Austria; und zwei zusätzliche Institutionen: Nationalpark Donau-Auen; Internationale Kommission zum Schutz der Donau) die Gelegenheit erhalten, mit der via donau und deren Projektteam (einschließlich externer Planer, Bauaufsicht und Monitoringteam) über das Pilotprojekt (Naturversuch) Bad Dt. Altenburg zu diskutieren, dazu Informationen einzuholen und auch Empfehlungen zu beschließen. Die Akteure werden durch ein ‚Science Board‘ (unabhängige Experten für Schifffahrt/Nautik; Biodiversität; ökolo-

[27] Rechtschreibung in diesem Zitat entsprechend der zur Zeit Musils gebräuchlichen bzw. von ihm gewählten Form. Der erste Band des Romans erschien 1930. Die hier zitierte Neuauflage (Musil, 1978) entspricht der von Adolf Frisé bearbeiteten und herausgegebenen Werkausgabe.

gischen Wasserbau; Hydrologie und Grundwasser; Hydrobiologie und Fischökologie; alle von den ‚Akteuren' einvernehmlich bestellt) unterstützt, und es können auch Beobachter (ohne Stimmrecht und mit eingeschränktem Rederecht) teilnehmen. Bisher (bis einschl. Dezember 2013) fanden neun Sitzungen statt, zusätzlich auch fünf ‚Integrierte Projekttreffen'[28]. Neben der Beschäftigung mit dem aktuellen Naturversuch sollen auch Empfehlungen für die weitere Vorgangsweise (Monitoring; zusätzliche Pilotprojekte, …) ausgearbeitet und beschlossen werden.

[41] Aus der subjektiven Sicht des Verfassers dieser Studie, der an allen Sitzungen des ‚Akteursforums' und allen ‚Integrierten Projekttreffen' als Auskunftsperson (Planer, technische Bauaufsicht zum Naturversuch) und Beobachter teilnahm, konnten über dieses Beteiligungsmodell wesentliche Informationen ausgetauscht werden und es konnte ein weitgehend sachlicher Dialog geführt werden, der dazu beitragen könnte, eine brauchbare Konsenslösung zu finden. Die im Zuge des Naturversuches durchgeführten Baumaßnahmen scheinen mittlerweile weitestgehend akzeptiert zu sein. Andererseits konnten noch keine gemeinsam beschlossenen Empfehlung für die weitere Vorgangsweise beschlossen werden, obwohl bereits über mögliche zukünftige Pilotprojekte und die Notwendigkeit erhöhter Geschiebezugaben und auch über das Risiko eines Sohldurchschlages diskutiert wurde. Mit den Worten Musils (Der Mann ohne Eigenschaften) könnte man das Fehlen eines ‚erlösenden Gedankens' beklagen. Möglicherweise war dazu aber auch die Zeit noch zu kurz, weitere Sitzungen des ‚Akteursforums' sind jedenfalls bis Ende 2014 vorgesehen.

2.4 Am Ende des dritten Aktes herrscht allgemeine Verwirrung?

[42] Derzeit (Dezember 2013) ist die Zukunft des Flussbaulichen Gesamtprojektes völlig ungewiss. Die Sohlerosion setzt sich mit Ausnahme der VHP-Erhaltungsstrecke und des Stauwurzelbereichs von Gabčikovo ungehindert fort.

[43] Selbst unter günstigsten Umständen, wenn also die Behörden das Genehmigungsverfahren bald wieder in Angriff nähmen, was derzeit aber unrealistisch scheint, wären doch weitere Verzögerungen bis zur tatsächlichen Wirkung der Maßnahmen in der Größenordnung zweier Jahrzehnte zu erwarten: Einerseits wären Einsprüche und die Fortsetzung des Verfahrens im Instanzenzug (bis zum Verwaltungsgerichtshof) zu erwarten; zweitens zielte das eingereichte Projekt nur auf eine Grundsatzgenehmigung, es wären also weitere Detailprojekte zu erstellen und ebenfalls bei den Behörden einzureichen, was dann erneut durch Einsprüche verzögert werden könnte; drittens wäre für die tatsächliche Umsetzung, also für Ausschreibung und Vergabe der Bauarbeiten und den Bau mindestens zehn, realistisch gesehen aber fünfzehn Jahre (oder mehr) anzusetzen. Daraus ergibt sich, dass die laufende Sohlerosion zumindest fünfzehn, realistisch gesehen eher zwanzig Jahre weiter ginge. In diesem Zusammenhang ist auch zu bedenken, dass das eingereichte Generelle Projekt (einschließlich der Unterlagen zur Umweltverträglichkeits-Erklärung) im Jahr 2005 erstellt wurde; die flusstopographischen und hydrographischen Basisdaten entsprachen dem Jahr 2003, verschiedene andere Daten und Grundlagen waren notwendigerweise noch älter; das Projekt ist somit gealtert und demnächst auch als veraltet zu bezeichnen.

---

28 Entsprechend der Geschäftsordnung des Akteursforums: Regelmäßige Treffen, die dem unmittelbaren Informationsaustausch und der vertiefenden Diskussion zwischen VertreterInnen der Akteure, dem Science Board, den politischen BeobachterInnen und dem Projektteam dienen.

Aus Sicht des Nationalparks und des Naturschutzes muss für das hier beschriebene Szenario zumindest eine brauchbare Übergangslösung gefunden und realisiert werden.

[44] Daneben besteht die Möglichkeit, dass das FGP gänzlich ‚stirbt'. Seine Nutzeffekte sind ja unter den juristischen und politischen Randbedingungen erst in etwa zwei Jahrzehnten zu lukrieren, wer sollte sich für eine solche Lösung exponieren?

[45] Zur Logik des FGP zählte der für Ingenieure typische Versuch, alle Probleme bereits im Zuge der Planung zu lösen und das Projekt schon in dieser Phase zu optimieren. Bei der Planung von Bauwerken ist das normalerweise auch die angemessene Vorgangsweise; welcher Bauherr möchte beispielsweise kurz vor Fertigstellung eines Hauses oder einer Brücke damit konfrontiert werden, dass etwa die Fundamente unzureichend sind und nachträglich verstärkt werden müssen?[29] Im vorliegenden Fall soll aber kein Bauwerk errichtet werden, sondern ein natürliches Fluss-Auen-System, das durch eine starke Eigendynamik gekennzeichnet ist, beeinflusst werden. Flussmorphologische Prozesse werden nur teilweise verstanden; bei ihrer Modellierung und der Vorhersage der morphologischen Reaktionen auf diverse flussbauliche Eingriffe bestehen erhebliche Unsicherheiten; dazu kommt, dass sich selbst die Ziele des Gewässermanagements verändert haben (vom traditionellen Wasserbau über den „naturnahen Wasserbau" der 1980er- und 1990er-Jahre bis hin zum „ökologischen Wasserbau") und immer noch verändern. Unter realistischer Bewertung dieser – aus Sicht eines planenden Ingenieurs natürlich unerfreulichen – Randbedingungen könnte man zu einer gänzlich geänderten Strategie kommen:

- Verzicht auf jede (technische) Perfektion; Optimierungen werden erst in der Phase der Realisierung durchgeführt, auf dem Weg eines adaptiven Managements; für die Anfangsphase gilt: „quick and dirty";
- Konzentration auf das Wesentliche (Sohlstabilität) und in diesem Zusammenhang: rasch Wirkung erzielen! Wenn eine volle Geschiebebewirtschaftung erst einmal läuft, dann baut sich damit ein (dann positiv zu nutzender) Druck auf, das Ganze aus wirtschaftlicher und ökologischer Sicht zu optimieren, und damit könnten viele Ideen und Elemente des FGP und damit zusammenhängender Entwicklungen nachträglich und über den Weg eines adaptiven Managements realisiert werden, wenngleich – in vielen Bereichen – wohl erst von der nächsten Generation;
- Minimieren juristischer Risiken; eine reine Geschiebebewirtschaftung wäre (nach derzeitigem Kenntnisstand) nicht UVP-pflichtig, solange sie nicht mit größeren Regulierungen oder mit „Kiesgewinnung" verbunden ist.

[46] Die in Abs. [45] beschriebene Strategie hätte naturgemäß auch bestimmte Risiken und Nachteile. Beispielsweise ginge damit bereits im Ansatz das Potential für eine „Win-win"-Situation und Interessensgemeinschaft zwischen Schifffahrt und Naturschutz größtenteils verloren.

---

29 Der ‚Schiefe Turm von Pisa' (Torre pendente di Pisa) ist ein gutes Beispiel für adaptive Baudurchführung. Ein aktuelles Beispiel ist der Flughafen Berlin Brandenburg.

3 Beschreibung der für eine optimierte Geschiebebewirtschaftung relevanten Prozesse und Einflussfaktoren

3.1 Hydrographische Befunde zur Sohlerosion und zum Geschiebetransportvermögen (kurze Zusammenfassung)

[47] Die folgende Darstellung wurde im Wesentlichen aus Klasz et al. (2013) übernommen: Veränderungen und Tendenzen von kennzeichnenden Wasserständen oder Wasserspiegeln sind verlässliche Indikatoren für die Gerinnestabilität. Durch hydrographische Beobachtungen und Auswertungen sind solche „Kennzeichnenden Wasserstände der österreichischen Donau“[30] für verschiedene Jahre ermittelt und veröffentlicht worden: KWD-1949, KWD-1956, KWD-1970, KWD-1976, KWD-1985, KWD-1996 und KWD-2010 (Bundesstrombauamt 1951, 1959, 1970, 1978; Wasserstraßendirektion 1986, 1998; via donau, 2010). Auf dieser Grundlage ergibt sich ein guter Überblick über die letzten etwa 60 Jahre. „RNW“ (Regulierungsniederwasser) ist jener Wasserspiegel, der einem Abfluss entspricht, der über 94% der Zeit erreicht oder überschritten wird; MW (Mittelwasser) ist jener Wasserspiegel, der dem Mittelwert der Abflüsse der Beobachtungsreihe zugeordnet ist. In Abb. 1 werden die zeitlichen Änderungen, bezogen auf den jeweils ersten Referenzwert (gem. KWD-1949) für fünf Pegelstellen östlich von Wien aufgetragen. In Abb. 2 werden die MW-Differenzen, bezogen auf den ersten Referenzwert (gem. KWD-1949) für alle verfügbaren Pegelstellen im Längsverlauf (Längenschnitt) und Zeitschritt für Zeitschritt aufgetragen; diese Darstellung umfasst auch das Tullner Feld und den Wiener Abschnitt, bevor diese Teilabschnitte durch Staustufen eingestaut wurden (KW Greifenstein: 1984; KW Wien-Freudenau: 1996/98).

Diese Auswertungen und Darstellungen zeigen eine insgesamt in den letzten Jahrzehnten zunehmende Sohlerosion, zunächst (bis zu den KWD-1976) primär stromauf von Wien; in den 1980er- und 1990er-Jahren wurde dann der Wiener Abschnitt und die Strecke östlich davon stärker betroffen. Zuletzt (über die letzten zwei Jahrzehnte) lagen die Eintiefungsraten über weite Strecken im Bereich zwischen 2 und 3 cm/a (Klasz et al., 2013). Unterhalb der Mündung der March wurden die Wasserspiegel zunächst (in den 1970er- und 1980er-Jahren durch eine starke rückschreitende Erosion, die von Baggerungen in der slowakischen Strecke (Bratislava) ausgelöst wurden (Jäggi, 1992), beeinflusst, danach zeigt sich der Stau des Kraftwerkes Gabčikovo (Stauerrichtung 1992) aus, für die gemeinsame Grenzstrecke ist zuletzt (KWD-2010) eine gewisse Auflandungstendenz erkennbar, ganz in Übereinstimmung mit sonstigen Erfahrungen aus Stauwurzel- und Staubereichen.

[30] Im Folgenden auch mit „KWD“ abgekürzt.

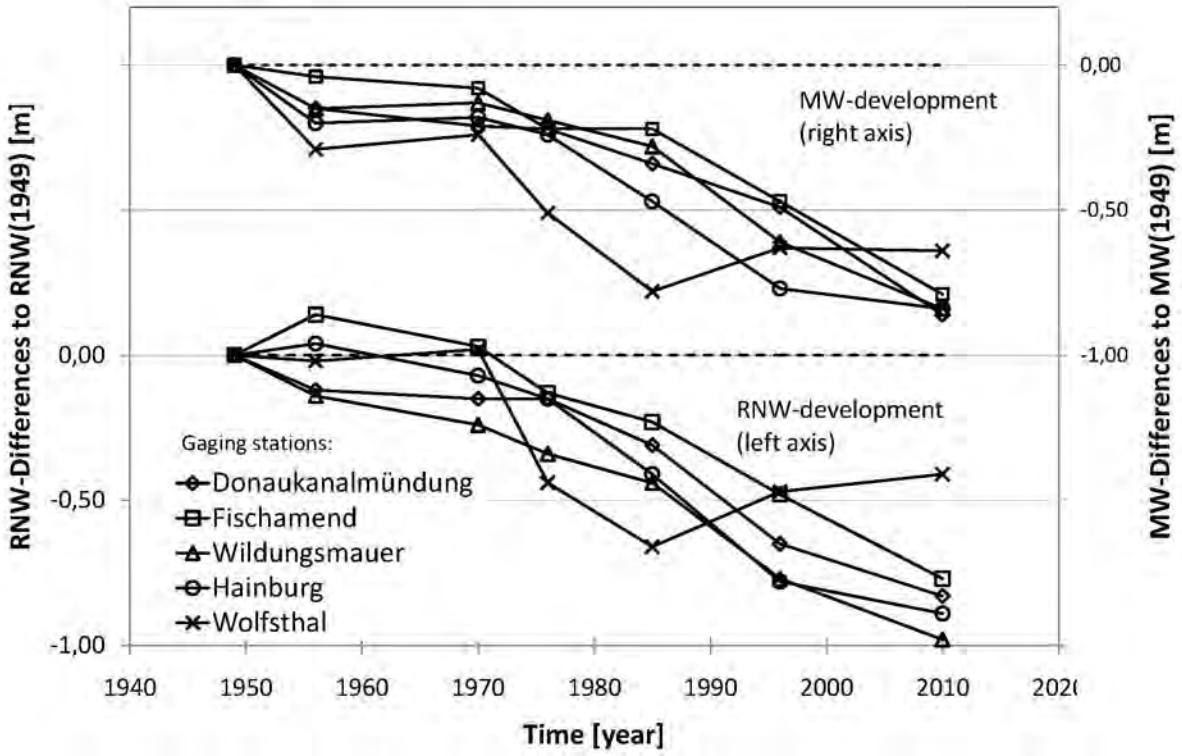


Abb. 1: RNW- und MW-Änderungen (ab dem Referenzzustand „1949"), pegelbezogene Auswertung; Basis: KWD-1949, KWD-1956, KWD-1970, KWD-1976, KWD-1985, KWD-1996 und KWD-2010 (Datenquellen: Bundesstrombauamt, 1951, 1959, 1970, 1978; Wasserstraßendirektion, 1986, 1998; via donau, 2012); Auswertung und Abbildung: Klasz et al. (2013)

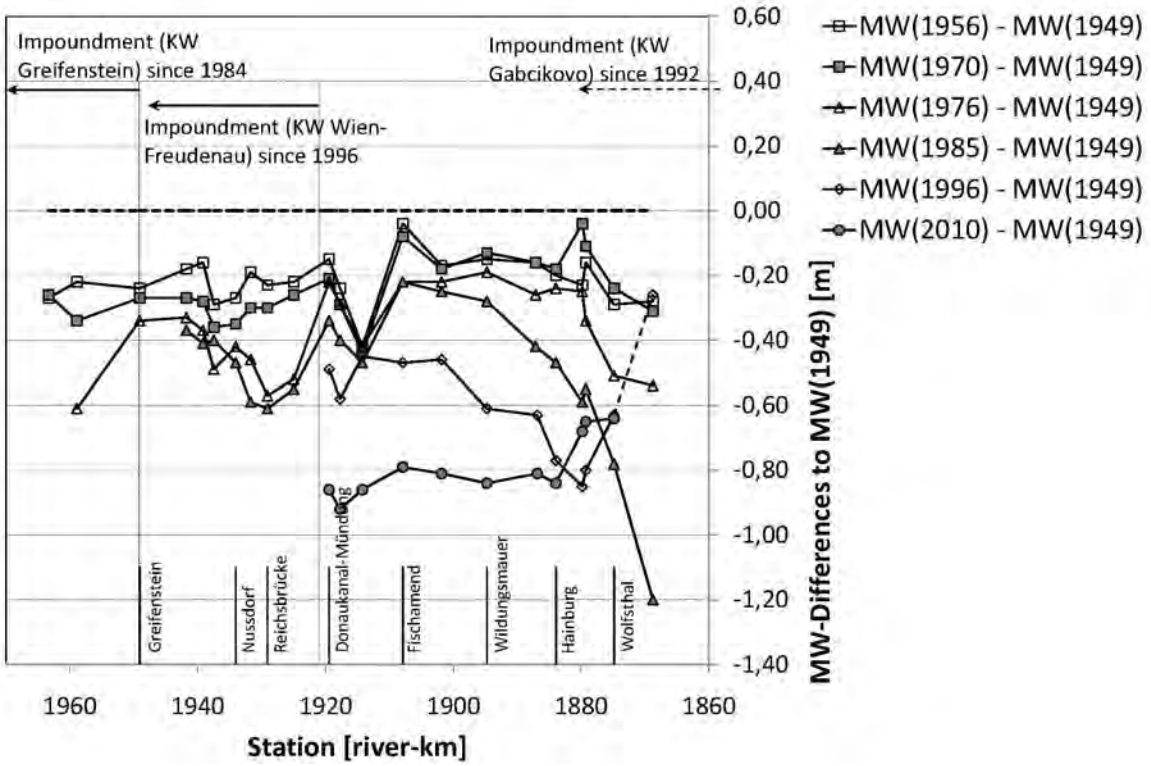


Abb. 2: MW-Änderungen gegenüber dem Referenzzustand „1949", Darstellung im Längenschnitt; Basis: KWD-1949, KWD-1956, KWD-1970, KWD-1976, KWD-1985, KWD-1996 und KWD-2010 (Datenquellen: Bundesstrombauamt, 1951, 1959, 1970, 1978; Wasserstraßendirektion, 1986, 1998; via donau, 2012); Auswertung und Abbildung: Klasz et al. (2013)

[48] Direkten Aufschluss über Sohlerosionen oder Sohlanhebungen erhält man durch den zeitlichen Vergleich von Querprofilen aus Stromgrundaufnahmen. Die Differenz der Profilflächen zwischen zwei Aufnahmezeitpunkten multipliziert mit der „Dicke" des Profils (die Hälfte des Abstandes zum stromauf nächsten Profil + der Hälfte des Abstandes zum nächsten stromab gelegenen Profil) ergibt die Volumenänderung $\Delta V(i,j)$, und dies ist nichts anderes als die Änderung des Geschiebespeichers in diesem Bereich und Zeitschritt; durch Aufsummierung dieser einzelnen Teilvolumina (in Fließrichtung) ergibt sich schließlich die kumulierte Geschiebespeicher-Änderung, vgl. Abb. 3 (für die Periode zwischen 1996 und 2011). Die über die Zeit und Länge gemittelten Erosionsraten zwischen Strom-km 1915 und 1890 liegen bei etwa 5'400 m^3/(km.a); im Abschnitt zwischen etwa Strom-km 1884 (querab Hainburg) und 1880 (Marchmündung) wird offensichtlich bereits eine Sättigung des Geschiebetransportvermögens erreicht, weiter stromab folgt eine (schwache) Auflandungsstrecke, was offensichtlich bereits durch den Stau des Kraftwerkes Gabčikovo beeinfluss ist (Klasz et al., 2013).

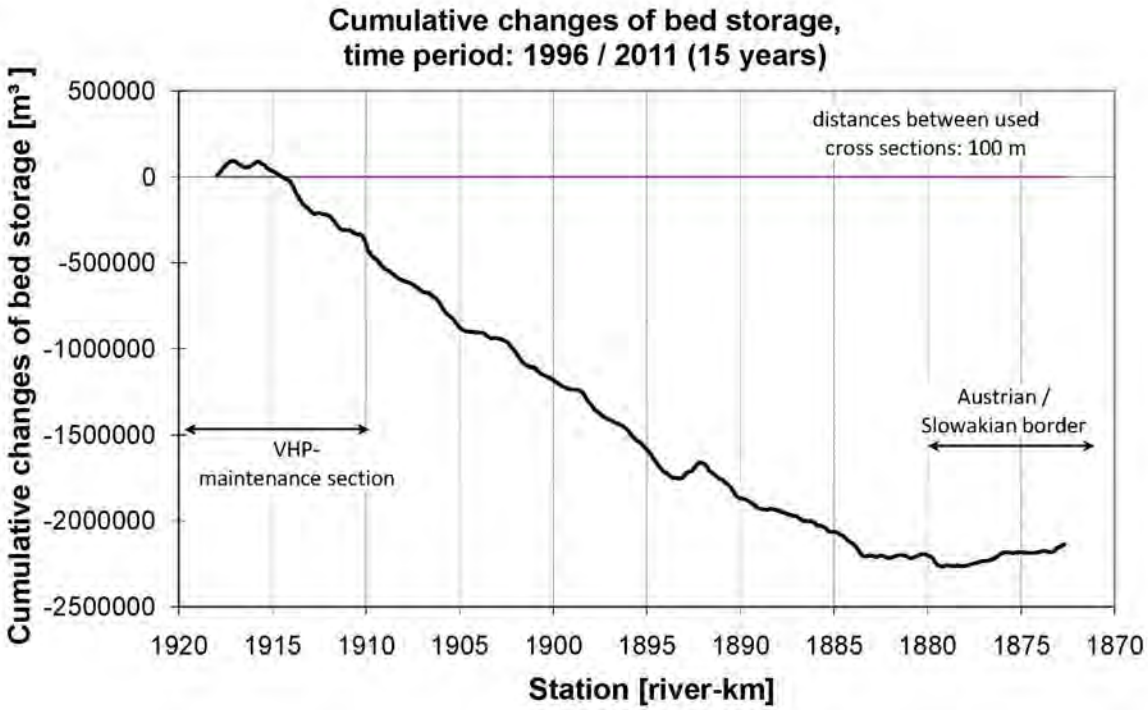


Abb. 3: Kumulierter Geschiebeaustrag für die Donau zwischen Wien und Wolfsthal und den Zeitraum 1996 – 2011; Basisdaten: Stromgrundaufnahmen der Wasserstraßendirektion (1996) bzw. der via donau (2011); Quelle: Klasz et al. (2013)

[49] Beharrung bzw. eine schwache Auflandungstendenz ist im obersten Teil der VHP-Erhaltungsstrecke, also etwa zwischen Strom-km 1920 und 1915 zu erkennen, während sich der unterste Teil dieser VHP-Erhaltungsstrecke bereits eintieft, vgl. Abb. 3. Eine lokale Besonderheit ist bei Strom-km 1892/1893 zu sehen, wo sich als Folge der dortigen Querschnittsaufweitungen (Buhnenabsenkung und Uferrückbau, „Pilotprojekt Witzelsdorf") stärkere lokale Auflandungen gebildet haben.

[50] Von der Gesamtsumme des Geschiebeaustrages von etwa 2,3 Mio. Kubikmeter (sh. Abb. 3), was bezogen auf die Zeit zwischen 1996 und 2011 eine durchschnittliche Geschiebeaustragrate von rd. 150'000 m^3/a ergibt, und der in dieser Phase wirksamen durchschnittlichen Zugabemenge (KW Wien-Freudenau, UW-Sicherung, vgl. auch Pkt. [119] bis [129]) von rd. 190'000 m^3/a kann abgeschätzt werden, dass das gesamte Geschiebetransportvermögen im

Bereich zwischen 340‘000 und 350‘000 m^3/a liegt (Klasz et a., 2013); dieses Ergebnis steht in guter Übereinstimmung mit früheren Abschätzungen von Gruber (1969), Zottl & Erber (1987), Kresser (1984, 1987, 1988) und Klasz (2002), wird aber durch eine empirisch verlässlichere Grundlage als in diesen Studien gestützt (Klasz et al., 2013).

3.2 Hydrologische, flusstopographische und granulometrische Einflussfaktoren

[51] Die für eine dynamische Sohlstabilisierung und Geschiebebewirtschaftung unmittelbar relevanten Faktoren sind:

- das Geschiebetransportvermögen und das Geschiebedefizit;
- Abrieb und Abriebverluste;
- die Kornverteilung des Sohlmateriales und seine Streuungen;
- die sonstigen hydrologischen und hydraulischen Faktoren, die das Geschiebetransportvermögen wesentlich beeinflussen (Abflussdauerlinie, Breiten und Fließtiefen; Gefälle; …);
- die charakteristischen Wasserspiegellagen (die erhalten werden sollen bzw. die durch eine Aufhöhung angestrebt werden);
- die Verfügbarkeit von Zugabematerial;

Informationen zu diesen und damit zusammenhängenden Größen werden im Folgenden kurz zusammengeführt; eine umfassendere Darstellung der flussmorphologischen Verhältnisse dieser Donaustrecke wird u.a. in der „Studie zur Flussmorphologie der frei fließenden Donau, Wien bis Marchmündung“ (Klasz, 2011) gegeben.

[52] Für die Fragestellung ist u.a. die Häufigkeitsverteilung der Abflüsse maßgebend (darstellbar beispielsweise in Form einer Dauerlinie). Dieser Einfluss ist flussbaulich nicht veränderbar. Eine langfristig ermittelte Dauerlinie wird mit Abb. 4 angegeben.

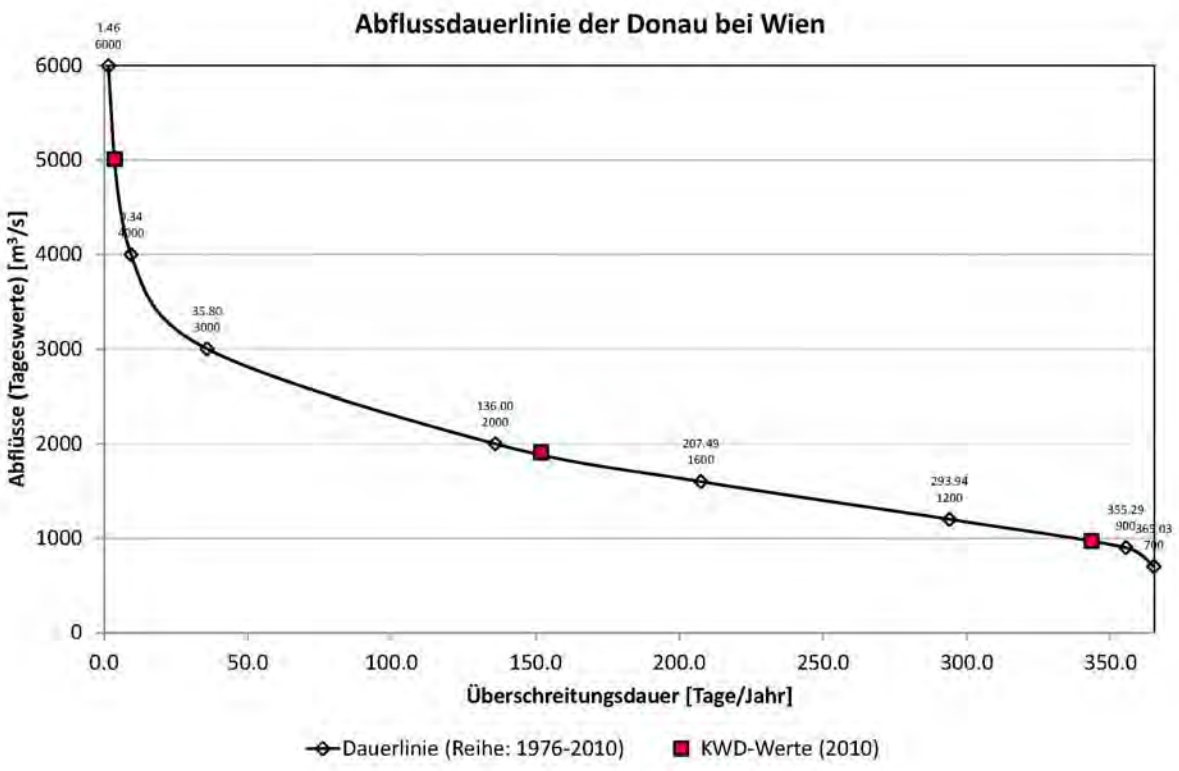


Abb. 4: Abflussdauerlinie der Donau bei Wien (langjährig: 1976/2010). Datenquelle: Hydrographisches Zentralbüro (Hydrographische Jahrbücher von Österreich, 1976-2010).

[53] Aus Dauerlinien mit langjähriger Datenbasis (Reihe) können die beiden für Wasserbau und Schifffahrt sehr wichtigen Kennwerte „RNQ“ und „HSQ“ (gem. KWD-2010[31]) abgeleitet werden, vgl. Tab. 1. Die Überschreitungsdauer für MQ kann auf Basis der langjähriger Abflussdauerlinie (Abb. 4) mit ca. 152 d/a angegeben werden.

31 KWD: „Kennzeichnende Wasserstände der österreichischen Donau, erstellt und herausgegeben von der via donau – Österreichische Wasserstraßen-Gesellschaft mbH. (früher: Wasserstraßendirektion), zuletzt für den Zustand „2010“: KWD-2010; für die Bestimmung der charakteristischen Abflüsse (RNQ, MQ, HSQ) wurde dafür die Reihe 1981/2010 herangezogen.

Tabelle 1: Charakteristische Wasserstände bzw. Durchflüsse gem. KWD-2010 (via donau, 2012);

Zustand:	**Definition:** (entsprechend der Richtlinien der Donaukommission)	**Durchfluss für Wien (Korneuburg):**	**Durchfluss für Hainburg:**	**zugehörige Wasserstände:**
RNQ	Abfluss mit einer Überschreitungsdauer von 94% (rd. 343 d/a)	970 m^3/s	980 m^3/s	RNW: „Regulierungsniederwasser“
MQ	Mittelwasser: arithmetisches Mittel der Abflussjahresmittel	1.910 m^3/s	1.930 m^3/s	MW: „Mittelwasser“
HSQ	Abfluss mit einer Überschreitungsdauer von 1% (rd. 3,6 d/a)	5.010 m^3/s	5.130 m^3/s	HSW: „Höchster Schifffahrtswasserstand“[32]
HQ_{100}	100-jährliches Hochwasser	10.400 m^3/s	10.350 m^3/s	HW_{100}

Die KWD-2010 wurden im September 2012 veröffentlicht; zuvor waren die KWD-1996 (Veröffentlichung im Jänner 1998) gültig, auf die sich noch verschiedene Aussagen und Auswertungen in dieser Studie beziehen. Die Bemessungsabflüsse gem. KWD-1996 unterscheiden sich von jenen der KWD-2010, da sie auf Grundlage einer früheren Abflussreihe ermittelt wurden: RNQ(1996) für Wien: 910 m^3/s; MQ(1996) für Wien: 1915 m^3/s; HSQ(1996): 5010 m^3/s.

[54] Verschiedene wichtige hydrologische und hydromorphologische Kennwerte werden in Tab. 2 zusammengefasst:

Tabelle 2: Hydrologische und hydromorphologische Parameter der Donau östlich von Wien, Strom-km 1920 bis 1880; Quelle: Klasz (2011), Klasz et al. (2012)

A_D	Einzugsgebietsgröße [km^2]	≈ 100‘000	(a
Q_m	MQ, mittlerer Abfluss [m^3/s]	≈ 1‘930	(a
Q_{maf}	MJHQ, mittlerer Jahreshochwasserabfluss [m^3/s]	≈ 5‘930	(a
$Q_{1.5}$	Hochwasserabfluss mit Jährlichkeit T=1.5-Jahre [m^3/s]	≈ 5‘050	(b
Q_{bf}	geschätzter bordvoller Abfluss [m^3/s]	≈ 4‘800	(a
D_{50}	Korndurchmesser / Sohlmaterial mit 50% Siebdurchgang [mm]	20 … 25	(a
D_{90}	Korndurchmesser / Sohlmaterial mit 90% Siebdurchgang [mm]	50 … 70	(a
B_{bf}	mittlere bordvolle Breite (Wasserspiegel) [m]	≈ 353	(a
H_{bf}	mittlere bordvolle Fließtiefe [m]	≈ 5.75	(a
S	Gefälle (Wasserspiegel) [m/m]	≈ 0.00041	(a
G	mittleres Geschiebetransportvermögen [m^3/a]	≈ 370‘000	(b

[55] Abb. 5([33] zeigt die Breiten (Wasserspiegel) und mittleren Fließtiefen H=A/B für den bordvollen Zustand (also etwa HSQ); die Grunddaten (Wasserspiegelbreiten B und Fließquerschnitt A, profilsweise mit Profilabstand 200 m) stammen aus einer hydraulischen 1d-Berechnung

32 Dieser Begriff ist etwas irreführend, weil die Donauschifffahrt in diesem Stromabschnitt nicht bei HSW sondern erst deutlich darüber (bei HSW + 90 cm) eingestellt wird.

33 Die folgenden Abbildungen (Abb. 5 bis Abb. 12) und Auswertungen werden aus Klasz (2011) übernommen.

(DonauConsult, 2006), diese Daten wurden auf Plausibilität (im Längsverlauf) getestet, einzelne Fehler wurden im Zuge der Studie Klasz (2011) korrigiert. Im oberen und weitgehend gestreckten Abschnitt (Strom-km 1920 bis ca. 1906) ist das Hauptgerinne (der Strom) etwas schmäler und tiefer als im stärker gewundenen Abschnitt stromab der Fischamündung; dabei ist aber der Teilabschnitt stromauf von Strom-km 1916,6 gesondert zu betrachten, weil dort - zumindest ab etwa HSW - die sogenannte Neue Donau (das Entlastungsgerinne) als Parallelgerinne abflusswirksam ist. Im Mittel über die Strecke zwischen Strom-km 1916,4 bis 1880,0 (unmittelbar stromab der Mündung der Neuen Donau bis zur Mündung der March) liegt die bordvolle Breite (Wasserspiegel) bei ca. 353,1 m und die mittlere bordvolle Fließtiefe bei ca. 5,76 m; vgl. auch Tab. 3.

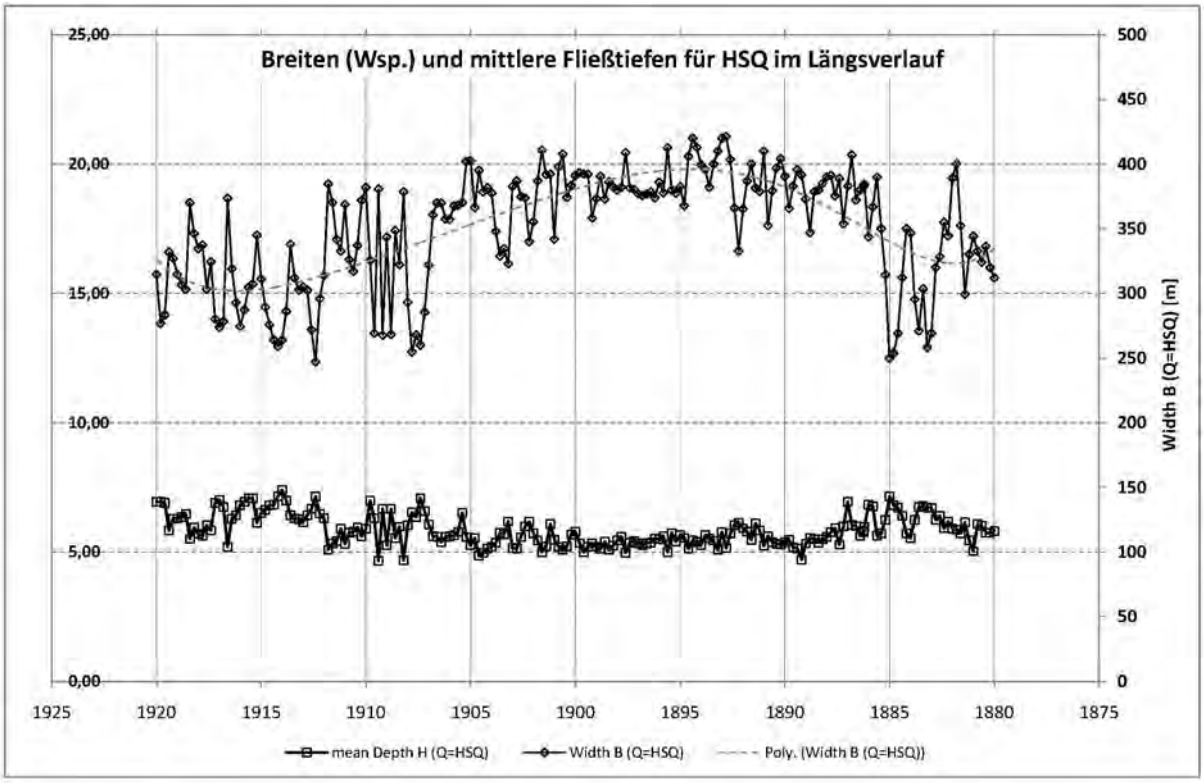


Abb. 5: Breiten (Wasserspiegel) und mittleren Fließtiefen H=A/B für den bordvollen Zustand (also etwa HSQ) für die Strecke zwischen Strom-km 1920 und Strom-km 1880; Quelle: Klasz (2011), Rohdaten: DonauConsult (2006) auf Basis eines numerischen 1D-Modells.

[56] Für Q=3‘000 m^3/s ist die mittlere Breite (Wasserspiegel) über die Strecke zwischen Strom-km 1916,4 und 1880,0 (stromab der Mündung der Neuen Donau bis zur Mündung der March) ca. 332,5 m und die zugehörige mittlere Fließtiefe ca. 4,37 m (Rohdaten: DonauConsult, 2006; Datenkontrolle und Korrektur einzelner Fehler im Rahmen der Studie Klasz, 2011); vgl. auch Tab. 3 und Abb. 6. Im oberen Abschnitt (stromauf der Fischamündung) zeigt sich bereits in dieser Auswertung eine deutliche Breitenperiodizität, die mit den in diesem Abschnitt vorliegenden alternierenden Kiesbänken zusammenhängt.

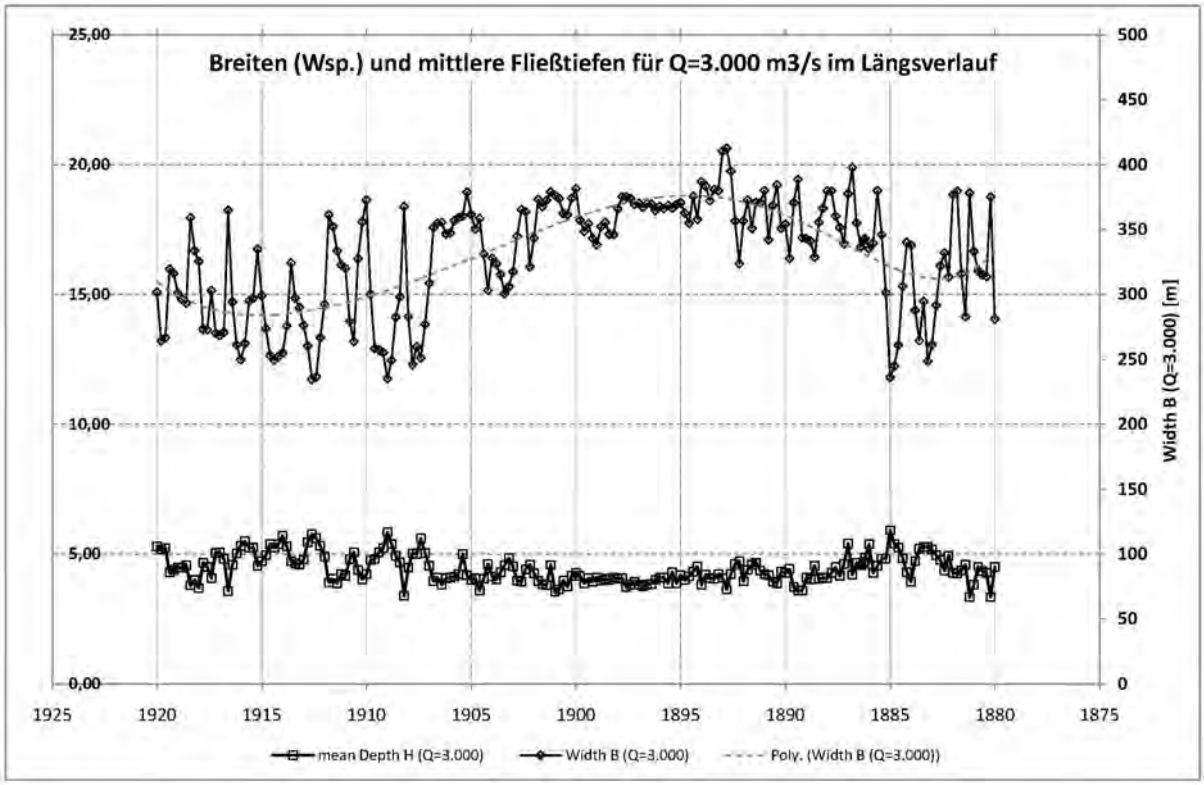


Abb. 6: Breiten (Wasserspiegel) und mittleren Fließtiefen H=A/B für den Zustand mit Q=3.000 m3/s für die Strecke zwischen Strom-km 1920 und Strom-km 1880; Quelle: Klasz (2011), Rohdaten: DonauConsult (2006) auf Basis eines numerischen 1D-Modells.

[57] Für MQ (Mittelwasser) ist die mittlere Breite (Wasserspiegel) über die Strecke zwischen Strom-km 1916,4 und 1880,0 (unmittelbar stromab der Mündung der Neuen Donau bis zur Mündung der March) ca. 313,0 m und die zugehörige mittlere Fließtiefe ca. 3,33 m (Rohdaten: DonauConsult, 2006; Datenkontrolle und Korrektur einzelner Fehler im Rahmen der Studie Klasz, 2011); vgl. auch Tab. 3 und Abb. 7. Die Breitenperiodizität im oberen Teilabschnitt (stromauf der Fischamündung) ist auch in dieser Darstellung sehr dominant; mit 8 Zyklen auf einer Länge von etwa 14 km (Strom-km 1920 bis 1906) ist eine mittlere Wellenlänge (Furt-Furt-Distanz) von etwa 1,75 km (etwa 5,6-fache MW-Breite bzw. ca. 5,0-fache Breite des bordvollen Abflusses) verbunden.

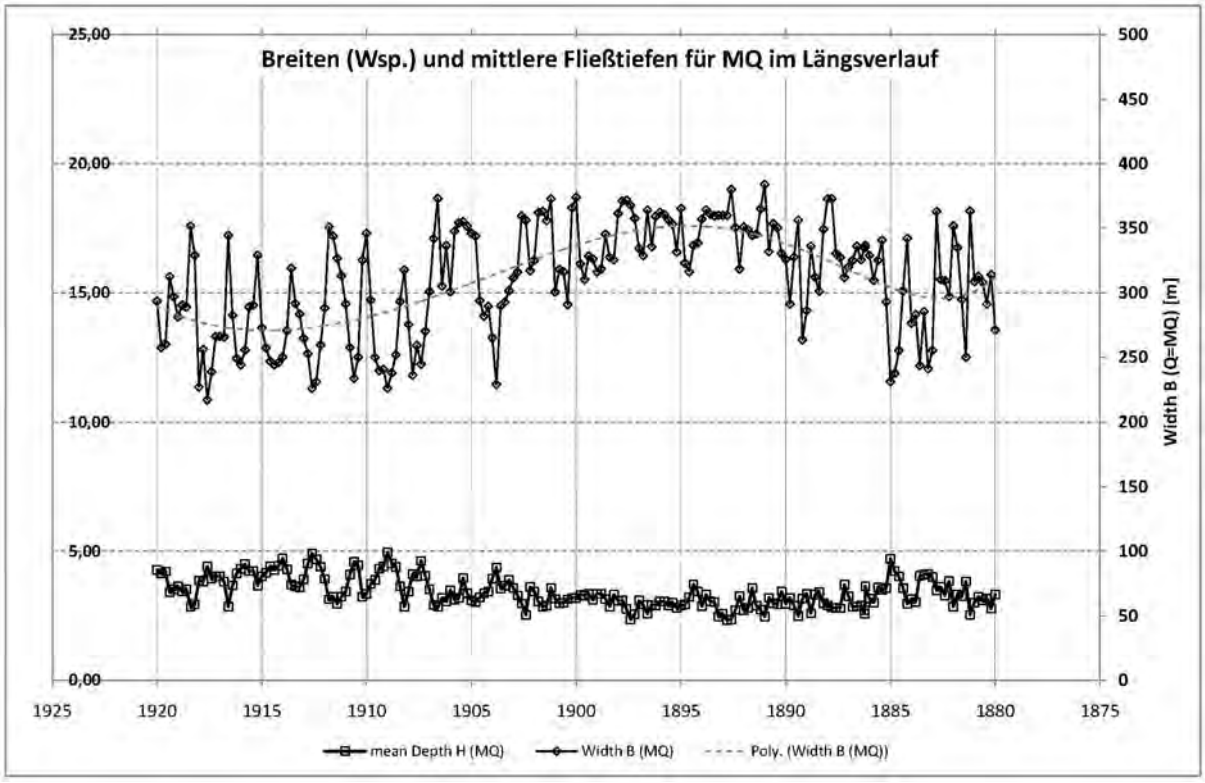


Abb. 7: Breiten (Wasserspiegel) und mittleren Fließtiefen H=A/B für den Zustand mit Mittelwasser (also MQ) für die Strecke zwischen Strom-km 1920 und Strom-km 1880; Quelle: Klasz (2011), Rohdaten: DonauConsult (2006) auf Basis eines numerischen 1D-Modells.

[58] Für RNQ (Regulierungsniederwasser) ist die mittlere Breite (Wasserspiegel) über die Strecke zwischen Strom-km 1916,4 und 1880,0 (unmittelbar stromab der Mündung der Neuen Donau bis zur Mündung der March) ca. 247,3 m und die zugehörige mittlere Fließtiefe ca. 2,50 m (Rohdaten: DonauConsult, 2006; Datenkontrolle und Korrektur einzelner Fehler im Rahmen der Studie Klasz, 2011); vgl. auch Tab. 3 und Abb. 8. Die Breitenperiodizität im oberen Teilabschnitt (stromauf der Fischamündung) ist auch in dieser Darstellung sehr gut erkennbar.

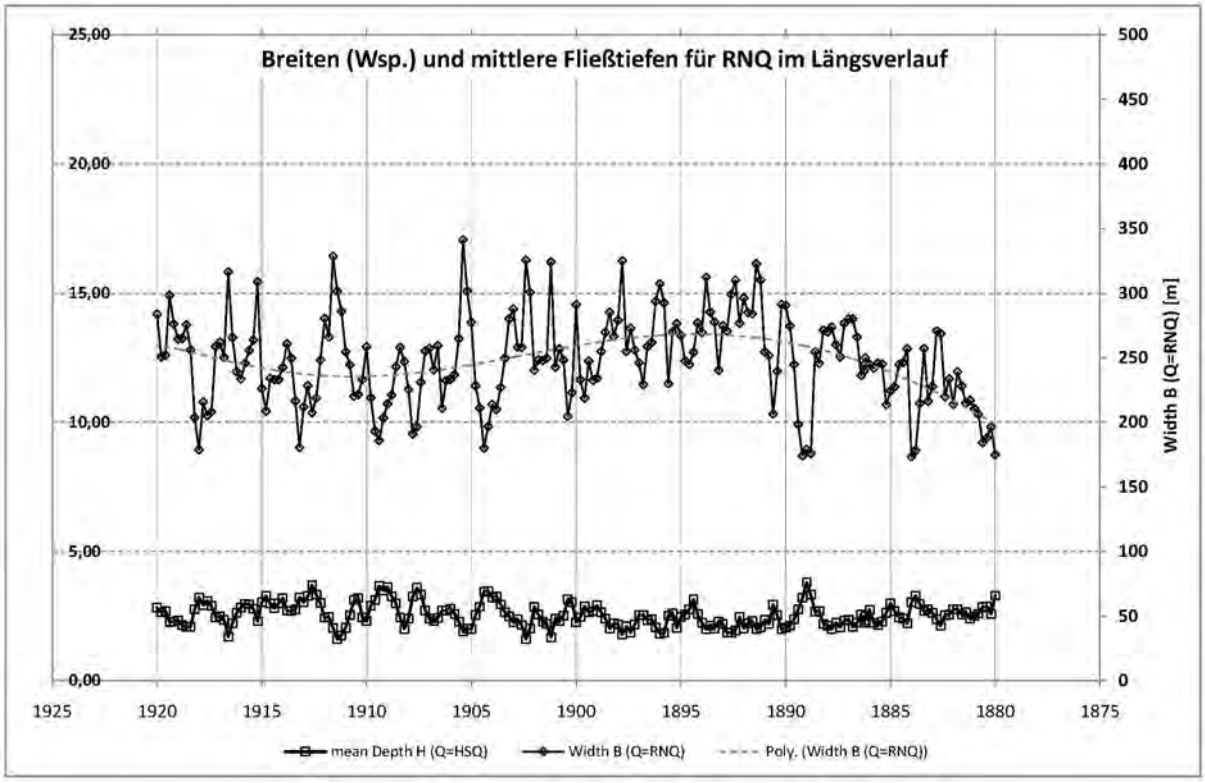


Abb 8: Breiten (Wasserspiegel) und mittleren Fließtiefen H=A/B für den Zustand mit Regulierungsniederwasser (also RNQ) für die Strecke zwischen Strom-km 1920 und Strom-km 1880; Quelle: Klasz (2011), Rohdaten: DonauConsult (2006) auf Basis eines numerischen 1D-Modells.

[59] Die über die Strecke zwischen Strom-km 1916,4 und 1880,0 (Mündung Neue Donau bis Marchmündung) gemittelten Wasserspiegelbreiten und mittleren Fließtiefen H=A/B für verschiedene Abflüsse (RNQ, MQ, Q=3‘000 m^3/s; HSQ) werden in Tab. 3 aufgelistet. In Abb. 9 werden diese Werte im doppellogarithmischen Maßstab über dem Durchfluss aufgetragen und angepasst. Im Sinn der Hydraulic-Geometry-Ansätze („At-a-station“, Leopold & Maddock, 1953; Ferguson, 1986; Knighton, 1998) kann man Breiten und mittlere Fließtiefen nach den in der Tabelle angegebenen Potenzansätzen anpassen; die Exponenten b und f (=Steigung im log/log-Maßstab) sind für diesen Donauabschnitt: b=0,209 und f=0,496; diese Werte passen zu den in der Fachliteratur bekannten Vergleichswerten, Leopold & Maddock (1953) geben beispielsweise b≈0.26 und f≈0.40 an. Andere Untersuchungen (u.a. Ferguson, 1986; Knighton, 1998) zeigen, dass diese Exponenten, die wesentlich von der vorherrschenden Profilform abhängen, vergleichsweise weit streuen.

Tabelle 3: Wasserspiegelbreiten und mittlere Fließtiefen, gemittelt über die Strecke zwischen Strom-km 1916,4 und 1880,0 (Mündung Neue Donau bis Marchmündung) und für verschiedene Durchflüsse; Rohdaten: DonauConsult (2006); Auswertung: Klasz (2011).

	für RNQ[34]	**für MQ[35]**	**für Q= 3'000 m³/s**	**für HSQ[36]**
mittlere Profilbreiten B (Wsp.) [m]	247,3	313,0	332,5	353,1
	$B \approx a \cdot Q^b \approx 60{,}9 \cdot Q^{0{,}209}$			
mittlere Querschnittsflächen A [m²]	619,2	1042,5	1452,7	2032,6
mittlere Fließtiefen H=A/B [m]	2,50	3,33	4,37	5,76
	$H \approx c \cdot Q^f \approx 0{,}082 \cdot Q^{0{,}496}$			
mittlere Fließgeschwindigkeiten (Hauptgerinne) [m/s]	1,49	1,85	2,07	(2,35)
mittlere Sohlschubspannungen τ [N/m²]	9,1	11,9	15,2	19,9
mittlerer Shields-Parameter τ* [-] (dimensionslose Sohlschubspannungen)	0,025	0,033	0,042	0,055

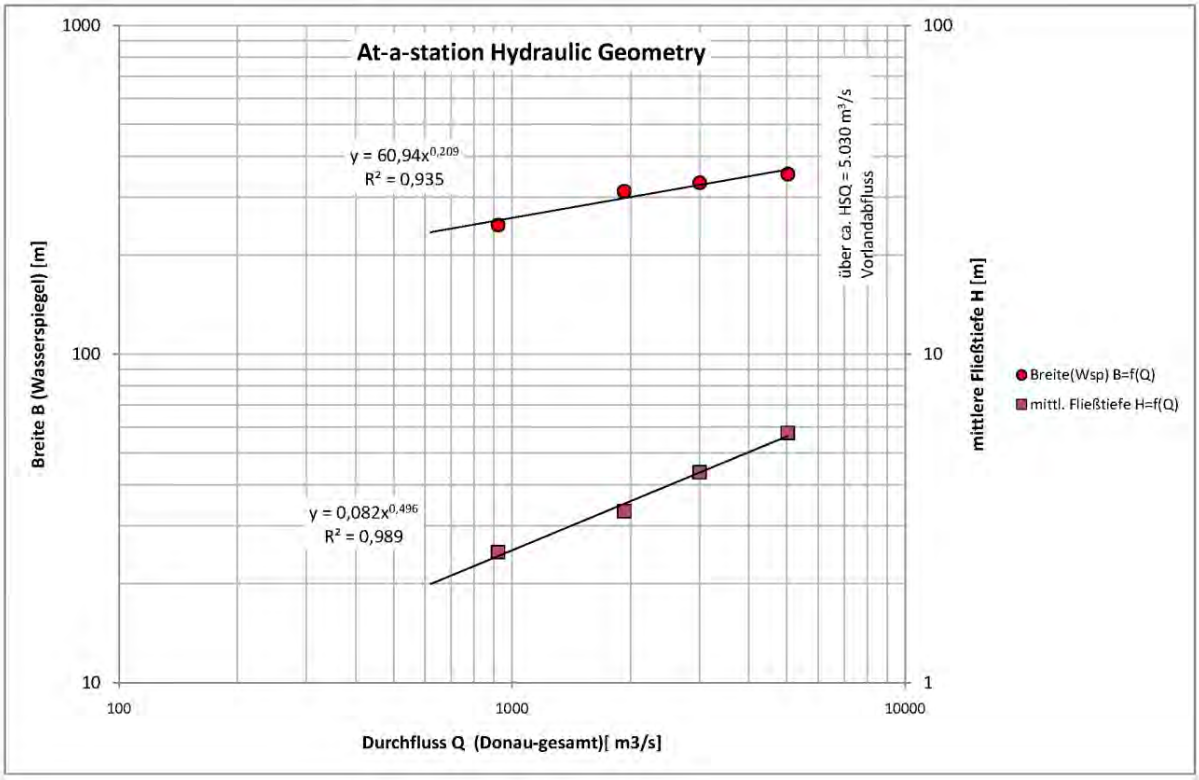


Abb. 9: At-a-station Hydraulic Geometry für die Donau zwischen Strom-km 1916,4 und Strom-km 1880; Quelle: Klasz (2011).

---

34 Diese Berechnungen wurden noch auf Grundlage der KWD-1996 durchgeführt, mit (gegenüber der KWD-2010) etwas geringeren RNQ-Werten von (gemittelt über die Strecke) rd. 923 m³/s.

35 Diese Berechnungen wurden noch auf Grundlage der KWD-1996 durchgeführt, mit (gegenüber der KWD-2010) geringfügig höheren MQ-Werten von (gemittelt über die Strecke) rd. 1932 m³/s.

36 Diese Berechnungen wurden noch auf Grundlage der KWD-1996 durchgeführt, mit HSQ-Werten von (gemittelt über die Strecke) rd. 5030 m3/s, davon (im Mittel über die Strecke) 4780 m³/s im Hauptgerinne, der Rest in den Seitenarmen.

[60] Die mittleren Fließgeschwindigkeiten für die charakteristischen Durchflüsse und in Bezug auf die gemittelten Querschnittsflächen werden in Tab. 3 angegeben.

[61] Über die gesamte Strecke (Strom-km 1920 bis 1880) liegt das Gefälle bei 0,40 m/km (RNW) bzw. 0,41 m/km (MW und HSW); berechnet man die Werte für die einzelnen Stromkilometer, dann zeigen sich über den Längsverlauf deutliche Schwankungen, vgl. Abb. 10. Stromauf von Strom-km 1903 liegen die MW-Werte zwischen 0,35 und 0,40 m/km, der Wasserspiegel ist dort etwas flacher, stromab davon steigen sie auf etwa 0,42 bis 0,43 m/km und im Bereich von Hainburg sind sie noch höher, etwa bei 0,50 m/km. Abb. 10 zeigt auch die entsprechenden Verhältnisse für RNW und HSW. Die Werte für RNW streuen wesentlich stärker als jene für Mittelwasser, was schlüssig ist, weil sich örtliche Unregelmäßigkeiten bei Niederwasser besonders stark auswirken; das betrifft vor allem den Wechsel von Kolk- und Furtstrecken, daneben aber auch die Wirkung von Regulierungsbauwerken. Der generelle Trend im Längenschnitt entspricht einer Zunahme des Gefälles in Fließrichtung: etwa 0,3 bis 0,4 m/km knapp unterhalb von Wien und etwa 0,4 bis 0,5 m/km bei Hainburg. Die Werte für HSW zeigen einen recht glatten Verlauf, über weite Strecken liegen sie knapp unter oder knapp über 0,40 m/km. Abweichungen von den MW-Verhältnissen können mit der Beaufschlagung einzelner Nebenarme (Aus- und Rückleitungen) erklärt werden.

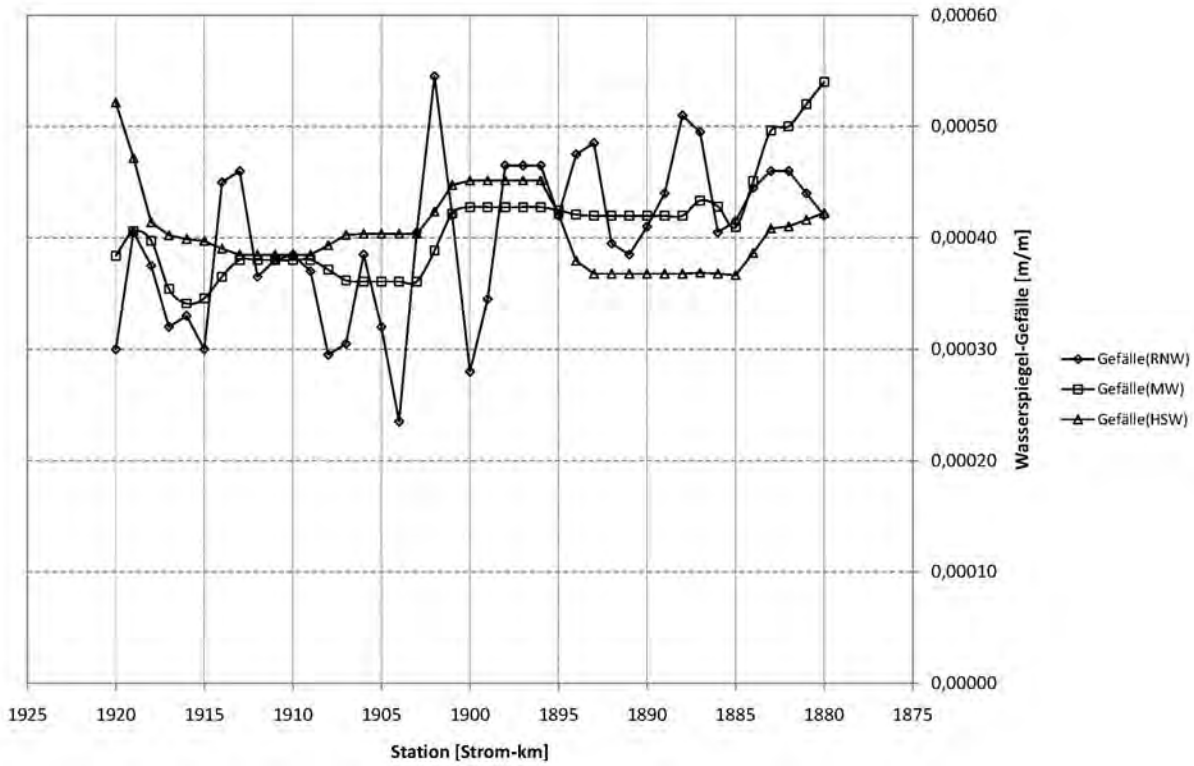


Abb. 10: Gefällewerte für HSW, MW, RNW für die Donau zwischen Strom-km 1920 und Strom-km 1880; Quelle: KWD-1996 (Wasserstraßendirektion, 1998).

[62] Für breite Flüsse (R→H) können die profilgemittelten Sohlschubspannungen τ gem. Gl. (1.a) berechnet werden; die zugehörigen dimensionslosen Sohlschubspannungen τ_* ergeben sich nach Gl. (1.b). Diese Variablen beschreiben die Intensität der auf die Sohle einwirkenden Strömungsbeanspruchungen.

$$\tau = \varrho g \cdot H \cdot S \qquad \text{Gl. (1.a)}$$

$$\tau_* = \frac{\varrho g \cdot H \cdot S}{(\rho_S - \rho) g \cdot D_{50}} = \frac{H \cdot S}{\Delta \cdot D_{50}} \qquad \text{Gl. (1.b)}$$

[63] Die damit berechneten Werte für RNQ, MQ, Q=3'000 m^3/s und HSQ werden in den Abb. 11 (τ im Längsverlauf) und Abb. 12 (τ_* im Längsverlauf) dargestellt; charakteristische Mittelwerte werden in Tab. 3 angegeben. Für den mittleren Korndurchmesser D_{50} in Gl. (1.b) wird - in weitgehender Übereinstimmung mit Abs. [69] - ein Wert von 22,5 mm gesetzt. Im Talweg (Tiefenlinie) sind generell höhere Sohlschubspannungen zu erwarten.

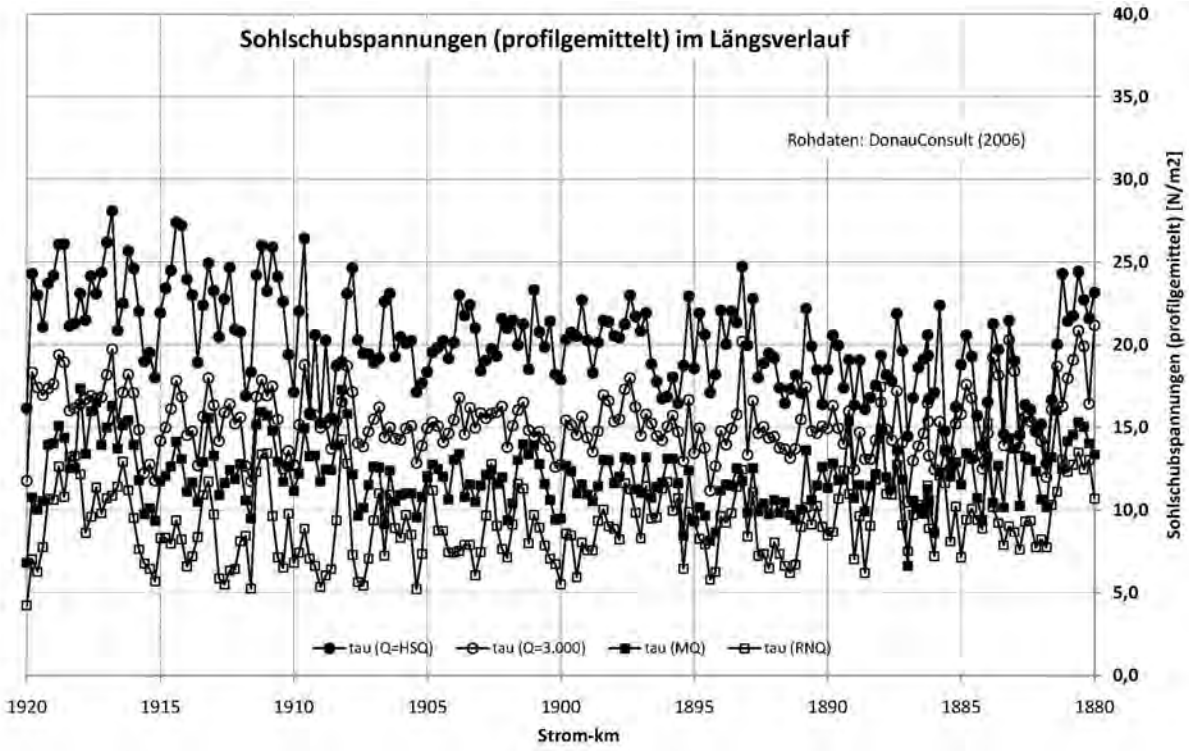


Abb. 11: Sohlschubspannungen (profilgemittelt) im Längsverlauf der Donau, für verschiedene Abflüsse; Rohdaten: DonauConsult (2006) auf Basis eines numerischen 1D-Modells; weitere Auswertung: Klasz (2011).

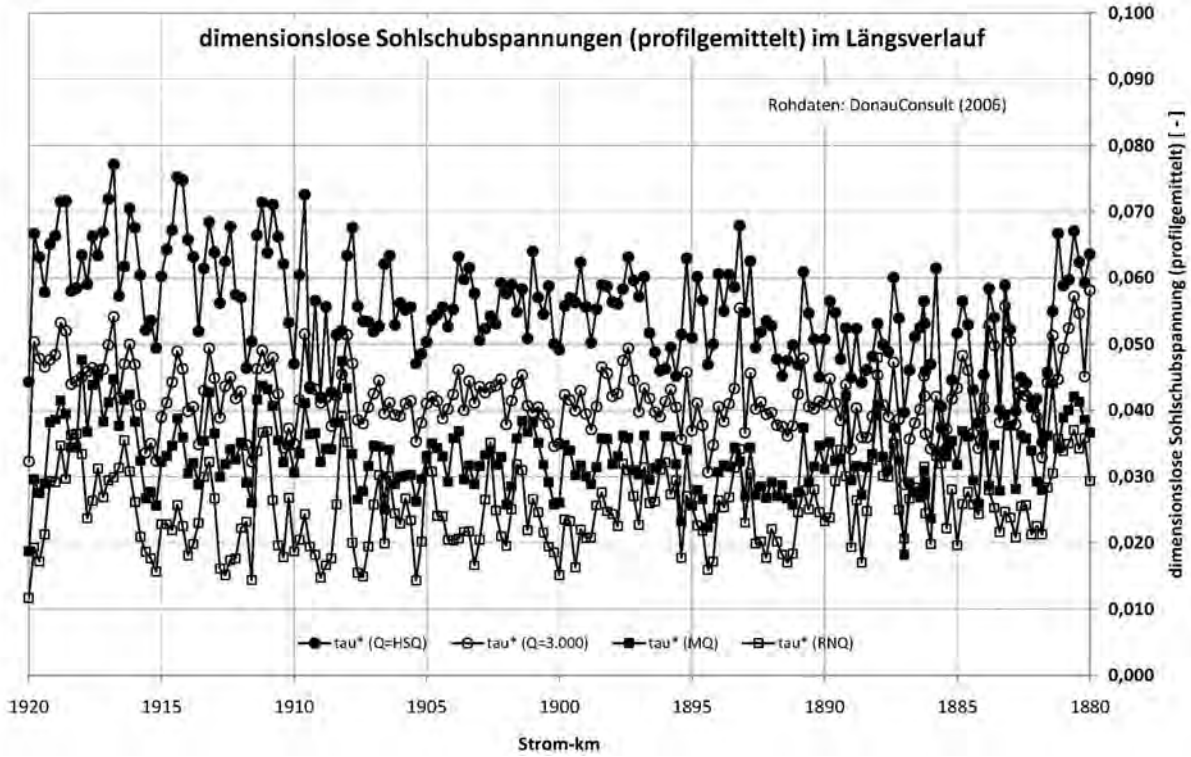


Abb. 12: Dimensionslose Sohlschubspannungen (profilgemittelt) im Längsverlauf der Donau, für verschiedene Abflüsse; Rohdaten: DonauConsult (2006) auf Basis eines numerischen 1D-Modells; weitere Auswertung: Klasz (2011).

[64] Die Sohle der Donau wird praktisch überall aus Kiesen und Grobkiesen gebildet; die maßgebenden Korndurchmesser D_m (Definition nach Meyer-Peter) und die mittleren Korndurchmesser D_{50} liegen meist im Bereich zwischen 20 und 30 mm, das natürliche Größtkorn schwankt – je nach flussmorphologischer Situation – zumeist zwischen 90 und 150 mm; gelegentlich werden auch größere Steine gefunden, dabei handelt es sich aber im Allgemeinen um Wasserbausteine. Feinkörnige, also sandige oder schluffige (bzw. aulehmige) Materialien spielen für die Bettbildung im Hauptgerinne keine nennenswerte Rolle, wohl aber an den Ufern (Uferwallbildung), in den Nebenarmen und Vorländern, wo es mit diesen Feinsedimenten zunehmend zur Verlandung bzw. Auflandung kommt, vgl. auch Klasz et al., 2013.

[65] Im Rahmen einer Untersuchung des Ingenieurbüros Zottl & Erber (1987) wurden zwischen Wien-Nussdorf und Hainburg insgesamt 33 Sohlproben entnommen. Die Entnahme erfolgte von einem Schiffsverband (Negrelli, Kronau, Inn) der Wasserstraßendirektion mittels eines nach unten dicht schließenden Polypgreifer. Pro Probe wurden etwa 500 bis 650 kg im Labor (Baustellenlabor der Baustelle „Neue Donau - Baulos EG 1") gesiebt (Klasz, 2002). In Tab. 4 werden neben der Entnahmeorte und der gesiebten Masse auch die für geschiebehydraulische Fragen wichtigen Kenngrößen angegeben, und zwar:

- den maßgebenden Korndurchmesser D_m (Definition nach Meyer-Peter),
- den D_{max}-Wert (Durchmesser des Größtkornes)[37],
- die D_{90}-, D_{84}-, D_{50}- und D_{16}-Werte,
- das Verhältnis D_{84}/D_{16} als Maß für die (Un-)Gleichkörnigkeit;

[37] Die Größtkörner wurden gewogen, D_{max} wurde dann als äquivalenter Kugeldurchmesser (unter Annahme einer mittleren Dichte von 2,63 kg/dm^3) rückgerechnet.

Tabelle 4: Geschiebe- bzw. Sohlentnahmen aus der Strecke zwischen Wien und Marchmündung, und daraus ermittelte Parameter; Quelle: Zottl & Erber (1987)

Nr.	Str.km	Ort im Profil	M [kg]	D_{max} [mm]	D_{90} [mm]	D_{84} [mm]	D_{50} [mm]	D_{16} [mm]	D_{10} [mm]	D_m [mm]	D_{84}/D_{16} [-]	Situation (flussmorph.)
S1	1881,3	40m vom liU	561,0	100	56,9	46,1	18,5	3,0	1,9	23,5	15,2	Bogen (außen), Kolk
S2	1881,3	Str.mitte	518,9	100	35,1	28,6	16,5	9,6	8,4	19,6	3,0	Bogen (Mitte)
S3	1881,3	50m vom reU	558,3	102	50,8	43,9	22,5	7,9	5,8	25,1	5,6	Bogen (innen)
S4	1885,2	30m vom liU	586,9	98	51,6	44,2	17,7	3,4	2,1	22,2	13,1	Bogenübergang
S5	1885,2	Str.mitte	562,7	100	61,4	50,3	17,4	4,1	2,6	24,5	12,2	Bogenübergang
S6	1885,2	Str.mitte	681,2	107	56,4	46,3	15,1	2,9	1,9	21,7	16,0	Bogenübergang
S7	1885,2	80m vom reU	506,7	86	47,7	40,0	23,7	11,9	9,4	26,1	3,4	Bogenübergang
S8R[38]	1888,55	70m vom reU	556,8	110	51,1	46,1	29,0	15,7	12,6	30,2	2,9	tiefer Kolk
S9	1890,3	Str.mitte	511,7	100	49,0	40,0	20,8	10,0	8,2	24,7	4,0	(Furt)
S10	1895	Str.mitte	594,7	100	59,6	52,5	19,1	2,5	1,6	24,6	21,2	Bogen (Mitte)
S11	1895	30m vom reU	455,2	100	44,7	37,7	19,9	5,9	3,4	21,8	6,4	Bogen (außen), Kolk
S12	1894,99	40m vom reU	592,6	80	46,5	39,7	23,7	12,5	9,9	26,0	3,2	Bogen (außen), Kolk
S13	1900,9	60m vom liU	510,0	120	64,0	56,8	20,4	2,9	1,9	25,9	19,3	Kolk
S14	1905	30m vom reU	557,2	130	53,3	40,7	18,7	4,8	2,9	20,9	8,4	Furt
S15	1905	Str.mitte	600,7	167	74,1	61,5	17,6	2,5	1,6	23,5	24,3	Furt
S16	1905	80m vom liU	557,8	124	68,5	58,8	22,9	4,5	2,7	27,9	13,2	Furt
S17	1908,6	Str.mitte	601,9	105	57,8	48,2	19,7	5,0	3,1	24,2	9,5	(Furt)
S18	1913,7	100m vom liU	566,8	115	63,4	56,4	25,7	3,9	2,5	28,9	14,5	Furt
S19	1913,7	110m vom liU	616,9	128	64,0	55,7	22,6	4,9	2,9	26,8	11,4	Furt
S20	1914,6	40m vom reU	642,2	115	62,9	55,3	33,2	18,4	15,5	35,4	3,0	Kolk (außen)
S21	1917,80	40m vom reU	565,1	130	71,8	63,3	28,0	7,9	6,0	32,5	8,0	Kolk (außen)
S22	1917,80	50m vom reU	550,9	100	66,9	59,3	31,5	12,2	9,4	35,0	4,9	Kolk (außen)
S23	1917,80	Str.mitte	465,9	130	41,1	32,1	11,7	2,8	1,8	16,2	11,4	Bank
S24	1920,60	100m vom liU	456,9	100	62,4	55,9	27,3	7,5	4,6	30,3	7,5	Buhnenkopf

[66] Die Kornverteilungslinien aller Sohlproben sind stetig, also keine Ausfallkörnungen; die Proben S2, S7, S8R, S9 und S20 haben praktisch keine Anteile an Sand und nur wenig Feinkies; umgekehrt hat die Probe S23 einen hohen Anteil an Sand und Feinkies. Einige Proben (S2, S7, S8R, S12, S20) sind vergleichsweise eng gestuft, mit D_{84}/D_{16}-Werten unter 4; die eher weit gestuften Proben (S1, S6, S10, S13, S15) haben D_{84}/D_{16}-Werte zwischen 15 und 25. Nach den Kriterien von Schöberl (1981) ist das mit den Proben gefundene Material grundsätzlich fähig, eine Deckschichte (natürliche Abpflasterung) auszubilden, vgl. Zottl & Erber (1987). In den Abb. 16 - 19 werden exemplarisch 13 Kornverteilungslinien dargestellt.

[67] Der D_{90}-Wert liegt generell im Grobkiesbereich oder knapp darüber, zumeist zwischen 50 und 65 mm; der D_{50}-Wert liegt meist bei etwa 20 mm oder knapp darüber, also im Übergang zwischen Mittel- und Grobkies, vgl. Zottl & Erber (1987). Abb. 13 zeigt (im logarithmischen Maßstab) die granulometrischen Parameter D_{16}, D_{50}, D_{84}, D_{90} und D_{max} der einzelnen Proben im Längenschnitt. In Fließrichtung nehmen die Korndurchmesser im Mittel ab, das Material wird (durch Abrieb und Sortierung) feiner, vgl. auch Kap. 3.3. Abb. 14 zeigt die Anteile der einzelnen Fraktionen über den Längenschnitt, gibt also Informationen über die Kornverteilung und ihre Veränderung in Fließrichtung. Der Anteil des feineren Materials ist über den Längenschnitt ziemlich konstant; erst bei den Fraktionen mit $d > 25$ mm ist in Fließrichtung

[38] Reduziert um das dort gefundene Blockwerk (Steine bis etwa 300 mm).

eine deutliche Abnahme festzustellen. Für Material mit d > 63 mm erkennt man eine Abnahme von etwa 20 Gew.-% bei Wien auf etwa 5 Gew.-% bei Hainburg.

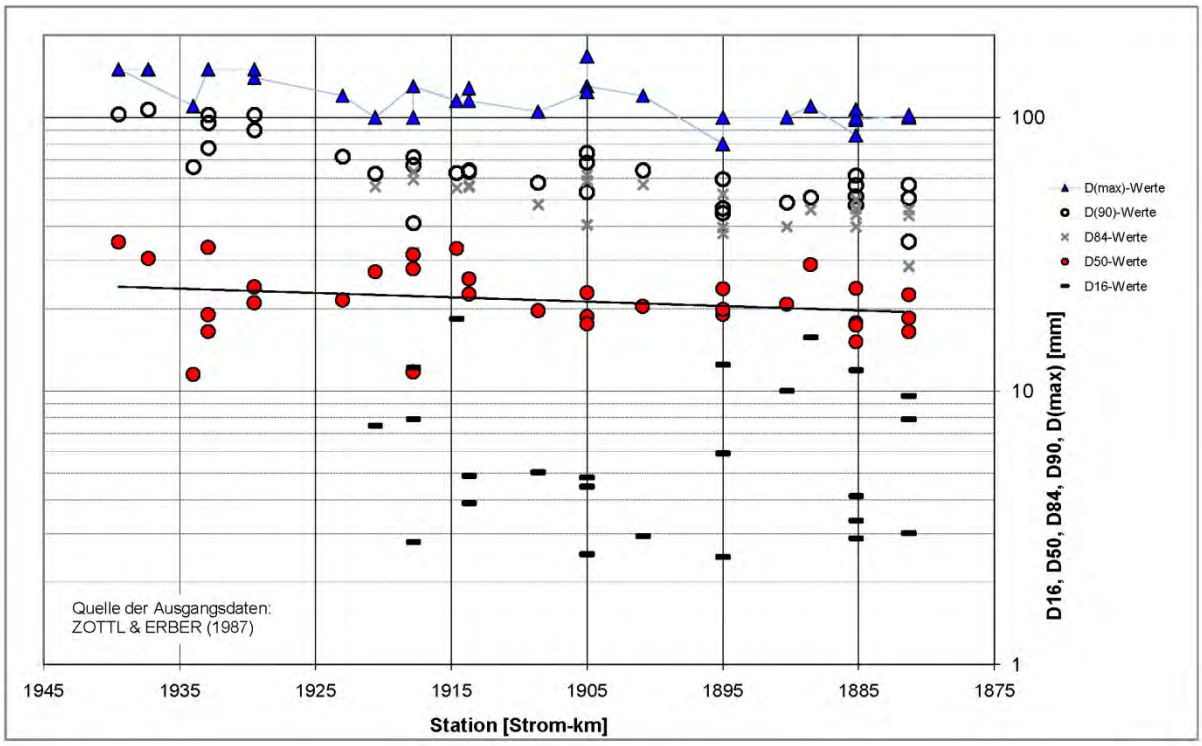


Abb. 13: Donau zwischen Wien-Nußdorf und Marchmündung, Granulometrische Kennwerte der Sohlproben; Rohdaten: Zottl & Erber (1987), Auswertung: Klasz (2002).

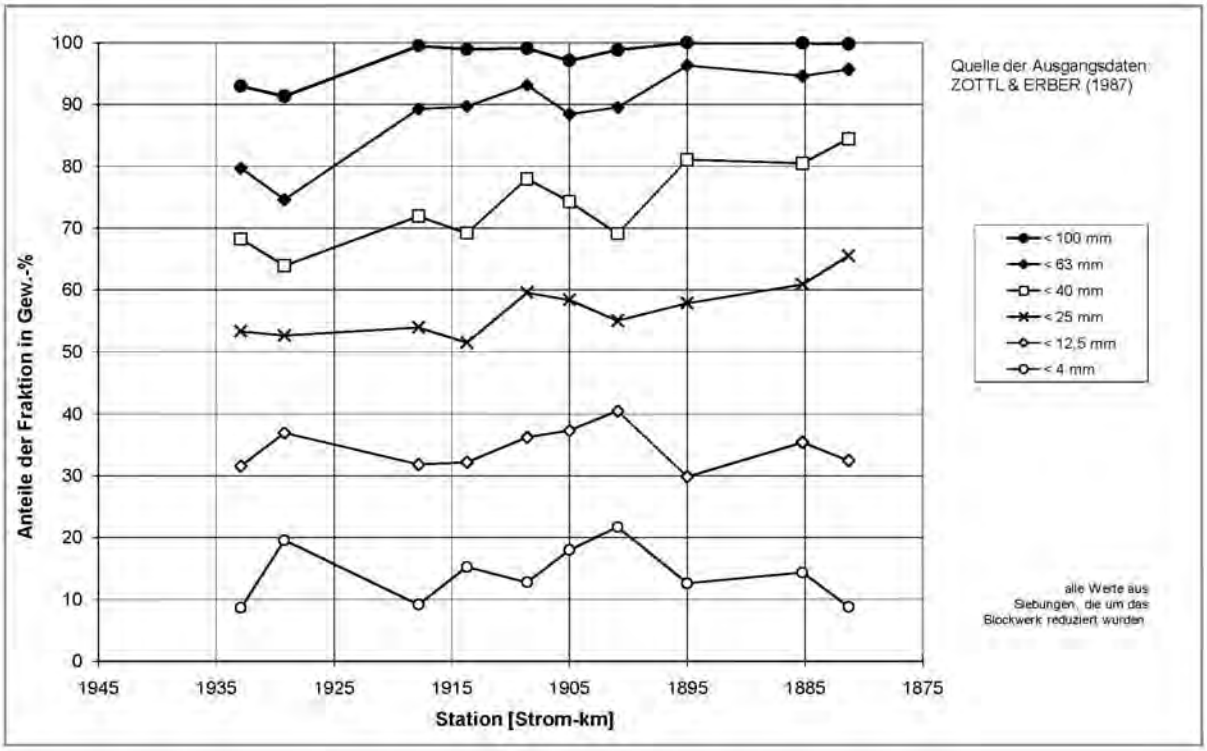


Abb. 14: Anteil der einzelnen Fraktionen im Längenschnitt (zwischen Wien-Nussdorf und Marchmündung); Rohdaten: Zottl & Erber (1987), Auswertung: Klasz (2002).

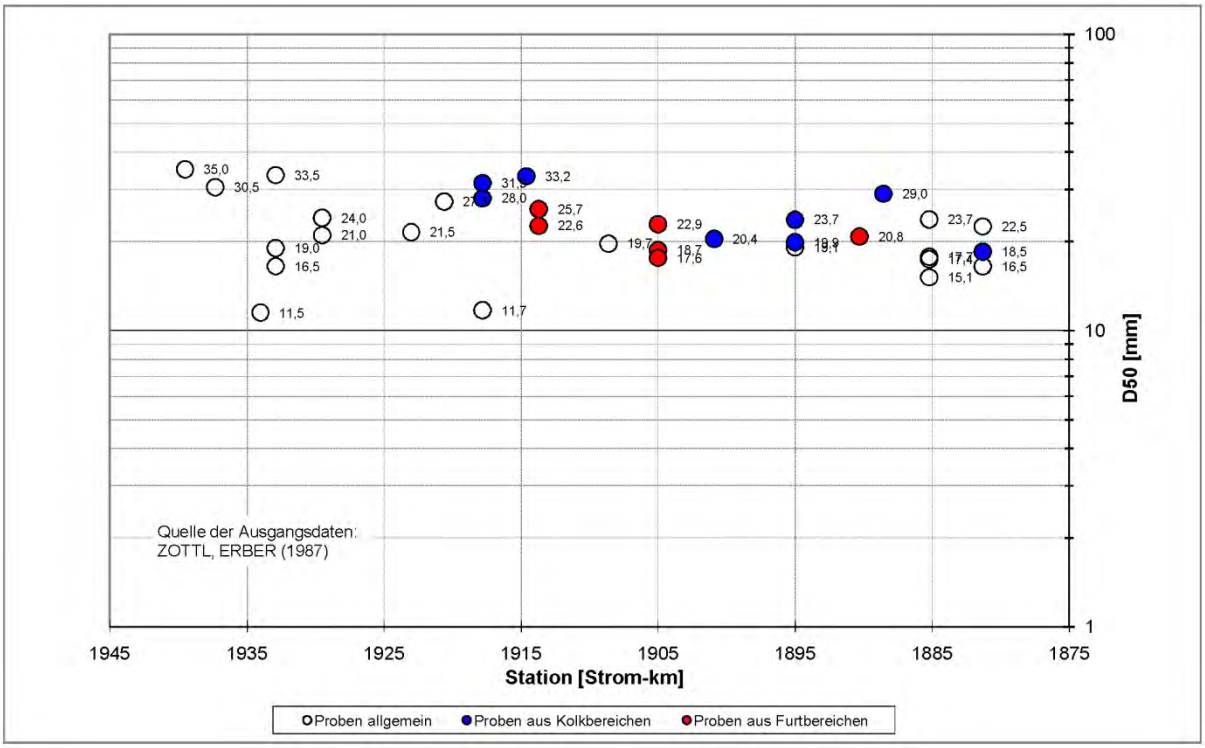


Abb. 15: Mittlere Korndurchmesser im Längenschnitt (zwischen Wien-Nussdorf und Marchmündung); Rohdaten: Zottl & Erber (1987), Auswertung: Klasz (2002).

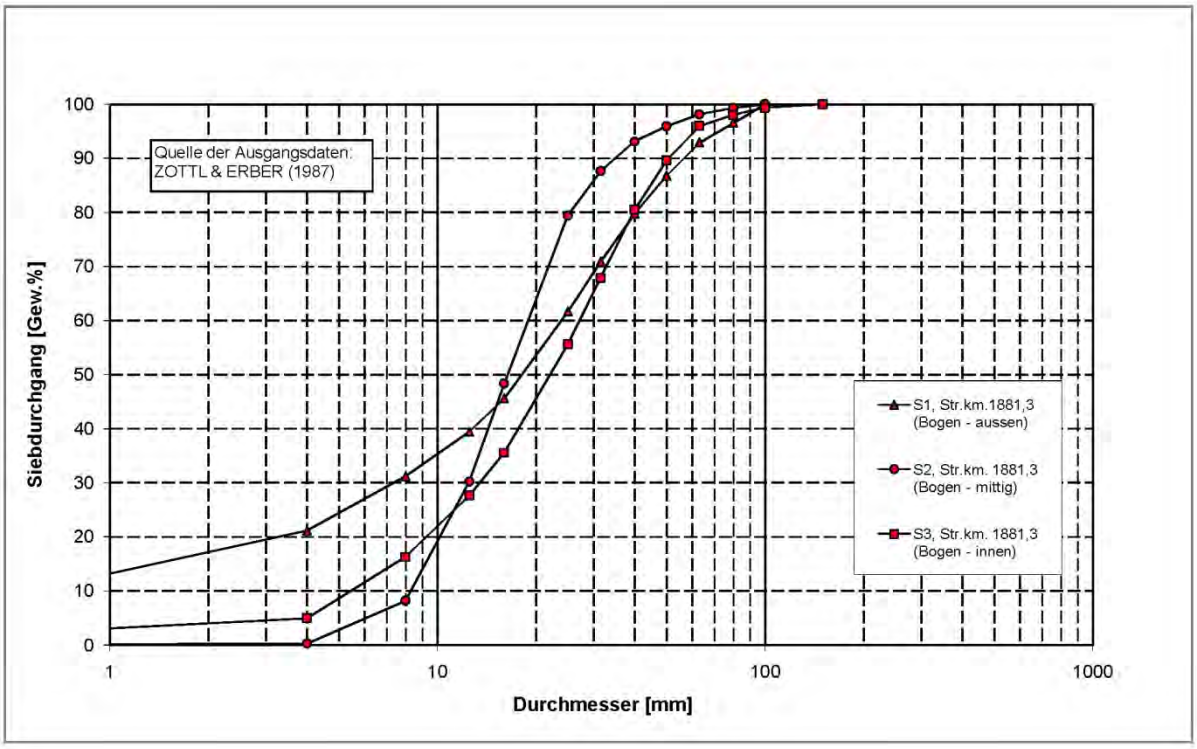


Abb. 16: Kornverteilungslinien im Querschnitt Strom-km. 1881,3; Rohdaten: Zottl & Erber (1987).

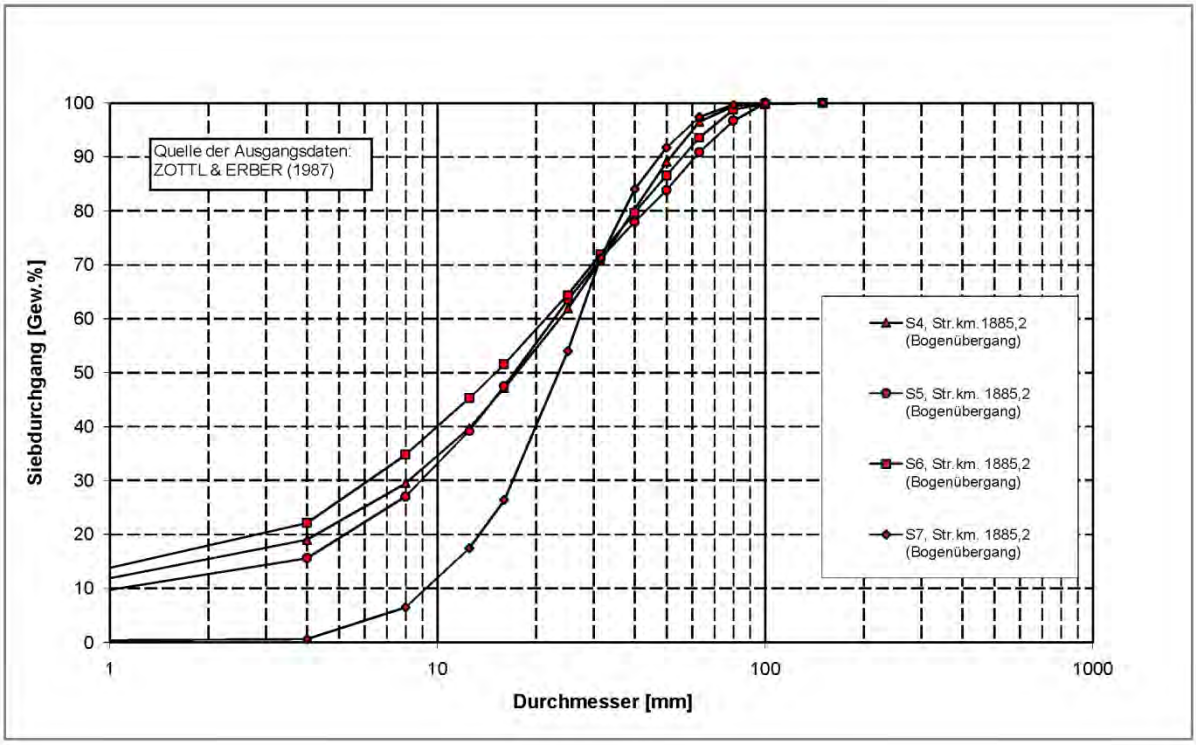


Abb. 17: Kornverteilungslinien im Querschnitt Strom-km. 1885,2; Rohdaten: Zottl & Erber (1987).

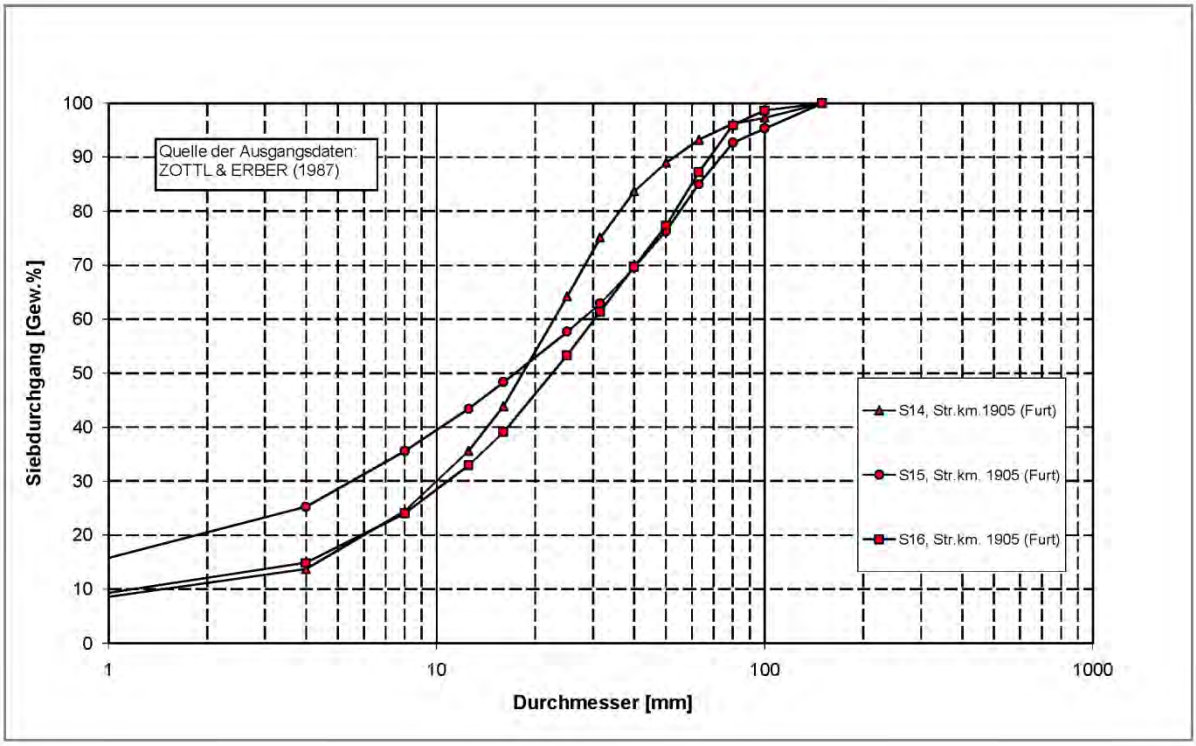


Abb. 18: Kornverteilungslinien im Querschnitt Strom-km. 1905,0; Rohdaten: Zottl & Erber (1987).

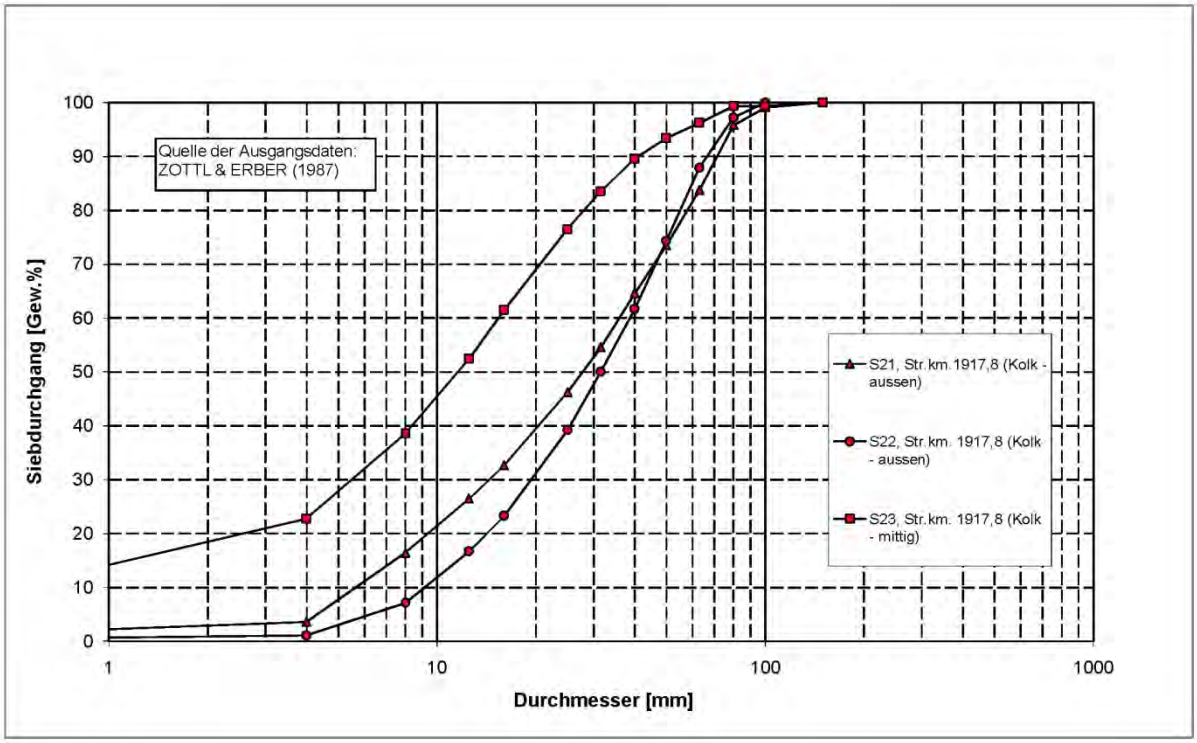


Abb. 19: Kornverteilungslinien im Querschnitt Strom-km. 1917,8; Rohdaten: Zottl & Erber (1987).

[68] Die Verkleinerung der Korndurchmesser im Längsverlauf wird durch eine deutliche Streuung überlagert, die - zumindest teilweise - durch morphologische Einflüsse (Kolke/Furten) erklärt werden kann, vgl. Abb. 15. Über die Verhältnisse in Kiesbänken ist auf Grundlage der vorliegenden Daten keine gesicherte Aussage möglich. Ein weiterer möglicher Grund für die Streuung ist die Entnahme aus Bereichen mit deutlich ausgeprägter Deckschichte, wobei jeweils auch, da das Entnahmegerät etwa 0,5 bis 0,7 m tief gegriffen hat, darunter liegendes Material entnommen worden sein müsste (Klasz, 2002)[39].

[69] Neben den Sohlproben aus der Studie Zottl & Erber (1987) stehen seit 2005/2006 auch die Proben aus dem Prämonitoring zum Naturversuch bei Bad Dt. Altenburg zur Verfügung (Durchführung: Universität für Bodenkultur; Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und Konstruktivem Wasserbau; Daten übernommen aus DonauConsult, 2009); dabei wurden 101 volumetrische Proben (Entnahme durch Greifbagger, vom Schiff aus; im Durchschnitt wurden jeweils rd. 147 kg Material im Labor der Fa. Readymix gesiebt) aus dem Strombett im Bereich zwischen Strom-km 1887,5 und 1884,4 (querab Bad Dt. Altenburg) entnommen und ausgewertet. Im Mittel (gemittelt über alle 101 Proben) stimmt die dabei gefundene Kornverteilung sehr gut mit den Ergebnissen aus Zottl & Erber (1987) überein, mit gleichen D_{50}-Werten, vgl. Abb. 20.

39 Unter Berücksichtigung einer mündlichen Mitteilung von Ing. Kübelbäck (Zottl & Erber bzw. DonauConsult), der diese Untersuchungen konzipiert und überwacht hatte.

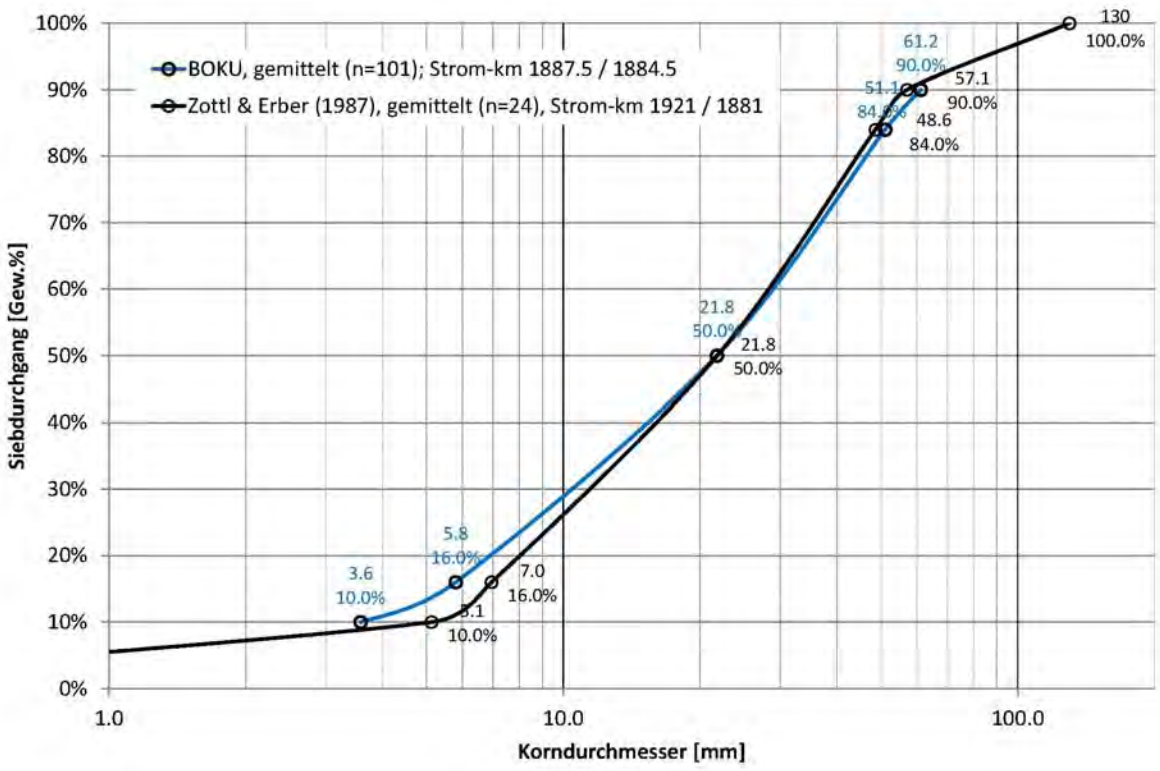


Abb. 20: Gemittelte Kornverteilungen aus den 24 Proben aus Zottl & Erber (1987) und aus den 101 Proben des Prämonitorings bei Bad Dt. Altenburg; Rohdaten: Universität für Bodenkultur; Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und Konstruktivem Wasserbau (Daten übernommen aus DonauConsult, 2009).

3.3 Abrieb und Sortierung

[70] Für längere Strecken ist auch der Prozess des Abriebes (die Verkleinerung der Körner in Fließrichtung, primär Kornzertrümmerung und Abschliff durch mechanische Beanspruchungen und Verwitterung) zu berücksichtigen. Dabei wird das Geschiebe verkleinert, abgerundet, abgerieben und damit teilweise in Schwebstoff umgewandelt. Neuere Arbeiten (Mikos 1996; Schmautz et al. 2000) zeigen, dass bei Kornmischungen fast immer auch Sortierprozesse eine gewisse Rolle spielen, also selektiver Erosionsbeginn bzw. selektiver Sedimenttransport. Die mechanisch bedingte Kornverkleinerung wird nicht nur durch Strömungsbeanspruchung, Korngrößen und Kornform sondern auch durch die petrografische Beschaffenheit und Zusammensetzung des Geschiebes (Gesteinsarten und deren Härte und Verwitterungsbeständigkeit) beeinflusst.

[71] Schröder & Römisch (2001) geben für den Abriebkoeffizient a [km^{-1}] (vgl. Gl. 2.a und 2.b) für verschiedene Gesteinsarten die folgenden und im Wasserbaulabor (mittels rotierender durchströmter Trommeln) gewonnenen Werte an:

Triaskalk:	≈ 0,003 … 0,005	[km^{-1}]
Marmor:	≈ 0,006 … 0,008	[km^{-1}]
Kalkstein / Flysch:	≈ 0,003 … 0,006	[km^{-1}]
Sandstein / Flysch:	≈ 0,004 … 0,009	[km^{-1}]
Dolomit (hell):	≈ 0,003 … 0,012	[km^{-1}]

Quarzit (rauhe Oberfläche):	≈ 0,002 … 0,004	[km^{-1}]
verkieselte Kalk- und Sandsteine:	≈ 0,002 … 0,005	[km^{-1}]

[72] Für die untersuchte Donaustrecke wird in der Studie von Zottl & Erber (1987) als Abriebkoeffizient (nach Sternberg, Gl. 2.a und 2.b) ein Wert von a = 0,0137 [km^{-1}] durch Anpassung der D_m-Werte durch eine Exponentialfunktion im Längenschnitt ermittelt. Da es sich dabei aber nicht nur um die Wirkung des Abriebes handelt, sondern wahrscheinlich auch um Sortierungseffekte, sollte man besser von „Verkleinerungskoeffizient“ sprechen; vgl. Schmautz et al. (2000). Bauer (1965) gibt für die bayerische Donau Werte für a von etwa 0,0084 km^{-1} (Bereich Lechmündung) bis 0,0125 km^{-1} (Bereich Isarmündung) an. Mikos (1996) beschreibt, dass für den Alpenrhein früher (in den dreißiger Jahren) a=0,046 km^{-1} gefunden wurde, dass aber auf Grundlage eines numerischen Modells (und der damit durchgeführten Kalibrierrechnungen) der viel kleinerer Wert a=0,010 km^{-1} plausibel scheint. Für den reinen Abrieb (also ohne Sortiereffekte) und den zu untersuchenden Donauabschnitt geben Schmautz et al. (2000) einen geschätzten Abriebbeiwert (unter Bezug auf Erfahrungen aus der Literatur) a von 0,002 bis 0,010 km^{-1} an.

[73] In Schmautz et al. (2000) wird unter Bezug auf die Summenwirkung aus Abrieb und Sortierung und den relativ starken Einfluss der Sortierung der Wert von a=0,0137 km^{-1} aus Zottl & Erber (1987) als zu hoch kritisiert. Für die im Rahmen dieser Studie zu behandelnde Fragestellung ist aber genau diese Summenwirkung aus Abrieb und Sortierung von Interesse, weil der Unterschied zwischen den Kornverteilungen „oben“ (also in den potentiellen Zugabebereichen) und „unten“ (in den potentiellen Baggerbereichen) bei einer Geschieberückführung aus der Unterliegerstrecke eben nicht nur durch den Abrieb bestimmt wird, sondern auch durch Sortierung, vgl. auch Abs. [76].

[74] Im Folgenden (Tab. 5) werden die Abriebverluste im Sinn einer Sensititivitätsanalyse (Variation des Abriebbeiwertes im plausiblen Bereich) aufgelistet, wobei das Sternberg’sche Gesetz für die Abnahme des Gewichtes (bzw. Volumens) der Körner in Fließrichtung

$$V_{(s)} = V_0 \cdot e^{-a \cdot s} \qquad \text{Gl. (2.a)}$$

bzw. für die Abnahme des mittleren Korndurchmessers des Geschiebes in Fließrichtung

$$d_{(s)} = d_0 \cdot e^{-\frac{a}{3} \cdot s} \qquad \text{Gl. (2.b)}$$

angesetzt wird (vgl. u.a. Mayrhofer, 1964); mit dem Verkleinerungsbeiwert a [km^{-1}], der Transportweite s [km], dem Kornvolumen V_0 bzw. Korndurchmesser d_0 am Beginn der Strecke (s=0).

Tabelle 5: Abriebverluste (inkl. Sortiereffekte) für verschiedene Transportweiten und Verkleinerungsbeiwerte; Quelle: Klasz (2011)

Abriebbeiwert a [km^{-1}]	Volumenverluste für verschiedene Transportweiten				Durchmesserverluste für verschiedene Transportweiten			
	25 km	**30 km**	**35 km**	**40 km**	**25 km**	**30 km**	**35 km**	**40 km**
0,005	11,8%	13,9%	16,1%	18,1%	4,1%	4,9%	5,7%	6,4%
0,0075	15,3%	20,1%	23,1%	25,9%	6,1%	7,2%	8,4%	9,5%
0,010	22,1%	25,9%	29,5%	33,0%	8,0%	9,5%	11,0%	12,5%

[75] In der Gesamtschau wird derzeit für eine Transportweite von 40 km ein Abriebverlust (inkl. Sortiereffekte) von etwa 20 bis 25 Gew.-% eingeschätzt; damit und mit dem abgeschätzten Wert für das langfristig mittlere Geschiebetransportvermögen von etwa 350‘000 m^3/Jahr ergibt sich ein Verlust in der Größenordnung von etwa 70‘000 … 90‘000 m^3/Jahr.

[76] Abrieb, Sortierung und die damit verbundenen Verluste sind vor allem im Zusammenhang mit der Geschieberückführung aus der Unterliegerstrecke (Stauwurzel Stauraum Gabčikovo) von Interesse; wird dieses Material für eine Geschiebezugabe verwendet, dann wird zur Kompensation der Kornverkleinerung die Zugabe einer gröberen Kornfraktion zweckmäßig sein, derart, dass das dadurch entstehende Korngemisch annähernd der an der Zugabestelle (also weiter bergwärts befindlichen) Kornverteilung entspricht; zur Abschätzung der dafür erforderlichen gröberen Zugabefraktion (Mengen und Kornverteilung) wurden im Rahmen dieser Studie gemittelte bzw. idealisierte Kornverteilungslinien für Strom-km 1920, 1910, 1900 (potentielle Zugabebereiche) und Strom-km 1880 und 1870 (potentielle Gewinnungsbereiche) ermittelt, vgl. Tab. 6 und Abb. 21. Basis für diese Berechnung ist eine gemittelte Kornverteilungslinie für Strom-km 1890, für die dann die charakteristischen Korndurchmesser D_{10}, D_{16}, D_{50}, D_{84}, D_{90} und D_{max} mit den in Tab. 6 angegebenen Verkleinerungsbeiwerten und dem Sternbergschen Abriebgesetz (Gl. 2.b) transformiert werden.

Tabelle 6: gemittelte bzw. idealisierte Kornverteilungslinien für verschiedene Strom-km, ausgehend von der gemittelten Linie „mKV“ für Strom-km 1890 und den angegebenen Verkleinerungsbeiwerten a

	mKV (1890)	a [km^{-1}]	Strom-km					
			1920	**1910**	**1900**	**1890**	**1880**	**1870**
D_{max} [mm] =	**120.0**	0.013	136.7	130.9	125.3	120.0	114.9	110.0
D_{90} [mm] =	**60.0**	0.013	68.3	65.4	62.7	60.0	57.5	55.0
D_{84} [mm] =	**50.0**	0.013	56.9	54.5	52.2	50.0	47.9	45.8
D_{50} [mm] =	**22.0**	0.013	25.1	24.0	23.0	22.0	21.1	20.2
D_{16} [mm] =	**6.4**	0.00195	6.5	6.5	6.4	6.4	6.4	6.3
D_{10} [mm] =	**4.3**	0	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3
D_{min} [mm] =	**0.6**	0	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6

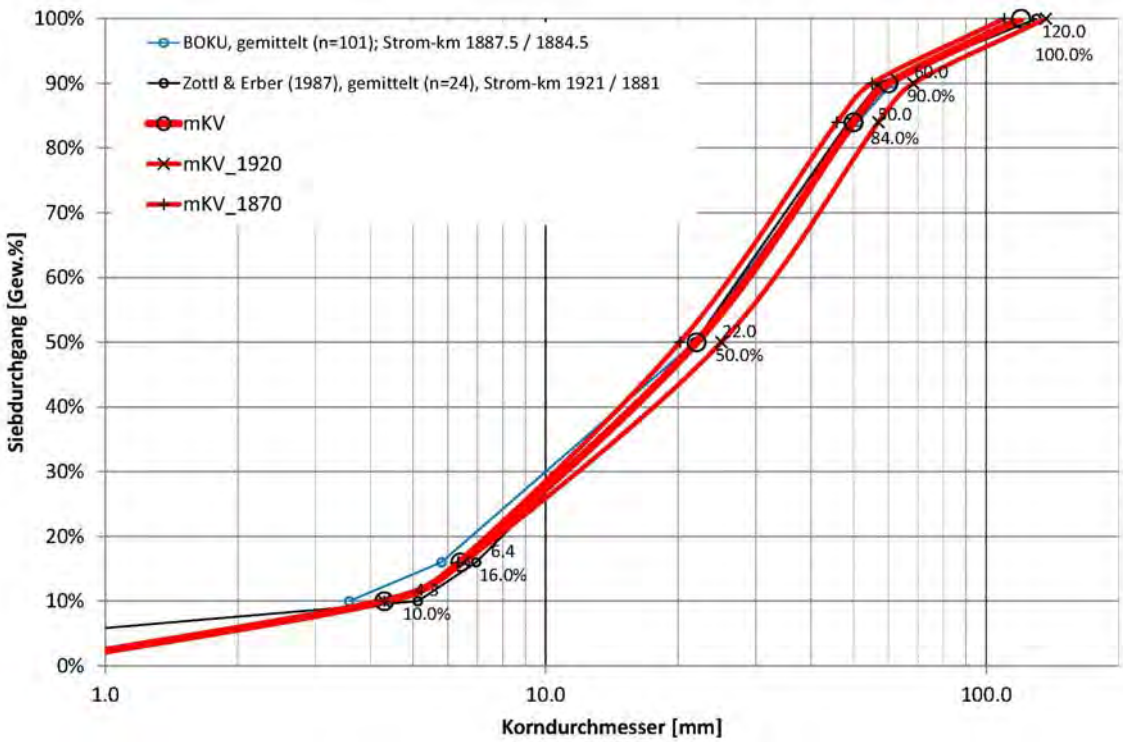


Abb. 21: Idealisierte Kornverteilungslinien mKV (für Strom-km 1890)

3.4 Geschiebebilanz für die Donau östlich von Wien

[77] Mit den zuvor angegebenen Zusammenhängen kann die folgende Geschiebebilanz für den aktuellen Zustand (mit den beiden Staustufen Wien-Freudenau und Gabčikovo und der laufenden VHP-Geschiebezugabe) angegeben werden, sh. Abb. 22; sie ist im Sinn langjährig gemittelter Werte zu verstehen:

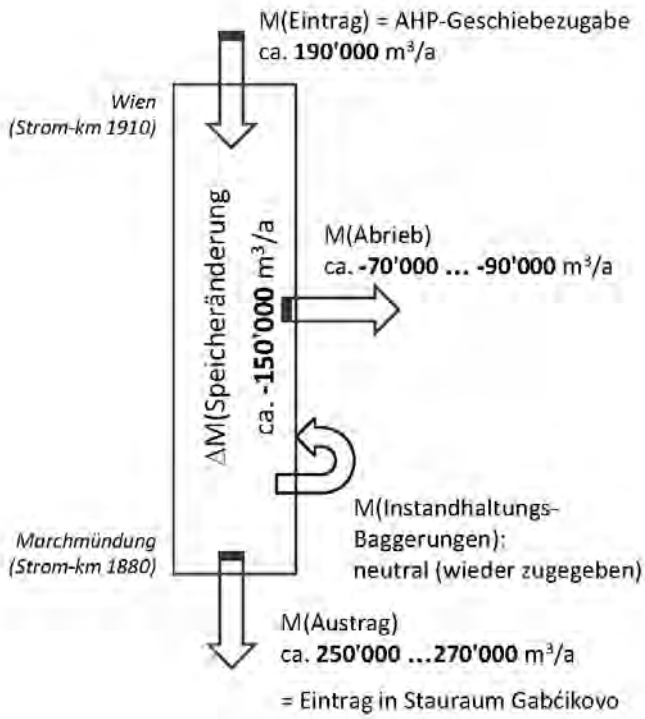


Abb. 22: Geschiebebilanz für die Donau östlich von Wien; langfristig gemittelte Werte

3.5 Zur Gefahr eines Sohldurchschlages

[78] Der Begriff des „Sohldurchschlages“ bezeichnet eine sehr rasche, sprunghafte und über eine längere Strecken ablaufende Sohlerosion, wenn die obere, aus grobkörnigem Material (Kies und/oder Steine) bestehende Sohlschichte aufreißt und eine darunter liegende feinkörnigere und daher erosionsanfälligere Schichte (z.B. Sande; Schluffe; Seetone) freigelegt wird. Damit verbundene Sohleintiefungen können mehrerer Meter betragen. Das Gerinne wird enger und tiefer (Bildung einer Erosionsrinne; Reduktion des Breiten-/Tiefen-Verhältnisses) und verliert stark an morphologischer Diversität; Wasserspiegel und damit verbundene GW-Spiegel sinken stark ab, vgl. auch DWA (2012). Ein Beispiel dafür ist die Salzach unterhalb der Saalachmündung (Abschnitt Freilassing/Laufen), wo es im Zuge des Hochwassers vom August 2002 auf einer Länge von mehreren Kilometern zu einer Sohlerosion im Ausmaß von mehreren Metern kam; die erosionsempfindlichen Schichten im Liegenden der Kiese werden dort durch Seetone gebildet.

[79] Die geologischen Verhältnisse im Bearbeitungsbereich lassen ebenfalls die Gefahr eines solchen Sohldurchschlages erkennen, weil sich im Liegenden der quartären Donauschotter tertiäre Feinklastika (Schluffe, Sande, toniges Material, tw. auch Kalkmergel, Kalksandsteine) befinden, die teilweise als besonders erosionsgefährdet eingestuft werden müssen (vor allem die Sande) und die derzeitige Kiesmächtigkeit (unter der Stromsohle) über weite Strecken nur sehr gering (etwa 1 bis 5 m) ausfällt. Einzelne lokale Kolke reichen offensichtlich auch schon in die tertiären Schichten. Ganz allgemein haben Sande und (Grob)Schluffe noch keine nennenswerte Kohäsion während sie andererseits mit ihrem geringen Korngewichten nur sehr schwache gravitative Widerstände gegen Strömungsangriff leisten können (DonauConsult, 2003).

[80] Die tertiären Feinklastika im Liegenden der quartären Donaukiese verhalten sich gegen fluviatile Erosion mutmaßlich lokal stark unterschiedlich: locker gelagerte Sande z.B. extrem erosionsgefährdet; stärker verfestigte Tone oder Kalkmergel sehr resistent.

[81] Dieses Risiko eines Sohldurchschlages war bereits der Ökologiekommission im Jahr 1985 bewusst: *„Das Problem eines etwaigen Sohledurchschlages und der Sicherung lokaler Kolke sind kurzfristig zu prüfen.“* (Ökologiekommission, Arbeitspapier Nr.11; 1985). Auch im Zusammenhang mit der wasserrechtlichen Genehmigung zum KW Wien-Freudenau hat diese Frage eine größere Rolle gespielt, im Zuge der UW-Sicherung in der Erhaltungsstrecke mussten mehrere Kolke unter Hinweis auf die Gefahr eines Sohldurchschlages speziell gesichert werden, vgl. auch Kap. 4.2.

[82] Sobald ein Sohldurchschlag erst einmal über längere Strecken einsetzt, kann nicht mehr garantiert werden, dass diese Situation mit flussbaulichen Mitteln unter Kontrolle gebracht werden könnte. Das gilt speziell dann, wenn das während eines stärkeren Hochwassers abläuft. Eine solche Situation wäre nicht mehr kontrollierbar.

[83] Im Zuge der UVE-Erstellung zum FGP wurde ein Modell der Kies-UK (im Sinn eines digitalen Geländemodells) erstellt; Basis waren mehr als 1600 Bohrungen (bzw. Bohrprofile), davon 728 mit gesicherter Kies-UK; dazwischen wird (unter Berücksichtigung tektonischer Störungen) interpoliert; die Datenlage ist zumindest im Bereich der heutigen Donau relativ dicht, und zwar hauptsächlich durch die Bohrungen der Österreichische Donaukrafte AG in den

1980er-Jahren (DonauConsult, 2007). Auf dieser Grundlage, also unter Berücksichtigung der Kiesmächtigkeiten (Verschnitt aus Kies-UK und der aktuellen Höhenlage Sohle im Talweg) und der geologischen Bewertung der Erosionsempfindlichkeit der im Liegenden des Kieses gelegenen tertiären Feinklastika wurden schließlich im Auftrag der via donau die folgenden primäre Problembereiche identifiziert (DonauConsult, 2011): Notfallkonzept Sohldurchschlag):

- ca. Strom-km 1910 … 1909 (querab Fischamend, Kolk),
- ca. Strom-km 1908,2 … 1907,4 (knapp stromab Fischamend, Kolk),
- ca. Strom-km 1906,9 … 1905,9 (knapp stromab Fischamend, Kolk),
- ca. Strom-km 1895,8 … 1894,2 (Krümmungskolk bei Wildungsmauer),
- ca. Strom-km 1889,8 … 1888,8 (Kolk bei der Schwalbeninsel),
- ca. Strom-km 1884,3 … 1882,8 (Krümmungskolk bei Hainburg);

[84] Diese fachliche Einschätzung entspricht dem derzeitigen Kenntnisstand und der derzeitigen Sohlmorphologie. Die Situation sollte laufend auch unter Bedacht auf das Risiko eines möglichen Sohldurchschlag beobachtet werden; dabei könnten später auch andere Kolke bzw. Erosionszonen als gefährdet eingestuft werden. Generell ist für die Abschätzung dieses Risikos kein Rechenverfahren und keine Methodik verfügbar, das Risiko eines Sohldurchschlages mithin auch nicht nachvollziehbar quantifizierbar. Klar ist aber, dass mit jedem Jahr, in dem sich die Sohlerosion weiter fortsetzen kann, die Kiesmächtigkeit unter der Sohle weiter abnimmt und damit das Risiko des Sohldurchschlages zunimmt.

[85] Im Sinn einer Sofortmaßnahme wurde festgelegt, dass die via donau Baggergut aus Instandhaltungsbaggerungen primär in jenen gefährdeten Kolken verklappt, um die dortige Kiesmächtigkeit möglichst stabil zu halten; es ist aber klar, dass es sich dabei nicht um eine nachhaltige Lösung handeln kann, der Kies wird ja aus den Kolken wieder ausgetragen.

[86] Eine dauerhafte Lösung nach dem ‚Stand der Technik' wäre die Herstellung eines Steindeckwerkes über allen gefährdeten Zonen, in Übereinstimmung mit den Maßnahmen der VHP in der Erhaltungsstrecke, vgl. Abs. [131] und [132]. Dabei würden Wasserbausteine mit etwa 10 bis 20 cm Steindurchmesser und in einer Stärke von 50 bis 60 cm über einer Kies-Filterschichte (mit ca. 50 bis 100 cm Stärke) eingebaut werden. Andere Konzepte, speziell Kiesschüttungen mit Grobkornabdeckung oder Grobkornanreicherung wären ggf. Gegenstand eines neuen Naturversuchs.

3.6 Hydromorphologische Reaktionszeiten und Prozessgeschwindigkeiten

[87] Flussmorphologische Prozesse laufen im Allgemeinen über längere Zeiträume ab, je nach Art des Prozesses und den dabei erforderlichen Energien und Massen sind das meist Monate, Jahre, Jahrzehnte, …, vgl. auch Kern (1994). Für Monitoring und die Planung ist die Kenntnis dieser Reaktionszeiten und Prozessgeschwindigkeiten wesentlich.

[88] Die im Rahmen des Naturversuches bei Bad Dt. Altenburg durchgeführten Stromgrundaufnahmen und der Vergleich von rasch aufeinander vorgenommenen Aufnahmen zeigen, dass der Geschiebetransport an der Donausohle in Form dünenartiger Strukturen (subaquatic gravel dunes) abläuft, vgl. Abb. 23 und Abb. 24. Diese Kiesdünen sind meist 20 bis 30 cm

hoch, haben Wellenlängen in der Größenordnung von rd. 10 m und wandern (als Form) in der Größenordnung von rund 5 … 10 m/h stromab; speziell diese Wandergeschwindigkeit ist auch von praktischer Bedeutung. Die hier angegebenen Eigenschaften beziehen sich auf Abflüsse zwischen rund 1500 und 3500 m^3/s; darunter scheint es diese Dünen nicht oder kaum zu geben; mit stärkeren Abflüssen werden sie hingegen höher und länger.

Die Dünen decken den geschiebetransportwirksamen Teil des Querschnittes ab, ufernah hingegen findet man sie (zumindest bei mittleren Abflüssen) nicht, Geschiebetransport findet dort schwach und mit ebenem Bett (d.h. ohne Transportkörper) ab.

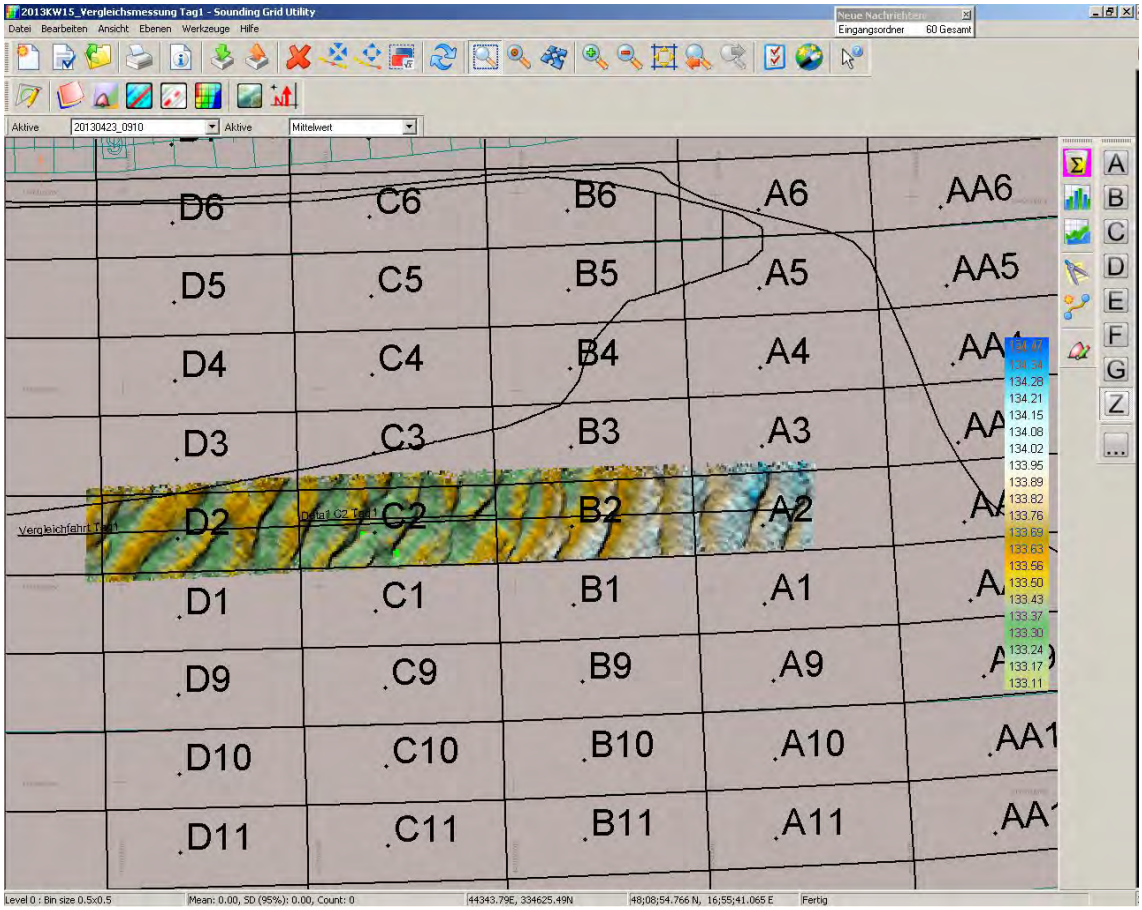


*Abb. 23: Stromsohlaufnahme in einem Detailbereich (etwa bei Strom-km 1885) vom 23.04.2013; erkennbar ist die dünenartige Struktur; ein Raster-Viereck hat die Größe von 20*50 m; Quelle (Vermessung und Auswertung): Nicola Engineering.*

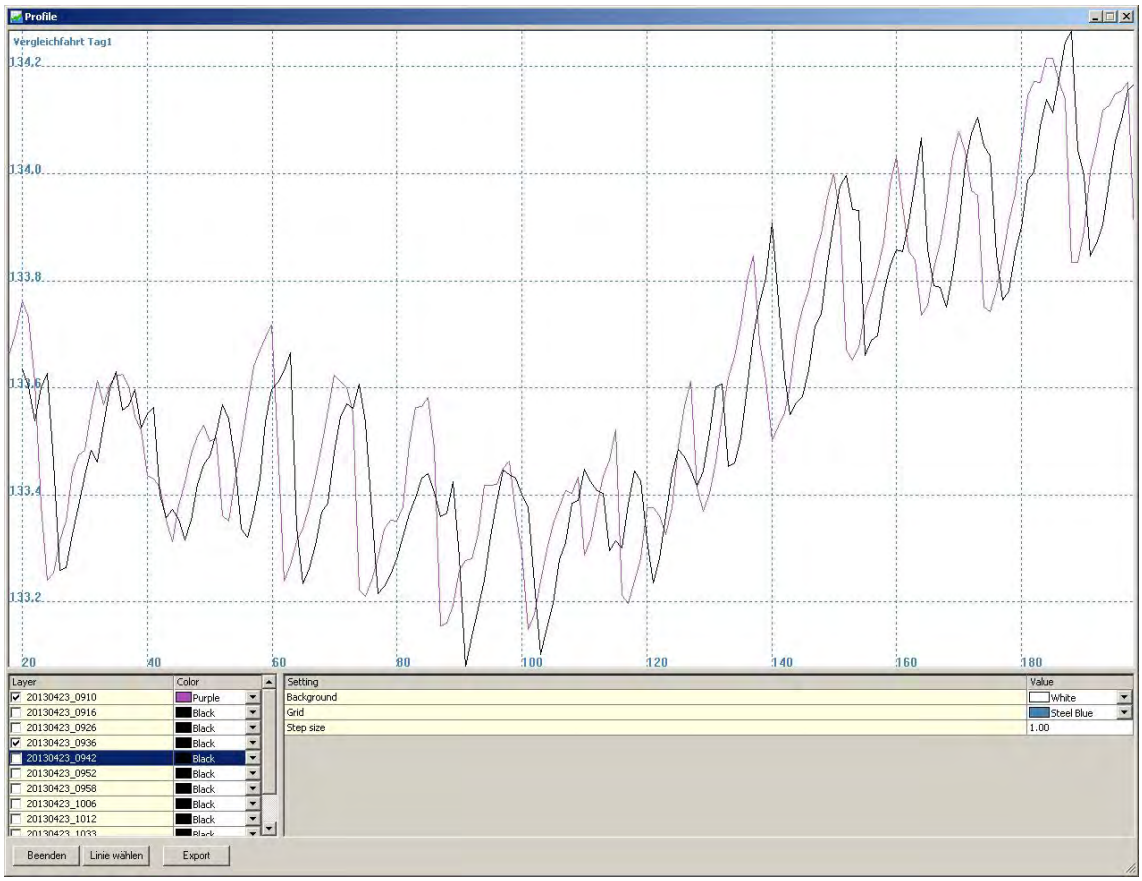


Abb. 24: Längenschnitt durch den in Abb. 23 dargestellten Aufnahmebereich; die beiden Linien zeigen den Sohlverlauf vom 23.04.2013, einerseits (hellere Linie) um 09:10, andererseits um 09:36; die Sohlformen wanderten in diesem Zeitschritt um rund 2,6 m (das entspricht einer Geschwindigkeit von etwa 6 m/h); der Abfluss lag an diesem Tag bei rund 2750 m3/s; ein Rasterelement beträgt in der Länge 20 m und in der Höhe 20 cm; Quelle (Vermessung und Auswertung): Nicola Engineering.

[89] Für die Geschiebebewirtschaftung ist die Kenntnis der Geschwindigkeit der einzelnen Körner hilfreich. Am Oberrhein wurde dazu ein umfangreicher Versuch mit petrographischen Tracern durchgeführt (Gölz, 2002), vgl. Abs. [135] bis [137]. Da die dortigen mittleren Korndurchmesser und Strömungsbeanspruchungen (Shields-Zahlen) ähnlich zu jenen der Donau östlich von Wien sind, können diese Ergebnisse zumindest qualitativ auf die Donau übertragen werden; das betrifft im Besonderen die Abnahme der Wandergeschwindigkeiten für gröbere Kornfraktionen, sh. auch Tab. 12.

[90] Unmittelbare Anwendbarkeit haben hingegen die Tracerversuche, die im Rahmen des Prämonitorings für den Naturversuch bei Bad Dt Altenburg (Strom-km 1887,5 … 1884,5) durchgeführt wurden (Universität für Bodenkultur; Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und Konstruktivem Wasserbau), vgl. Liedermann et al. (2012a, 2012b). Dabei wurden 40 künstliche Tracersteine (mit gleicher Gesamtkorndichte wie natürliches Geschiebe) in drei verschiedenen Größen, vgl. Tab. 7, mittels Radiotelemetrie verfolgt und bezüglich ihres durchschnittlichen Transportverhaltens ausgewertet. Die über alle Steine gemittelte Transportgeschwindigkeit lag knapp über 9 m/d (rd. 3,4 km/a), Liedermann et al. (2012a, 2012b), was sehr ähnlich zu den für den Oberrhein gefundenen Werten ist.

Tabelle 7; Angaben zu den Stein-Tracerversuchen, Prämonitoring zum Naturversuch bei Bad Dt. Altenburg; Quelle: Liedermann et al. (2012a, 2012b)

	„klein“	„mittel“	„groß“	Mittel über alle
Korngröße D_m =	27,5 mm	40 mm	70 mm	
Anzahl n=	20 Stk.	10. Stk.	10 Stk.	40 Stk.
mittlere Transport-geschwindigkeit	**10,9 m/d**	**9,7 m/d**	**6,7 m/d**	**9,3 m/d**

Weiters zeigt sich eine Abnahme der Transportgeschwindigkeit mit der Korngröße und damit selektiver Transport.

[91] Durch den Abtrag von Ufersicherungen („Uferrückbau“) werden Seitenerosionen initiiert; bei der vom Verfasser (noch als Mitarbeiter von DonauConsult) geplanten Uferrückbaustrecke querab von Hainburg (Thurnhaufen, Strom-km 1885,5 bis 1883) konnte man diese Prozesse und ihre Geschwindigkeit beobachten; Habersack & Klösch (2012) geben eine Verbreiterung (gemessen an der Verschiebung der oberen Böschungskante) zwischen Winter 2005/2006 (Bau) und 2010 von rund 20 m an (auf Grundlage von Daten von via donau, DonauConsult und dem Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiven Wasserbau der Universität für Bodenkultur); das entspricht einer Seitenerosionsrate von etwa 4 m/a; etwa 75% dieser Verbreiterung liefen innerhalb der ersten drei Jahre (Habersack & Klösch, 2012). Nach eigenen Beobachtungen sind diese Prozesse zumindest in Teilen dieser Strecke aber noch immer nicht abgeschlossen.

4 Gedanklicher Ausgangspunkt: Die Normalgeschiebezugabe

[92] Bei dieser Methode zur Sohlstabilisierung wird das Defizit zwischen dem Geschiebetransportvermögen und der natürlich gegebenen Geschiebezulieferung mit wasserbaulichen Mitteln, also durch Geschiebezugabe gedeckt, derart, dass sich stromab der Zugabestelle ein dynamischer Gleichgewichtszustand einstellen kann. Das Material wird flächig über eine längere Strecke (Aufnahmestrecke) eingebracht, speziell in den Zonen mit starker Sohlerosion; man füllt damit den Geschiebezwischenspeicher auf und lässt dann vorübergehend die Eintiefung zu (Klasz, 2002).

[93] Die Bedeutung der Sohle als Geschiebespeicher wurde besonders klar bei Jäggi (1992) diskutiert. Die Vorstellung, mit einer Geschiebezugabe müsste oder wollte man laufend und kontinuierlich das Geschiebetransportvermögen decken, ist nicht zutreffend. Es geht vielmehr um eine Bewirtschaftung des Geschiebespeichers (Geschiebedepots), den das Flussbett bildet; man kann Sohlerosionen vorübergehend zulassen und diese Erosionszonen in bestimmten Zeitabständen wieder auffüllen, vgl. auch Felkel (1980). Eine möglichst kontinuierliche Zugabe ist allerdings dann anzustreben, wenn die Schwankungen der Sohlhöhen minimiert werden sollen.

[94] Durch eine gezielt überschießende Geschiebezugabe kann man grundsätzlich auch eine bereits eingetretene Sohleintiefung wieder rückgängig machen („Einstellen einer schwachen Auflandungstendenz“).

[95] Die mathematische Formulierung für den Geschiebehaushalt lautet:

$$MG_{Austrag}^{ij} = MG_{Eintrag}^{ij} - \Delta MG_{Abrieb}^{ij} \pm \Delta M_{Speicher}^{ij} \qquad \text{(Gl. 3)}$$

vgl. Jäggi (1992). Der Geschiebeaustrag (in die Unterliegerstrecke) entspricht dem Geschiebeeintrag (aus der Oberliegerstrecke) abzüglich des Verlustes durch Abrieb und der Änderung des Geschiebespeichers, der im Wesentlichen durch das Sohlmaterial gebildet wird; der obere Index „ij“ soll den Bezugszeitraum (t_i bis t_j) bezeichnen. Dynamische Sohlstabilität bedeutet, dass für die Strecke und den Bezugszeitraum $\Delta M_{Speicher}^{ij} = 0$

[96] Der Abriebverlust kann für kürzere Strecken (einige Kilometer) vernachlässigt werden, nicht jedoch für längere Strecken (vgl. Kap. 3.3 und speziell Tab. 5).

[97] Für den Spezialfall konstanter Breite und vernachlässigbarer Abriebverluste kann man die Kontinuitätsgleichung für das Geschiebe (Exner-Gleichung) in differentieller Betrachtung folgendermaßen umformen:

$$\frac{\partial z}{\partial t} = \frac{dq_B}{dx \cdot (1-n)} \qquad \text{(Gl. 4)}$$

die zeitliche Änderung der Sohlhöhe z (mit der Zeit t) entspricht der Änderungsrate der Geschiebetransportrate q_B (in Längsrichtung x), wobei n der Porenanteil ist (Jäggi, 1992).

[98] Wenn Geschiebespeicher (primär die Sohle) im Vergleich zu einer Transportdifferenz (zwischen Ein- und Austrag) über eine gewisse Zeit sehr groß sind, dann ist das System durch das Ungleichgewicht zwar nicht mehr im dynamischen Gleichgewicht, die damit verbundenen Höhenänderungen fallen aber sehr langsam und kaum merkbar aus („scheinbares Gleichgewicht“, Jäggi, 1992).

4.1 Geschiebezugabe / Geschiebebewirtschaftung am Oberrhein, stromab von Iffezheim

[99] Generelle Beschreibung[40]: Ähnlich wie an der österreichischen Donau wurden am Oberrhein, in der deutsch-französischen Grenzstrecke, Staustufen gebaut, mit denen der Geschiebetransport unterbrochen und der Geschiebehaushalt somit insgesamt stark verändert wurde. Am jeweils unteren Ende dieser Staustufenkette waren daher starke Sohlerosion zu beobachten. Um Folgeschäden zu vermeiden, musste man die Staukette in Strömungsrichtung fortschreitend verlängern, wodurch das Problem aber nur stromab verlagert wurde. Letztlich, im Unterwasser der Staustufe Iffezheim (bei Rhein-km 334), wurde eine flussbauliche Unterwassersicherung in Form einer Normalgeschiebezugabe ausgeführt, vgl. u.a. Felkel (1980, 1987) bzw. Kuhl (1993). Der mittlere Korndurchmesser d_m des Zugabematerials liegt dort, ganz ähnlich wie in der Donau (zwischen Wien und Marchmündung), im Bereich bei 20 mm bzw. knapp darüber. Dieser Kies wird im Vorland des Oberrheins entnommen und mittels Klappschuten im Unterwasser der letzten Staustufe (Iffezheim) flächenhaft einge-

[40] Diese Darstellung greift auf eine Zusammenfassung in Klasz (2002) zurück; verwendete Grundlagen waren im Besonderen: Felkel (1980, 1987), Kuhl (1993); Nestmann (1993, 1996).

bracht, und zwar mit geringer Schüttstärke (etwa 1 bis 2 dm), auf einer etwa ein bis zwei Kilometer lange, stets beibehaltenen Strecke. Von dort wird es dann allmählich durch die Strömung abtransportiert. Die Zugabemenge lag im Jahresmittel (1978/1985) nach Angaben von Felkel (1987) bei etwa 167.000 m^3/a. Mit der Methode der „flächenhaften Verklappung“ des Zugabematerials in geringer Schüttstärke ist es nach Felkel (1987) tatsächlich gelungen, die Wasserstände am unteren Schleusendrempel auf dem Niveau vom Jänner 1978 zu halten (bzw. nach zwischenzeitlicher Erosion wieder anzuheben) und den Geschiebetransport unterhalb dieser Zugabestrecke weitgehend unverändert aufrechtzuerhalten, während gleichzeitig der Schiffsverkehr nicht beeinträchtigt wird. Durch Stromgrundaufnahmen und Wasserspiegelaufnahmen wird die Maßnahme überwacht, gesteuert und dokumentiert, vgl. Kuhl (1993).

[100] Der Oberrhein hat bei Iffezheim deutlich geringere Abflüsse als die Donau bei Wien: Der MQ (Reihe 1931/75) liegt beim Pegel Maxau (Rhein-km 362,327; Einzugsgebietsgröße: 50‘343 km^2) bei 1240 m^3/s, der MHQ bei 2880 m^3/s, der HHQ bei 4550 m^3/s (Felkel, 1980).

[101] Felkel (1972) berichtet über umfangreiche Untersuchungen zur Kornverteilung (Siebanalysen) der Rheinsohle zwischen Straßburg und Bingen (etwa Rhein-km 300 bis 520); demgemäß liegt der mittlere Korndurchmesser d_{mD} der Deckschichte (bei Iffezheim, Rh-km 334) bei etwa 33 mm, der d_{mU} des Untermaterials bei 23 mm; die zugehörigen d_{90}-Werte für die Deckschichte (d_{90D}) und für das Untermaterial (d_{90U}) sind 56 mm und 45 mm. Nestmann (1993) gibt für die Sohle einen mittleren Korndurchmesser (d_{50}) von 22 mm an.

[102] Das Gefälle liegt (ganz ähnlich wie an der Donau östlich von Wien) zwischen 0,4 und 0,5 m/km (Felkel, 1972; Nestmann, 1993).

[103] Nestmann (1993) gibt (für Rhein-km 390) einen bettbildenden Abfluss[41] von etwa 2000 m^3/s und einen bordvollen Abfluss (für Rhein-km 337 bis 349) von etwa 2350 m^3/s (Abfluss vom 01.03.1978) an. Felkel (1980) nennt für den Beginn der Ausuferung (bordvoller Abfluss) einen Wert von etwa 2100 m^3/s. Das langjährig gemittelte Geschiebetransportvermögen kann auf Grundlage der Meyer-Peter-Gleichung mit etwa 156‘000 m^3/a (mit d_m=20 mm; d_{90}=70 mm) abgeschätzt werden (Nestmann, 1993); unter Berücksichtigung der tatsächlich erforderlichen Geschiebezugaben (vgl. Abs. [115]) ist dieser Wert tendenziell zu tief geschätzt.

[104] Unter den vorliegenden hydrologischen und hydraulischen Randbedingungen ist ein Geschiebetransportvermögen im Verhältnis zur Donau östlich von Wien etwa im Verhältnis 1:2 verbunden.

[105] Zur Vorgeschichte[42]: Im Rahmen eines deutsch-französischen Vertrags (von 1969) war dort zunächst eine Sohlabdeckung („Panzerung“) mit Grobkies (Korndurchmesser über 6 cm, etwa bis 12 cm) geplant. Auf Basis von Naturversuchen in der Stauhaltung des Kulturwehres Breisach („Breisacher Versuche“, 1970) und begleitenden Modellversuchen kam man aber

---

41 Der bettbildende Abfluss (effective discharge) ist jener Abfluss, für den das Produkt aus Abflusshäufigkeit und Geschiebetransportrate ein Maximum erreicht; dieser Wert ist für Fragen der Flussmorphologie und Morphodynamik besonders relevant (vgl. u.a. Wolman & Miller, 1960).

42 Diese Darstellung greift auf auf eine Zusammenfassung in Klasz (2002) zurück; verwendete Grundlagen waren im Besonderen: Felkel (1987), Kuhl (1993) und Nestmann (1993, 1996).

zum Ergebnis, dass diese Grobkornberollung wegen einer unzulässigen Beeinträchtigung der Schifffahrt nicht zielführend sei; sie erfordert einen deutlich größeren Sicherheitsabstand zwischen Schiff und Sohle, was (unter gegebenen hydrologischen und hydraulischen Bedingungen) zwangsläufig zu Verschlechterungen für die Schifffahrt (reduzierte Fahrwassertiefen) führt (Nestmann, 1993); dazu weiter führende Hinweise findet man etwa bei Felkel & Steinweller (1972). Auch andere Alternativen wurden untersucht, etwa der Einbau von Grundschwellen, doch letztlich entschied man sich (nach entsprechenden Naturversuchen: „Freistetter Versuche“, vgl. Felkel at al. (1977) und Felkel (1980) für die künstliche Geschiebezuführung mit einer dem natürlichen Sohlmaterial weitestgehend entsprechenden Kornverteilung.

[106] Ein wichtiges Argument für die Geschiebezugabe war auch, dass sie im Gegensatz zu den anderen diskutierten Alternativen (Bau von Grundschwellen; Herstellung einer Sohlenpanzerung; Bau weiterer Staustufen) nicht nur in einer unmittelbaren Ausbaustrecke wirksam ist, sondern auch weit in die Unterliegerstrecke (Nestmann, 1993). Im Übrigen sei die Geschiebezugabe auch die umweltverträglichere und kostengünstigere Lösung als der Bau weiterer Staustufen (Kuhl, 1993).

Tabelle 8: Sohlstabilisierung Oberrhein, Angaben zur Projektsgenese

ab 1817 über rd. 50 Jahre	Rheinkorrektion in der badischen Strecke, nach dem Konzept von Tulla; mit einer Abflusskonzentration in ein befestigtes und begradigtes Flussbett (etwa 250 m breit); Laufverkürzung (zwischen Basel und Lauterburg) von rund 14%; innerhalb von 100 Jahren kam es dadurch zu einer Absenkung der NW-Spiegel (zwischen Rheinweiler und Neuenburg) um rund 7 m;
erste Hälfte des 20. Jahrhunderts	durch fortlaufende NW-Regulierung (Buhnenbau) weitere Reduktion der geschiebewirksamen Breite auf rund 170 m, damit weitere Erhöhung der Erosionsraten;
1932 bis 1977	Bau von zehn Staustufen am Hoch- und Oberrhein[43], Ausbaurichtung stromabwärts: Kembs (1932); Ottmarsheim (1952); Fessenheim (1956); Vogelgrün (1959); Marckolsheim (1961); Rheinau (1963); Gerstheim (1967); Straßburg (1970); Gambsheim (1974); Iffezheim (1977);
1969	deutsch – französischer Vertrag: unterhalb der Staustufe Iffezheim Sohlstabilisierung durch Panzerung des Rheinbettes; sollten gemeinsame Untersuchungen zeigen, dass das Ziel damit nicht erreicht werden kann, so werden beide Vertragspartner geeignete Maßnahmen vereinbaren;
1970	Ideenstudie „über die Möglichkeit der Verhütung von Sohlerosionen durch Geschiebezufuhr aus der Talaue ins Flußbett, dargestellt am Beispiel des Oberrheins“ von Dr. Felkel (BAW);
1975 (Juni bis Oktober)	erster Naturversuch mit Geschiebezugabe unterhalb der Staustufe Gambsheim: (Rhein-km 312,65 … 312,95; Zugabemenge ca. 90‘000 m^3)„Freistetter Versuche“; Hauptergebnisse: Einbau des Sand-Kiesgemisches mit selbstfahrenden Hydroklappschuten als wirksame und brauchbare Methode;
1978 (April bis November)	Fortführung des Naturversuchs zur Geschiebezugabe unterhalb der Staustufe Iffezheim (ca. Rhein-km 336,2 bis 337,5); Einbau (im Rahmen des Versuches) von ca. 158‘000 m^3 Kies;
1981	Schlussbericht (BM für Verkehr) zum Naturversuch Iffezheim (Oktober 1981); zentrale Aussage: die Geschiebezugabe hat sich bewährt;
1982	deutsch – französischer Vertrag; Geschiebezugabe als Maßnahme zur Verhinderung der Sohlerosion bilateral vereinbart;
1978 bis heute	**permanente Fortführung der Geschiebezugabe**
Quellen: Felkel (1980); Kuhl (1993); Nestmann (1993).	

[107] Über die Projektgenese, vgl. auch Tab. 8, und die dann tatsächlich praktizierte Form der Geschiebezugabe liegen mehrere Veröffentlichungen vor, u.a. Felkel (1970); Felkel & Steinweller (1972); Felkel et al. (1977); Felkel (1980); Felkel (1987); Kuhl (1993); Nestmann (1996); Stenglein (2002); DWA (2012).

[108] Begleitend wurde zur Untersuchung der Erosionsvorgänge im Unterwasser der Staustufe Iffezheim an der BAW auch ein rund 160 m langes physikalisches Modell mit beweglicher Sohle aufgebaut und betrieben (Längenmaßstab 1:100; Höhenmaßstab 1:50; Sediment: Braunkohle 0,5/10 mm mit einer Dichte ρ von 1,27 g/cm^3), vgl. Nestmann (1993).

[109] Die Angaben zum langjährigen Materialbedarf sind etwas divergent: Kuhl (1993) gibt für den Zeitraum 1978 bis 1992 eine Gesamtmenge von 2,3 Mio. m^3 an; daraus ermittelt man für diese Periode eine gemittelte Zugabemenge von etwa 153‘300 m^3/a; andererseits gibt er für

[43] Die im Folgenden in Klammern angegebenen Jahreszahlen entsprechen der Fertigstellung bzw. Stauerrichtung.

den Jahresdurchschnitt und unter Bezug auf Untersuchungen der BfG einen Wert von 173‘000 m^3/a an. Gölz (2002) gibt für diese Strecke eine durchschnittliche Geschiebefracht von etwa 300‘000 t/a an, das entspricht (mit einer Lagerungsdichte von 1,7 t/m^3) einem Betrag von 176‘500 m^3/a; einen höheren Wert für den langjährigen Bedarf nennen Nestmann (1996) und Stenglein (2002), nämlich rund 200‘000 m^3/a.

[110] Stenglein (2002) berichtet, dass der Wasserstand am Pegel Iffezheim (im Unterwasser der Staustufe) zunächst keineswegs stabil gehalten werden konnte, sondern zwischen 1978 und 1995 um knapp über 40 cm abgesunken ist; erst danach (zwischen 1996 und 2001) konnten diese Absenkungen durch verstärkte Zugaben, auch mit gröberem Material, weitgehend rückgängig gemacht und kompensiert werden; im Jahr 2000 war fast das Niveau von 1978 erreicht. Mit diesem Effekt könnten die unterschiedlichen Angaben zu den Mengen (vgl. Abs. [109]) erklärt werden, es wäre dann langfristig zu einer adaptiven Korrektur der ursprünglich zu gering eingeschätzten Zugabemenge gekommen.

[111] Für die Geschiebezugabe wurden (werden) zwei selbstfahrende Hydroklappschuten mit jeweils 170 m^3 Laderaum (Länge: 37,96 m; Breite: 7,56 m; Tiefe: 1,88 m) und 265 kW[44] Motorleistung eingesetzt (Felkel, 1980; Kuhl 1993); pro Arbeitstag erfolgen 7 bis 10 Fahrten mit je 140 bis 170 m^3 Ladung (Kuhl, 1993). Nach Angaben des dafür zuständigen Wasser- und Schifffahrtsamtes Freiburg[45] werden mittlerweile vier Klappschuten eingesetzt. Den Personaleinsatz gibt Kuhl (1993) mit 10 Personen an: 1 Bauingenieur, 1 Vermessungstechniker, 1 Messgehilfe/Fahrer, 1 Wasserbauwerker und 6 Mann Bootsbesatzung.

[112] Die Verklappung erfolgt in Längsfahrt; der Zugabebereich erstreckt sich über eine annähernd 2 km lange Strecke von Rhein-km 336 bis 338 (Kuhl, 1993).

[113] Zielgröße für die Schifffahrt in diesem Abschnitt des Rheins ist eine durchgehende Fahrrinnentiefe von 2,1 m unter dem ‚gleichwertigen Wasserspiegel‘ (GlW)[46]; der dem GlW zugeordnete Abfluss ändert sich je nach Abflussreihe; Felkel (1980) gibt für den GlW72 und den Pegel Maxau einen Abfluss von 585 m^3/s an. Die Schütt-OK für die Geschiebezugabe liegt 40 cm unter dem Fahrrinnenkasten (Sicherheitsabstand), also 2,5 m unter dem GlW (Kuhl, 1993).

[114] Felkel (1980) ging für die Geschiebezugabe von einem Kostenrahmen (gesamt) von 5 bis 7 Mio. DM pro Jahr aus (kalkulatorischer Einheitspreis: 10 DM/m^3); Kuhl (1993) gibt (für die „vergangenen Jahre“, also mutmaßlich die Periode 1978 bis 1992) Kosten von durchschnittlich 7 Mio. DM/a an (ohne Umbau, Lieferung und Beschaffung von Fahrzeugen und Geräten). Bei einer rechnerischen Preissteigerung zwischen 1985 und 2013 (Aufzinsung) von etwa 1,66 (Preisindex[47] „Straßenbau“/Deutschland für 1985/2012: 65,3/109,5 = 1,68; Preisindex „Brückenbau“/Deutschland für 1985/2013: 63,8/106,7 = 1,67; Preisindex „Kanalbau“/Deutschland für 1985/2013: 65,9/106,9 = 1,62; Mittelung über diese drei Kennzahlen ca. 1,66) und einem Euro/DM-Wechselkurs von 0,5113 [€/DM] entspräche dies einem aktu-

---

44 Das entspricht einer Leistung von 360 PS.

45 http://www.wsa-freiburg.wsv.de/wir_ueber_uns/dienststellen/geschiebe/

46 Der ‚gleichwertige Wasserstand / Wasserspiegel‘ wird an 20 Tagen eines Jahres erreicht oder unterschritten (Stenglein, 2002).

47 Quelle: Statistisches Bundesamt, Wiesbaden (August 2013, 3. Vierteljahresausgabe): Preisindizes für die Bauwirtschaft.

ellen Wert von etwa 5,9 Mio €/a. Dabei ist aber zu berücksichtigen, dass die Geschiebezugabe mit eigenen Mitteln der deutschen Wasserstraßenverwaltung durchgeführt wurde, also keine Marktpreise abbildet.

Die Arbeit von Kuhl (1993) enthält auch Angaben über die Zusammensetzung der Kosten:

Kieslieferung frei Schute	ca. 80%
Transport, Verklappung	ca. 6%
Kontrolle und Überwachung (Peilung, Wsp-Fixierung, Abflussmessung)	ca. 4%
BAW + BfG	ca. 2%
Bauleitung	ca. 8%

[115] Das Zugabematerial soll dem anstehenden Sohlmaterial entsprechen; Kuhl (1993) gibt die in Tab. 9 aufgelisteten Werte für die Kornverteilung des Zugabematerials an.

Tabelle 9: Kornzusammensetzung des Zugabematerials nach Kuhl (1993)

Kornfraktion [mm]	**Bagger-gut**	**Kiesgemisch [Gew.-%]**							
		1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
eingebaut in den Jahren	1978/81, 84/87, 90/91	1978/ 1979	1978/ 1981	1981	1982	1981/ 1983	1984/ 1987	1987/ 1991	1991/ 1993
0/2 mm	12	-	-	-	-	-	-	-	12
2/8 mm	24	$33\,^1/_3$	40	-	-	-	-	-	12
8/16 mm	34			19	$33\,^1/_3$	30	40	42	26
16/32 mm	21	$33\,^1/_3$	40	19	$33\,^1/_3$	30	30	28	25
32/x mm	9	$33\,^1/_3$	20	62	$33\,^1/_3$	40	30	30	25
d_m (mm)	20	24	20	35	27	26,5	25	24,5	21

Das Material war also primär Grobkies, der mittlere Korndurchmesser lag meist zwischen 21 und 27 mm, vorübergehend (1981) auch gröber, bei 35 mm.

[116] Die Überwachung der Geschiebezugabe dient der Verkehrssicherheit (Schifffahrt), der Erfolgskontrolle, der Massenbilanzierung und der Kalkulation (Kuhl, 1993). Sie umfasst die folgenden (in Tab. 10 angegebenen) Maßnahmen:

Tabelle 10: Maßnahmen zur Überwachung der Geschiebezugaben nach Kuhl (1993)

Lieferung	Kornverteilung, Gewicht und Volumen des Zugabematerials
Sohllage	im Einbaubereich und auf der unmittelbar daran anschließenden, ca. 14 km langen Rheinstrecke (Rhein-km 334 bis 352): Querprofilaufnahmen im Einbaubereich: täglich, Querprofilaufnahmen in der 2 km langen Strecke stromab des Einbaues: 14-tägig, gesamte Rheinstrecke km 334 bis 352: jährlich und nach jedem Hochwasser; insgesamt etwa 6000 Querprofilaufnahmen pro Jahr;
Wasserspiegellagen	Beobachtung von 36 Pegeln zwischen Rhein-km 334 bis 352 und Vergleich mit Wasserspiegellagen (für jeweils konstante Abflüsse) für den Zustand vor Beginn der Geschiebezugabe (1978)

[117] Kuhl (1993) gibt – neben der ‚Einsatzfreude der Mitarbeiter des Wasser- und Schifffahrtsamtes Freiburg' – die folgenden Einflussfaktoren für die Geschiebezugabe an:

- die Kornzusammensetzung: zu hoher Sand- oder Feinkiesanteil erhöhen die Mobilität und den Materialbedarf, ein großer Anteil an Grob- bzw. Überkorn begünstigt einen „Panzereffekt" mit reduziertem (langsameren) Geschiebetransport;
- die Abflüsse: messbarer Geschiebetransport setzt bei mittleren Rheinabflüssen ein;
- die Witterung: bei Frost und Nebel werden keine Verklappungen durchgeführt;
- Überwachung und Dokumentation (Abflussmessungen, Wasserspiegelfixierungen; Peilungen);
- die Betriebssicherheit der Geräte und Fahrzeuge;
- Zuverlässigkeit und Schnelligkeit der Datenverarbeitung;
- Ausbaumaßnahmen, speziell Buhnenausbauten erhöhen die Geschiebetransportraten und damit die erforderlichen Zugabemengen;

[118] Nestmann (1996) stellt fest, dass mit der Unterwassersicherung bei Iffezheim erstmals ein systematisch betriebenes Geschiebemanagement gelungen ist, mit dem den nachteiligen Auswirkungen des Staustufenausbaues erfolgreich und längerfristig begegnen werden konnte. Allerdings sind angesichts der enormen Kiesmengen, die dafür unbefristet benötigt werden, Zweifel an der Nachhaltigkeit des Konzeptes angebracht: *„Ohne Zweifel sollten aber auch parallel Maßnahmen zur Verbesserung der Sohlstabilität entwickelt werden, um die jährlichen Zugabemengen im langjährigen Mittel zu reduzieren (beispielsweise durch Zugabe von Kornfraktionen, welche die Selbststabilisierung des Gewässerbettes begünstigen)"*, Nestmann (1996).

4.2 KW Wien-Freudenau, UW-Sicherung

[119] Ohne geeignete Maßnahmen zur UW-Sicherung hätte sich die Sohlerosion im Unterwasser der Staustufe Wien-Freudenau weiter verstärkt. Es waren daher vom Kraftwerksbetreiber (Verbund Hydro Power AG) geeignete Sicherungsmaßnahmen (zur Unterwassersicherung) einschließlich einer begleitende Beweissicherung (Monitoring) auszuarbeiten und der Behörde (zur wasser- und schifffahrtsrechtlich Bewilligung) vorzulegen. Die im wasserrechtli-

chen Grundsatzverfahren (1991) zunächst von einzelnen Parteien erhobene Maximalforderung, Donaukraft möge zur Stabilisierung der gesamten freien Fließstrecke unterhalb des Kraftwerkes verpflichtet werden, wurde von der Wasserrechtsbehörde zurückgewiesen (Oberste Wasserrechtsbehörde, 1991).

[120] Die wasserrechtliche Bewilligung zur UW-Sicherung erfolgte in zwei Stufen:

- zunächst mit Grundsatzgenehmigungsbescheid (31.07.1991; Zl. 14.570/182-I4/91),
- darauf (und auf ein Detailprojekt) aufbauend mit einer Detailgenehmigung (04.04.1996; Zl. 14.570/264-I4/95);

zuständige Behörde war und ist das Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft[48] bzw. die dort angesiedelte Oberste Wasserrechtsbehörde.

[121] Als primäre Sicherungsmaßnahme wird im Unterwasser des Hauptbauwerkes jene Kiesmenge eingebracht, die zwischen Greifenstein und dem KW Freudenau nach der Stauerrichtung nicht mehr ausgetragen werden kann. Dieses Geschiebedefizit wurde zunächst aus dem Überschussmaterial aus dem Baustellenaushub (der Kraftwerksbaustelle) beigegeben (in den ersten fünf Jahren rund 850‘000 m^3): seit 2001 wird Baggermaterial aus dem Bereich der Stauwurzel des KW Altenwörth (Bereich Stein-Krems) verwendet, vgl. Schimpf et al. (2009), was bereits aufwendiger ist. Mittel- bis langfristig werden weitere Kiesquellen zu erschließen sein; derzeit (Ende 2013) wird die Verwendung von Kies aus dem Mündungsbereich der Traisen[49] (LIFE-Projekt) vorbereitet, in der Größenordnung stehen dort etwa 2 Mio. Kubikmeter zur Verfügung. In diesem Zusammenhang sind auch die Überlegungen der Obersten Wasserrechtsbehörde (1991) von Bedeutung: *„Der weitere Fehlbedarf ist durch den Zukauf von Schotter abzudecken. Es besteht kein Zweifel, dass diese Kubaturen ohne größere Schwierigkeiten zu beschaffen sind, betragen sie doch nur wenige Prozent des jährlich in Österreich gewonnenen Schotters (Größenordnung der Schottergewinnung: mehrere Millionen Kubikmeter). Diesbezügliche Überlegungen, die über ein oder zwei Jahrzehnte hinausgehen, sind aus wasserbautechnischer Sicht aber rein theoretischer Natur, da eine fortschreitende Sohleeintiefung der freifließenden Donau unterhalb der Erhaltungsstrecke im bisherigen Ausmaß von 2 bis 3 cm/a sicher nicht über mehrere Jahrzehnte toleriert werden kann und für eine endgültige Sohlsicherung andere Maßnahmen – Stauhaltung oder Abpflasterung mit auch bei Hochwasser standfestem Material – vorzuziehen sind.“* [50]

[122] Zusätzlich (zur vollen Kompensation des Geschieberückhaltes im Stauraum des KW Wien-Freudenau) besteht die wasserrechtliche Auflage, die Stromsohle zwischen Kraftwerksachse und Strom-km 1910 („Erhaltungsstrecke“), also auf einer Länge von etwa 11 km, nach Stauerrichtung stabil zu halten, mit einem Toleranzmaß von 10 cm (flächenhaft[51]) bzw. 40 cm (örtlich).

---

48 Derzeitiger Name: „Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft“.

49 Dieses Material ist aber nach ersten Beobachtungen wahrscheinlich deutlich feiner als das Bettmaterial der Donau stromab der Staustufe KW Freudenau. Wenn dies zutrifft, wird es nicht voll für eine Geschiebebewirtschaftung anrechenbar sein.

50 Wasserrechtliche Grundsatzgenehmigung zum Donaukraftwerk Freudenau, Bescheid der Obersten Wasserrechtsbehörde, Zl. 14.570/182-I 4/91 vom 31.07.1991; Erläuterungen der wasserbautechnischen Amtssachverständigen.

51 Über eine Länge von 1 km.

[123] Auf Grundlage eines VwGH-Erkenntnisses (vom 20.02.2003) sind zwei kürzere (300 und 900 m lange) Teilstrecken innerhalb der Erhaltungsstrecke von der Erhaltungsverpflichtung der VHP ausgenommen (Schreiben 16.570/19-16/03 des BMLFUW vom 11.04.2003), weil dort während der Feststellung des Referenzzustandes (im Zeitraum 1995/1996) durch die Wasserstraßendirektion Regulierungsarbeiten durchgeführt worden sind; es handelt sich um die Furt „Kuhstand“ (Strom-km 1910,3 … 1910,0) und die Furt „Schwechatmündung“ (Strom-km 1914,1 … 1913,2), Schmalfuss (2013).

[124] Mit dieser Form der UW-Sicherung, die (sowohl nach Angabe der Wasserrechtsbehörde als auch des Kraftwerksbetreibers) nur als mittelfristige Maßnahme konzipiert ist, können weitere Eintiefungen in der Erhaltungsstrecke gestoppt werden und es sollten dort keine Wasserspiegelabsenkungen auftreten[52], zweitens wird erreicht, dass im folgenden 30 km langen Stromabschnitt bis zur Marchmündung keine kraftwerksbedingte Verstärkung der Eintiefung eintritt, drittens ist aber festzustellen, dass die dort vor Kraftwerkserrichtung gegebene Eintiefungstendenz weiterhin wirksam ist, mit mittleren Eintiefungsraten von etwa 2 bis 3,5 cm/a.

[125] Der Kies wird mittels Schiff (Hydroklappschuten mit Schubschiff) zur Einbaustelle transportiert und verklappt, die Positionierung erfolgt mittels Differential-GPS.

[126] Die (mittlere) Zugabemenge bzw. die Grundlage zur Ermittlung der Jahreszugabemengen wurden erst über ein Detailprojekt (und die wasserrechtliche Detailgenehmigung) festgelegt. Die ersten Abschätzungen der Österreichischen Donaukraftwerke AG (heute: VHP) gingen in Richtung von 52‘000 m^3/a (13 km Länge * 200 m Breite * 2 cm/a mittlere Eintiefung); diesem Wert stellte der Amtssachverständige der Genehmigungsbehörde den deutlich höheren Wert von 135‘000 m^3/a gegenüber (18 km Länge * 250 m Breite * 3 cm/a mittlere Eintiefung); schließlich wurde im Detailprojekt und dem darauf aufbauenden Bescheid (Zl. 14.570/264-I4/95) der Wert von 160‘000 m^3/a für ein ‚Regeljahr‘[53] festgelegt; Grundlage waren Stromgrundaufnahmen zwischen 1989 und 1994 über den Stauraum Freudenau und die daraus abgeleiteten Kubaturänderung (= Erosionsvolumen)[54]. Weiters wurde ein Rechenalgorithmus für die Festlegung der Mengen von Einzeljahren festgelegt, um die Zugabemengen den aktuellen Wasserführungen (trockene/nasse Jahre) anzupassen. Im Durchschnitt der Jahre 1996 bis 2010 lag die tatsächliche Zugabemenge bei etwa 193.000 m^3/a (Schimpf et al., 2009; ergänzt durch zusätzliche Informationen seitens Dr. Schmalfuss / Dipl.-Ing. Schimpf), vgl. auch Abb. 25.

---

52 Tatsächlich kam es vor allem im unteren Teil der Erhaltungsstrecke zu starken Absenkungen der RNW(2010) gegenüber den RNW(1996).

53 Der Verfasser dieser Studie hält in diesem Zusammenhang den Begriff des „Regeljahres“ wegen der nichtlinearen Beziehung zwischen Durchfluss und Geschiebetransport für wenig aussagekräftig bzw. undefiniert. Aussagekräftig ist hingegen die Angabe eines langjährig gemittelten Durchschnittswertes.

54 In der Strecke zwischen Str.km. 1920 und 1949 wurde für den Zeitraum zwischen Mai 1989 und August 1994 ein Geschiebeaustrag von etwa 807.000 m^3 ermittelt (Gruss, 1996). Das entspricht einer Menge von etwa 5.500 m^3/(km.a) bzw. – über die Strecke aufsummiert – etwa 160.000 m^3/a.

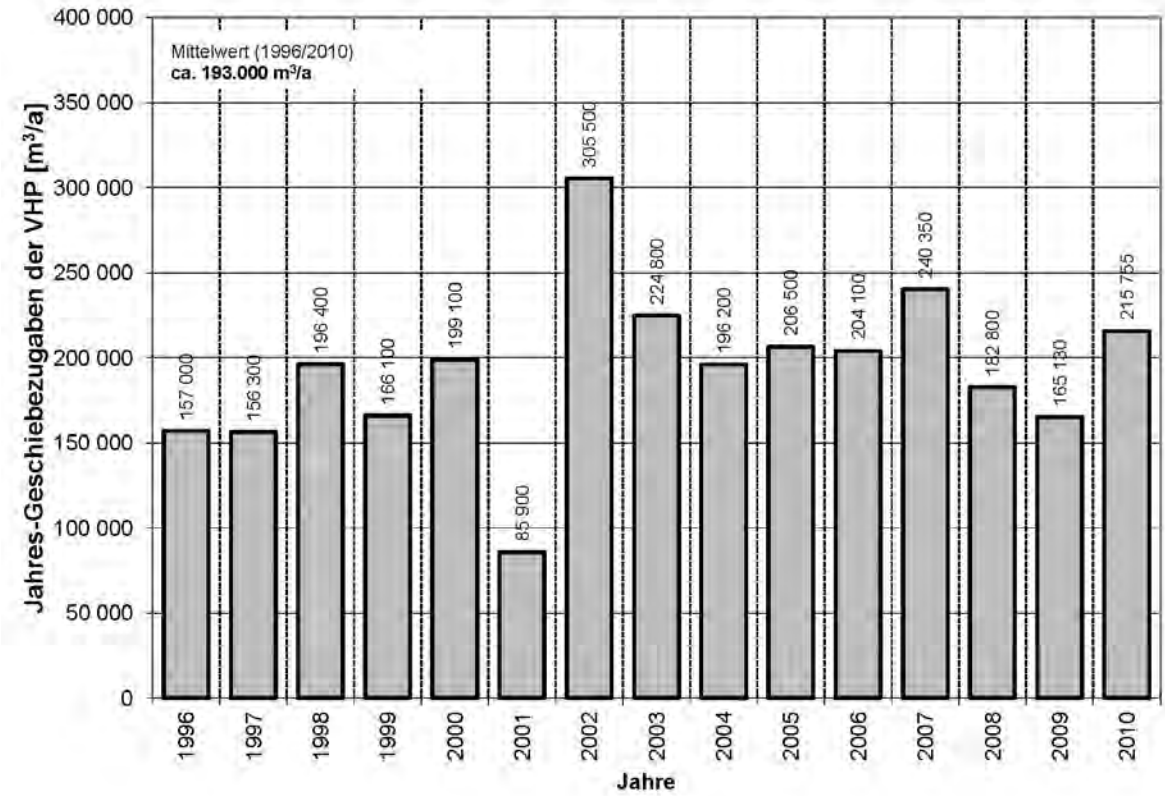


Abb. 25: Geschiebezugaben der VHP im UW des Kraftwerkes Wien-Freudenau, Zeitraum: 1996 – 2010; Quelle: Schimpf et al. (2009), ergänzt durch zusätzliche Informationen seitens Dr. Schmalfuss / Dipl.-Ing. Schimpf.

Lässt man das besonders zugabeschwache Jahr 2001 und das darauf folgende starke Jahr 2002 beiseite, dann schwanken die einzelnen Jahreswerte zwischen etwa 160‘000 und 240‘000 m^3/a, also nicht besonders stark.

[127] Die aktuell (Schmalfuss, 2013) angegebene durchschnittliche Jahreszugabemenge ist mit rd. 184‘000 m^3/a etwas geringer als der weiter oben angegebene Wert; das liegt daran, dass die drei letzten Zugabejahre (2011: 96‘135 m^3; 2012: 161‘645 m^3 und 2013: 149‘000 m^3) unterdurchschnittlich ausgefallen sind. Da aber für 2014 eine deutlich überdurchschnittliche Zugabe von etwa 320‘000 m^3 vorgesehen ist (Schmalfuss, 2013), ändert sich an dem in Abs. [126] genannten Durchschnittswert kaum etwas.

[128] Das Zugabematerial wird vorrangig in jenen Bereichen der Erhaltungsstrecke verklappt, wo sich übermäßige Eintiefungen (> 40 cm lokal bzw. >10 cm großflächig) zeigen; hierfür und zur Kontrolle der Maßnahmen werden jährlich Stromgrundaufnahmen (zusätzlich nach jedem größeren Hochwasser) und NW-Nivellements erstellt. Die Referenzsohle hierfür wurde im Dezember 1995 aufgenommen, Schimpf et al. (2009). Schmalfuss (2013) gibt folgende primäre Einbaubereiche an:

- Strom-km 1920,2 … 1919,5,
- Strom-km 1918,1 … 1917,3,
- Strom-km 1916,4 … 1915,9,
- Strom-km 1915,5 … 1914,3;

[129] Entsprechend der wasserrechtlichen Vorschreibung ist nur hygienisch und chemisch einwandfreies Material mit etwa der gleichen Sieblinie und Kornform (Rundkies), wie sie das natürliche Sohlmaterial aufweist, zu verwenden. Für die Schifffahrt störenden Anlandungen waren bisher nicht zu beobachten; gegebenenfalls wären sie durch maschinelle Verteilung (etwa Hydraulikbagger auf Ponton) zu entfernen.

[130] Laut Schmalfuss (2013) folgen die VHP-Geschiebezugaben folgenden typischen Jahresablauf:

November / Dezember	Stromsohlvermessung
Jänner	Auswertung der Stromsohlvermessung, Erfolgskontrolle, Identifizieren potentieller Schüttbereiche
Jänner / Februar	Erstellen des Schüttplanes Abstimmung mit via donau, Oberste Schifffahrtsbehörde etc. Bericht an die Oberste Wasserrechtsbehörde
März	Prüfung durch die Oberste Wasserrechtsbehörde
März bis November	Geschiebezugabe
November / Dezember	Stromsohlvermessung

[131] Für Kolkabschnitte, die bereits oder beinahe in tertiäre Schichten reichen (weniger als 1 m Quartärüberdeckung) und damit „knapp vor dem Durchschlag stehen“, wurden spezielle Sicherungsmaßnahmen in Form einer Steinberollung vorgesehen; dazu wurde von Donaukraft AG (nunmehr: VHP) ein eigenes Projekt (auf Grundlage von Untersuchungen von Prof. Strobl, TU-München) vorgelegt und über einen eigenen Detail-Bescheid (Zl. 14.570/171-I4/94 vom 12.09.1994) genehmigt.

[132] Insgesamt wurden fünf Kolke in Form von rd. 60 cm starken Steindeckwerken (teilweise, in Zonen mit noch größerer Kiesüberdeckung, auf 40 cm reduziert; Steindurchmesser 7 … 20 cm; Einzelsteingewicht rd. 1 bis 20 kg) gesichert, vgl. auch Tab. 11, dafür wurden rd. 320‘000 m^3 gebrochenes Steinmaterial verwendet. Die Schütt-OK wurde so festgelegt, dass unter RNW-Bedingungen unter dem 2,5 m tiefen Fahrwasserkasten ein Sicherheitsabstand (zw. Kolkschutz und Schiff) von mindestens 1,2 m (d.h. 3,7 m unter RNW) gegeben ist (Schimpf et al., 2009). Die beiden Kolke 4 und 5, die knapp hintereinander liegen („Doppelkolk“) und daher gemeinsam saniert wurden, reichten bereits in die tertiären Schichten, dort wurde eine 50 cm starke Filterschichte aus Kies („Kies-Pufferschichte“) unter der Steinschüttung aufgebracht (Projektbeschreibung im Bescheid Zl. 14.570/171-I4/94 der Obersten Wasserrechtsbehörde).

Tabelle 11: Kolksicherung in der VHP-Erhaltungsstrecke; Projektbeschreibung im Bescheid Zl. 14.570/171-I4/94 der Obersten Wasserrechtsbehörde

Kolk	Bereich:	Länge:	Angabe zur Breite:	Anm.:
Kolk 1	Strom-km 1916,26 … 1915,8	460 m	im Mittel ca. 30 m	ca. 23‘000 t
Kolk 2	Strom-km 1915,2 … 1914,21	ca. 1000 m	-	bereits im Rahmen eines 1:1 Naturversuchs
Kolk 3	Strom-km 1913,02 … 1912,3	720 m	maximal ca. 85 m	ca. 76‘000 t
Kolk 4	Strom-km 1911,82 … 1910,43	1390 m	maximal ca. 80 m minimal ca. 30 m	ca. 104’000 t
Kolk 5				

[133] Die Verpflichtungen des KW-Betreibers (VHP) zur UW-Sicherung bestehen grundsätzlich auf Bestandsdauer des Kraftwerkes.

4.3 Neuere Entwicklungen in Deutschland

[134] In Stenglein (2002) und DWA (2012) wird gezeigt, dass die Geschiebezugaben bei Iffezheim mittlerweile nur einen kleinen Teil der Maßnahmen am freifließenden Rhein bilden. Auf Grundlage einer detaillierten Streckenanalyse wurde ein Maßnahmenkatalog für die gesamte Strecke zwischen Iffezheim und der deutsch-niederländischen Grenze erarbeitet, also für eine insgesamt rd. 530 km lange Strecke, und zwar mit dem Ziel, Anlandungen und Erosionen zu vermeiden und für die Gesamtstrecke ein Sohlgleichgewicht herzustellen, sh. Tab. 12 (DWA, 2012).

Damit wird – zusätzlich zu den Zugaben bei Iffezheim – eine Geschiebemenge in der Höhe von 200‘000 bis 300‘000 m^3 zugegeben. Am Oberrhein wird Material aus Kiesgruben verwendet; am Mittelrhein und Niederrhein muss auch gebrochenes Material aus Steinbrüchen verwendet werden (DWA, 2012).

Tabelle 12: Gesamtkonzept für den deutschen Rheinabschnitt; Quelle: DWA (2012), einzelne Ergänzungen nach Stenglein (2002)

Abschnitt:		Maßnahmen:	Anm.:
1	334,0 … 352,1	Geschiebezugabe (rd. 180‘000 m^3/a)	Geschiebezugabestelle Iffezheim (Rh-km 336,0 … 338,0)
		Anpassung von NW-Buhnen	
2	352,1 … 402,6	Anpassung von NW-Buhnen	
		vorübergehende Baggerungen	
3	402,6 … 423,0	keine	
4	423,0 … 444,4	Unterhaltungsbaggerungen (ca. 15‘000 m^3/a)	
5	444,4 … 493,5	Verklappung des Baggerguts aus Abschn. 4	
		Buhnenanpassungen	
6	493,5 … 529,0	Geschiebeentzug (rd. 60‘000 m^3/a)	Geschiebeentnahmestelle (Geschiebefang) Mainz-Weisenau (Rh-km 494,4)
		Nachregelung	
		vorübergehende Baggerungen (1998 / 2002)	
7	529,0 … 585,6	Geschiebezugabe (rd. 70‘000 m^3/a)	Geschiebezugabestelle unterhalb Bingen (Rh-km 557,0 … 570,0)
		Nachregelung	
		vorübergehende Baggerungen (1998 / 2007)	
8	585,6 … 640,0	Geschiebezugabe (rd. 30‘000 m^3/a)	Geschiebezugabestelle Moselmündung (Rh-km 586,0 … 595,0)
		örtliche Nachregelung	
		vorübergehende Baggerungen (1998 / 2008)	
9	640,0 … 703,6	Unterhaltungsbaggerungen (ca. 60‘000 m^3/a)	
		örtliche Nachregelung	
		vorübergehende Baggerungen (1998 / 2006)	
10	703,6 … 768,0	Geschiebezugabe (rd. 100‘000 m^3/a)	Geschiebezugabestelle Wuppermündung (Rh-km 708,0 … 716,0); Geschiebezugabestelle Düsseldorf-Stockum (Rh-km 750,0 … 760,0)
		Unterhaltungsbaggerungen (ca. 30‘000 m^3/a)	
		örtliche Nachregelung	
		vorübergehende Baggerungen (1998 / 2008)	
11	768,0 … 800,0	Unterhaltungsbaggerungen (ca. 30‘000 m^3/a)	
		statische Sohlenstabilisierung u. Nachregelung	
		vorübergehende Baggerungen (1998 / 2001)	
12	800,0 … 865,5	Geschiebezugabe (rd. 100‘000 m^3/a)	Geschiebezugabestelle Wesel (Rh-km 808,0 … 816,0); Geschiebezugabestelle Rees (Rh-km 839,0 … 844,0)
		Unterhaltungsbaggerungen (ca. 20‘000 m^3/a)	
		örtliche Nachregelung	
		Grobkornanreicherung	
		vorübergehende Baggerungen (1998 / 2003)	

[135] Im Oktober 1996 wurden im Oberrhein im Einbaubereich stromab der Staustufe Iffezheim (Rhein-km 336,2 bis 337,1) ca. 28‘000 t gebrochenen Granits in einer Körnung 4/63 mm (d.h. in der Kiesfraktion) als petrographisches Tracermaterial eingebaut, und zwar analog zu der

dort allgemein praktizierten Einbaumethode (vgl. Kap. 4.1), und in den folgenden Jahren beobachtet (Probenentnahmen zwischen Rhein-km 337 und 358; auch Freeze-Cores); dank seiner Struktur und Farbe konnte das Material in den Sohlproben leicht identifiziert werden, vgl. Gölz (2002). Dabei wurden u.a. die Sortierung und die durchschnittlichen Wandergeschwindigkeiten verschiedener Fraktionen (vgl. Tab. 13) ermittelt und auch die Einmischung des Zugabematerials untersucht. Damit liefert dieser Versuch wertvolle Hinweise auf die Kombination aus Geschiebezugabe und Sohlvergröberung.

Tabelle 13: Mittlere Transportdistanzen und daraus abgeleitete mittlere Transportgeschwindigkeiten[55] für verschiedene Fraktionen des petrographischen Tracermaterials, zugegeben am Oberrhein stromab von Iffezheim und beobachtet in der Periode 1996/1999; Quelle: Gölz (2002)

	4/8 mm	**8/16 mm**	**16/31,5 mm**	**31,5/45 mm**	**45/63 mm**
mittlere Transportdistanz [km] im Zeitraum 1996/1999	15,4	14,9	14,0	9,7	7,4
mittlere Geschwindigkeit [km/a] im Zeitraum 1996/1999	**5,1**	**5,0**	**4,7**	**3,2**	**2,5**

Die Abnahme der Transportgeschwindigkeit (und damit ein Sortierprozess) in den beiden gröbsten Fraktionen ist klar erkennbar, während die drei feineren Fraktionen (4/8 mm; 8/16 mm; 16/31,5 mm) beinahe gleich schnell bewegt werden (Gölz, 2002).

[136] Die in Tab. 13 angegebenen Werte sind als mittlere Werte zu verstehen, sie entsprechen der Geschwindigkeit der Schwerpunkte der Verteilungen der einzelnen Fraktionen im Längsverlauf; die schnellsten Steine wandern mit einer Geschwindigkeit von 6 bis 11 km/a; andere Steine sind unterdurchschnittlich schnell. Das Zugabematerial wird also nicht als annähernd gleichbleibende „Sedimentwelle“ bewegt, sondern im mathematischen Sinn im Sinn einer Dispersion; dies hängt mit der Einmischung des Materials in das natürliche Sohlmaterial zusammen. Tracermaterial wurde bis zu einer Tiefe von 1,3 m unter der Sohloberfläche gefunden, die mittlere Einmischtiefe liegt bei etwa 0,8 m (Gölz, 2002).

[137] Für die Einmischung gibt Gölz (2002) zwei Mechanismen an, die sich auch überlagern können:

- Bettformen, wie etwa Dünen, in denen es zu einer Vermischung kommt,
- (temporäre) Auflandungen im Gerinne;

und Gölz (2002) gibt auch an, dass im Oberrhein bei Hochwasserwasser (Abflüsse zwischen 3000 und 3500 m^3/s) große Kiesdünen mit Höhen bis zu 1 m (und teilweise noch mehr) beobachtet wurden, ein durch Stromsohlaufnahme gewonnener Längenschnitt zeigt auch eine solche Situation.

[138] Geschiebebewirtschaftung wird seit 1996 auch an der Elbe durchgeführt. In der Erosionsstrecke zwischen ca. km 120 und km 230 (Übergang von Ober- zum Mittellauf; etwa Mühlberg bis Wittenberg) kommt es seit langer Zeit zu Tiefenerosionen; besonders stark ist

55 Die hier angegebenen Transportgeschwindigkeiten wurden graphisch aus Abb. 4 (Weg-Zeit-Diagramm) in Gölz (2002) abgelesen.

das im Abschnitt bei Torgau (km 150 … 180) mit Eintiefungen (bezogen auf den Zustand von 1996) von rd. 1,6 m gegenüber dem Referenzzustand „1888“ und Erosionsraten in der Größenordnung von etwa 1,4 bis 1,5 cm/a. Der Schwerpunkt der Sohlerosion hat sich zuletzt von Torgau (km 155) stromab zum Bereich Pretzsch (km 185) verlagert. Die Ursachen liegen weitgehend in der Regulierung der Elbe (Einengung des Durchflussquerschnittes; Reduktion des Durchflussanteiles der Vorländer durch Eindeichung; Gefälleverstärkung durch Laufverkürzung; Verminderung der Seitenerosionen durch die Uferbefestigungen) und auch bei der Reduktion des Geschiebeeintrages aus dem Oberlauf und dem Einzugsgebiet (z.B. durch Staustufen in der Elbe und ihren Nebenflüssen), DWA (2012).

[139] Morphologisch ist dieser Abschnitt als Übergang zwischen der deutschen Oberelbe (Gebirgscharakter; Sohle hauptsächlich aus Grobkies mit $D_m \approx 25$ mm; kein nennenswerter Geschiebetransport, d.h. Abpflasterung) und Mittelelbe (alluvialer Flachlandfluss; Grobsand bis Mittelkies; $D_m \approx 6$ mm; Geschiebetransport bereits bei geringen Abflüssen) zu charakterisieren; flussbaulich ist der Abschnitt stark durch Buhnen und Deckwerke geregelt. Es ist auch eine starke Verfeinerung des Sohlmaterials bzw. Zunahme des Sandanteiles (von etwa 15% im oberen Teil auf rund 40% Sandanteil im unteren Teil) bei gleichzeitiger Abnahme des Grobkiesanteiles (von rd. 50% oben auf rd. 5% unten) festzustellen. Das durchschnittliche Wasserspiegelgefälle (km 108 bis 214) liegt bei 0,24 m/km, wobei es mit rd. 0,30 m/km stromauf von Torgau (km 155) deutlich höher als stromab davon (0,20 m/km) ist; DWA (2012).

[140] Über die Sohlerosion und damit zusammenhängenden Faktoren liegen verschiedene Untersuchungen der BAW und der BfG vor. Seit dem Jahr 1999 beschäftigt sich eine „Projektgruppe Erosionsstrecke“ mit dem Problem und auch mit der Vorbereitung, Durchführung und Erfolgskontrolle der Geschiebezugaben, die zunächst als Naturversuch konzipiert waren. Angestrebt wird die Stabilisierung der mittleren Sohlhöhe bei gleichzeitiger Erhaltung der morphologischen Dynamik. Schifffahrt und die Forderung nach HW-Neutralität bilden wesentliche Kriterien, zusätzlich bestehen aber auch ökologische Anforderungen (stärkere Strukturierung des Flusses; stärkere hydraulisch/hydrologische Verbindung mit den Vorländern), DWA (2012).

[141] Von der Oberliegerstrecke wird bei allen Abflüssen lediglich suspendiertes Material eingetragen, bei Belgern (km 142) ist noch kein nennenswerter Geschiebetransport zu beobachten. Am unteren Ende der Strecke, bei Wittenberg (km 214) liegen die mittleren jährlichen Geschiebefrachten hingegen bei rd. 70‘000 t/a (BfG, 2004; DWA, 2012). Da die Sohle entsprechend feinkörnig ist, kann Sohlmaterial vor allem in Phasen mit höheren Abflüssen auch suspendiert transportiert werden; Messungen zeigen, dass der bettbildende Teil des suspendierten Sandes bei Wittenberg rd. 34‘000 t/a beträgt; abzüglich der von der Oberliegerstrecke eingetragenen bettbildenden suspendierten Sandfracht ergibt sich ein Wert für die gesamte bettbildende und innerhalb der Erosionsstrecke aus der Sohle aufgenommene Feststofffracht von ca. 93‘000 t/a, DWA (2012).

[142] Seit 1996 wird in der Erosionsstrecke Geschiebe zugegeben; die erforderliche Zugabemenge liegt zwischen 50‘000 und 100‘000 t/a; tatsächlich wurden zwischen 1996 und 2007 aber nur insgesamt rd. 615‘000 t eingebaut, was nur einem Teil des Defizits (etwa die Hälfte) abdeckt. Das Material (Kies-Sand-Gemisch; Körnung: 0/32 mm; 75% Kies + 25% Sand; $D_m \approx 12$ mm) stammt aus flussnahen Kiesgruben, es wird mit Hydroklappschuten (160 bzw. 300 t Tragfähigkeit) vorwiegend in Bergfahrt verklappt; die Dosierung erfolgt durchflussabhängig und

liegt zwischen 300 und 900 t/d. Zur Gewährleistung der Fahrrinnentiefe wurden täglich Längspeilungen durchgeführt; DWA (2012).

[143] Ähnlich wie am Oberrhein (vgl. Pkt. [135] bis [137]) wurden auch in der Erosionsstrecke der Elbe Tracerversuche durchgeführt; dabei wurden einerseits etwa 22‘000 t petrographischer Tracer (Meißner Granit; Fein- bis Grobkiesgröße; Sandanteil zwischen 10% und 20%; maximale Korngröße 40 mm; Zugabe 1996: rd. 2‘100 t; Zugabe 1997: rd. 20‘000 t) und andererseits in kleineren Mengen Luminoforen-Tracer (eingefärbtes Flussgeschiebe; ca. 1,2 t 1/2 mm; ca. 7,6 t 10/20 mm; ca. 21,1 t 40/60 mm) eingesetzt; die Wandergeschwindigkeit dieser Tracer wurde bei beiden Methoden durch wiederholte Entnahme von Sohlmaterial und Nachweis der darin enthaltenen Traceranteile bestimmt, wesentliche Ergebnisse sind in Tab. 14 angeführt; dabei handelt es sich um mittlere Werte, die Geschwindigkeit der Tracerfront ist für die einzelnen Fraktionen vielfach höher (z.B. ergaben sich für den Grobsand aus den Luminoforenversuchen Werte bis 500 km/a), das ist aber für die Geschiebebewirtschaftung von untergeordneter Bedeutung; DWA (2012).

Tabelle 14: Mittlere Transportgeschwindigkeiten[56] für verschiedene Fraktionen des Tracermaterials, zugegeben in der Erosionsstrecke der Elbe; Quelle: DWA (2012)

	Grobsand 0,63/2 mm	**Feinkies 2/6,3 mm**	**Mittelkies 6,3/20 mm**	**Grobkies 20/63 mm**
mittlere Wandergeschwindigkeit [km/a]	**~30**	**~4,5**	**~3,0**	**~1,5**

[144] Die in Tab. 14 genannten Werte für die Kiesfraktion sind in der Größenordnung mit jenen am Oberrhein (Gölz, 2002; Tab. 13) und in der Naturversuchsstrecke der Donau östlich von Wien (Liedermann et al., 2012a, 2012b; Tab. 7) gewonnenen Erfahrungen vergleichbar; auch zeigt sich sehr deutlich die Reduktion der Transportintensität (Wandergeschwindigkeit) mit größer werdendem Korndurchmesser.

[145] Für die Elbe ist u.a. auch eine Grobkornanreicherung (speziell zwischen km 120 und km 170) vorgesehen: *„Um den Sohlenwiderstand durch natürliche Abpflasterung zu erhöhen, wird gezielt Material zugegeben, das grobkörniger als die vorhandene Sohlzusammensetzung ist. Durch Abtransport der feineren Bestandteile stellt sich nach und nach eine grobkörnige Deckschicht ein, die schwerer erodierbar ist und eine entsprechend stabile Sohlenlage gewährleistet. Auch in Abschnitten, in denen keine Deckschichtbildung zu erwarten ist, wird die Kornzusammensetzung des Zugabematerials grundsätzlich gröber als die mittlere Kornzusammensetzung der Sohle gewählt“* (Projektgruppe Erosionsstrecke Elbe, 2009).

[56] Die hier angegebenen Transportgeschwindigkeiten wurden graphisch aus Abb. 4 (Weg-Zeit-Diagramm) in Gölz (2002) abgelesen.

5 Überlegungen zur Sohlvergröberung[57]

[146] Bisher wurden die für die Donau relevanten Methoden, nämlich die Normalgeschiebezugabe, die Sohlvergröberung („granulometrische Sohlverbesserung“) und die Grobkornzugabe zur Deckschichtbildung (Sohlberollung) meist kontrovers, also im Sinn völlig unterschiedlicher Alternativen diskutiert. Im Folgenden (und auf Basis von Klasz, 2002) kann aber argumentiert werden, dass zwischen diesen Alternativen Übergangsbereiche bestehen, mit einer beträchtlichen Bandbreite für Variationen. Ausgangspunkt ist zunächst der Gedanke, dass mit einer nachhaltigen Dämpfung des Geschiebetransportvermögens des Stromes auch eine entsprechende Reduktion der Nachteile der Normalgeschiebezugabe geglückt wäre, und das wäre speziell durch

- eine Gerinneverbreiterung und/oder Ausleitungen,
- die flächige Zugabe einer gröberen Kiesfraktion

möglich, vgl. Klasz (2002).

[147] Die Nachrechnung auf Grundlage der Methodik von Meyer-Peter zeigt eine extrem starke Sensitivität des Transportvermögens bei Erhöhung des mittleren Korndurchmessers, vgl. auch Tab. 15. Dieser Sachverhalt lässt sich auch im Modellversuch nachweisen[58]; andererseits bestehen erhebliche Unsicherheiten, was die Einschätzung von Einmischmechanismen betrifft. Eine solche Sohlvergröberung wäre jedenfalls nicht in Form punktueller Materialzugaben machbar, denn in diesem Fall würde die Strömung das gröbere Material kaum bewegen, wohl aber das stromab (bzw. außerhalb) der Zugabestelle befindliche natürliche Sohlmaterial. Als Konsequenz ergibt sich, dass die Geschiebezugabe speziell im Fall der Einbringung gröberer Fraktionen zwangsläufig in Form flächiger Kiesschüttungen auszuführen wäre, was sich hinsichtlich des Bauverfahrens kaum von der Methode der Grobkornzugabe zur Deckschichtbildung (bzw. Sohlberollung) unterscheidet. Allerdings wären die Korndurchmesser kleiner, eventuell auch die Schüttstärken. In bestimmten zeitlichen Abständen wäre der Grobkiesbelag teilweise oder vollständig zu erneuern, da es ja nach wie vor, wenngleich stark reduziert, zum Geschiebetransport und damit zur Sohlerosion käme, vgl. DonauConsult (1997, 2006). Die hier beschriebene Überlegung führt also unmittelbar zur Granulometrischen Sohlverbesserung.

---

57 Im Folgenden werden die Begriffe „Sohlvergröberung“, „Grobkornanreicherung“ und „Granulometrische Sohlverbesserung“ im Sinn von Synonymen verwendet.

58 Die Meyer-Peter -Formel ist ja auf Grundlage von Modellversuchen (mit unterschiedlichen Korndurchmessern) entwickelt worden.

Tabelle 15: Variation des mittleren Korndurchmessers (ohne Berücksichtigung einer Deckschichtbildung) für ein charakteristisches Querprofil nach Meyer-Peter-Methode; Quelle: Klasz (2002).

	d_m = 20 mm	d_m = 25 mm	d_m = 30 mm	d_m = 40 mm
M_G [kg/s] für RNQ	1,25	0,08	0,0	0,0
M_G [kg/s] für MQ	28,0	6,26	1,0	0,0
M_G [kg/s] für Q = 3.000 m^3/s	109,9	38,3	9,3	0,2
M_G [kg/s] für Q =4.000 m^3/s	209,1	103,3	35,8	1,7
M_G [kg/s] für HSQ	320,3	192,5	91,2	7,7
M_G [kg/s] für Q = 8.000 m^3/s	560,7	400,8	260,7	57,5
M_G [kg/s] für HQ_{100}	717,3	541,6	383,9	132,3
mittl. Jahresgeschiebetransportvermögen [m^3/a] nach Meyer-Peter	**841.600 (263 %)**	**319.800 (100 %)**	**104.700 (33 %)**	**8.900 (3 %)**

[148] Alternativ kann man gedanklich aber auch von einer Normalgeschiebezugabe (mit bestimmten Schüttbereichen, also nicht flächendeckend) ausgehen, bei der das Zugabematerial allmählich gröber gewählt wird und der Erfolg laufend durch das Monitoring überprüft und analysiert wird; in diesem Fall werden die groben Fraktionen eine geringere Wandergeschwindigkeit und somit eine geringere Transportintensität haben (Gölz, 2002; DAW, 2012), was auf eine bessere Materialeffizienz hinausläuft.

[149] Gegenwärtig (Dezember 2013) liegen noch keine quantitativen Aussagen zur Stabilität bzw. Mobilität der GSV im Naturversuch Bad Dt. Altenburg vor; die Erfahrungen aus den ersten Monaten mit GSV-Einbau zeigen aber, dass zumindest der Bewegungsbeginn („Grenzabfluss“) tiefer liegt als bisher auf Basis der Modellversuche (an der TU-Wien, vgl. Krouzecky et al., 2009) und der numerischen Berechnungen (DonauConsult, 2006) eingeschätzt wurde. Bereits bei mittleren Abflüssen (rund um MQ und knapp darüber) waren in den mittigen Teilen des Gewässerbettes relativ rasch (innert weniger Tage) stärkere morphologische Veränderungen der eingebauten GSV-Lagen zu beobachten; ufernah verhält sich die GSV hingegen wesentlich stabiler. Leider wurde die Donausohle durch das Hochwasser im Juni 2013 (mit Abflüssen[59] zwischen 10‘500 und 11‘000 m^3/s zumindest ein HQ_{100}, tendenziell eher ein HQ_{200}) sehr stark umgeformt und die GSV wurde fast vollständig abgetragen und aus der Naturversuchsstrecke abtransportiert, was bei einem derartigen Extremabfluss keineswegs überraschend sein kann.

Unter Berücksichtigung der ersten Erfahrungen aus dem Naturversuch und der Tracerversuche im Oberrhein (Gölz, 2002; vgl. Pkt. [135] und [137]) und in der Donau (Liedermann et al., 2012a, 2012b; vgl. [90]) muss die Mobilität (bzw. die Transportintensität) der Zugabefraktion 40/70 mm höher als bisher eingeschätzt werden, sie liegt wahrscheinlich im Bereich zwischen $^1/_3$ und $^1/_2$ des Wertes für den mittleren Korndurchmesser. Mögliche Gründe für die Diskrepanzen zwischen den planerischen Annahmen (einschl. Modellversuche und numerischer Berechnungen) sind:

59 Hydrologische Auswertungen derzeit noch nicht vollständig abgeschlossen.

- die Einmischtiefe ist offensichtlich größer als im Zuge der Planung zum FGP angenommen (dort: 50 cm); diese Rechenannahme galt bisher als größte Unsicherheit;
- Kiesdünen spielen bereits bei mittleren Abflüssen eine große Rolle, was bisher wegen der relativ geringen Shields-Zahlen (dimensionslose Sohlschubspannungen), vgl. Pkt. [62], [63] und [88], nicht vermutet wurde, mit den Kiesdünen wird die Einmischung (dort: 50 cm) vergrößert, es handelt sich um einen grundsätzlich anderen Transportmechanismus als beim Geschiebetransport mit ebener Sohle;
- die Erfassung des fraktionsweisen Geschiebetransportes ist mit den verfügbaren Geschiebetransportmodellen (grundsätzlich auch mit 2d- und 3d-Modellen) noch nicht zufriedenstellend möglich; Zanke (1982) weist darauf hin, dass die Meyer-Peter-Formel grundsätzlich affine Kornverteilungen voraussetzt, wenn sie die Granulometrie mit nur einem Parameter (dem maßgebenden Korndurchmesser D_m) zu beschreiben versucht; dies gilt auch für andere Geschiebeformeln; durch eine Grobkornanreicherung wird gerade diese Voraussetzung verletzt; mit einer fraktionsweisen Berechnung sollte dieses Problem umgangen werden, dafür werden aber bei solchen Modellen andere Unsicherheiten, die speziell die Interaktion zwischen den einzelnen Kornfraktionen betreffen, in Kauf genommen (vgl. z.B. Hunziker, 1995);
- im Vergleich zu den Modellversuchen scheinen in der Natur Turbulenz und Einbaumethode (lockerste mögliche Lagerung durch Schütten mittels Klappschuten während das Material im Labor anders eingebaut wird) eine deutlich größere Mobilität zu bewirken; die Reynoldszahl der Strömung ist im Modell bei Einhaltung des Froudeschen Modellgesetzes um den Faktor $\lambda_l^{3/2}$ (mit dem Längenmaßstab λ_l) kleiner als in der Natur (bei MQ und einem 1:10-Modell, wie es an der TU-Wien eigesetzt wurde: $Re_{Natur} \approx 4{,}7 \cdot 10^6$ und $Re_{Modell} \approx 150'000$) und Günter (1971) konnte zeigen, dass damit grundsätzlich geänderte kritische Shields-Zahlen (Bewegungsbeginn) verbunden sein sollten.

5.1 Zur Materialeffizienz

[150] Das wichtigste Argument für die Grobkornanreicherung ist die Materialeffizienz oder, allgemeiner formuliert, eine humanökologische Bewertung, und zwar unter den Aspekten der Nachhaltigkeit, der Material- und der Energieeffizienz, vgl. Klasz (2002) und Klasz et al. (2009b). Ist es ökologisch vertretbar, jedes Jahr hunderttausende Kubikmeter Kies zu transportieren und technisch zu manipulieren, ohne dass damit ein bleibender Stabilisierungserfolg gegeben ist? Jeder Kubikmeter Kies ist mit einem „ökologischen Rucksack“ (Weizsäcker et al., 1995) belastet, bestehend aus Energieverbrauch und Schadstoffemissionen (durch die Materialmanipulation), Landverbrauch und sonstige Belastungen (z.B. Lärmemissionen). Das gilt auch im Fall einer Materialanlieferung mittels Schiff oder Bahn, wenngleich die damit verbundenen Emissionen geringer als beim LKW-Transport sind. Nachhaltig (im engeren Sinn) ist eine Normalgeschiebezugabe schon allein deswegen nicht, weil die Sohlerosion nach einem allfälligen Stopp der Kieszugabe sofort wieder im ursprünglichen Ausmaß einsetzt. Diese Methode könnte aus dieser Sicht als reine Symptombekämpfung bezeichnet werden, als moderne Form des „Prinzips Sisyphos“ (Klasz, 2002; Klasz et al., 2009b).

[151] Diese Problematik besteht im Prinzip auch bei der granulometrischen Sohlverbesserung (im Sinn des FGPs), allerdings in einem stark reduzierten Ausmaß. Für die primäre Grobkieszuga-

be (also die erstmalige flächige Sohlbelegung) muss man etwa 2,35 Mio. Kubikmeter (inkl. einer Reserve für Nacharbeiten und baubedingte Imperfektionen von etwa 20 %) investieren, dafür reduziert sich das durchschnittliche Jahresdefizit, das im Zuge der Instandhaltung zu ergänzen sein wird, auf etwa 15% des derzeitigen Geschiebetransportvermögens (Rechenwert mit eingeschätzter größter Wahrscheinlichkeit: 52‘500 m^3/a). Über mittlere oder längere Zeiträume benötigt man für die granulometrische Sohlverbesserung deutlich weniger Material als mit der Normalgeschiebezugabe; je länger der Betrachtungszeitraum wird, desto günstiger fällt der Vergleich für die granulometrische Sohlverbesserung aus (z.B. nach 50 Jahren: ca. 5,0 Mio. m^3 gegen 17,5 Mio. m^3), vgl. auch Abb. 26a.

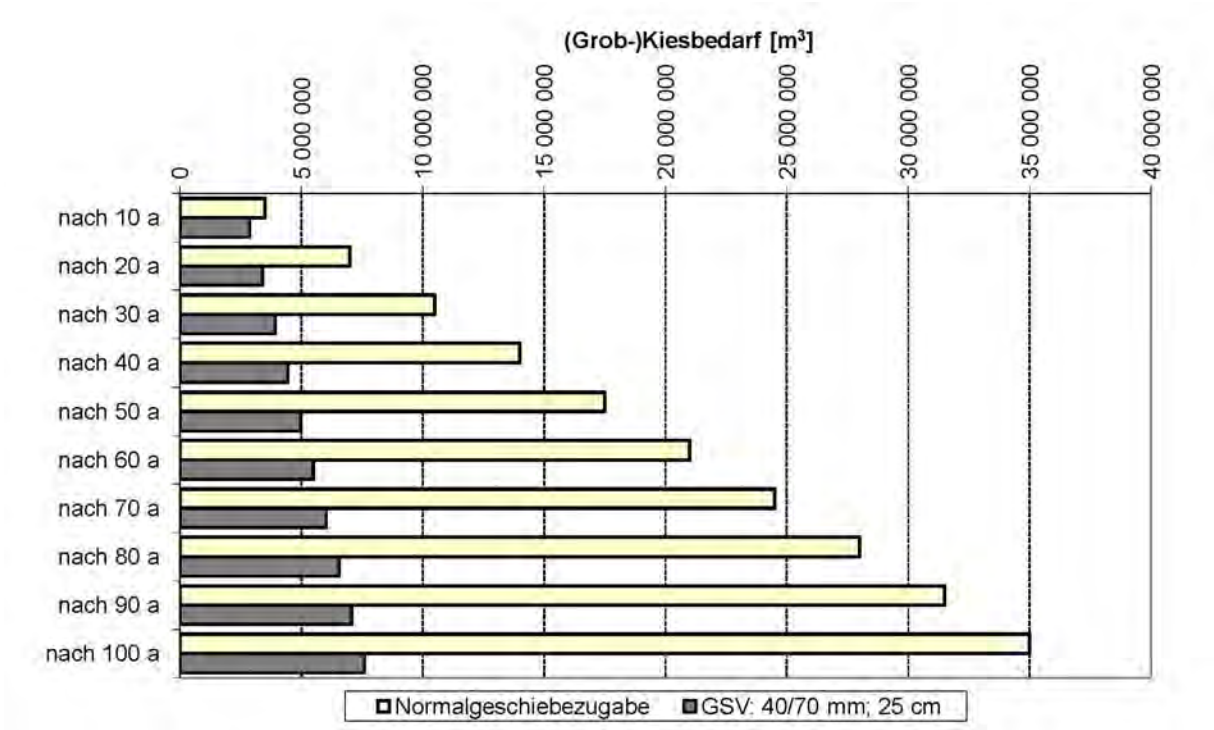


Abb. 26a: Zum Materialbedarf, Vergleich zwischen Normalgeschiebezugabe und granulometrischer Sohlverbesserung für verschiedene kalkulatorische Zeiträume (Ressourceneffizienz); Szenario A: gem. FGP. Quelle: Klasz et al. (2009b); die Werte wurden geringfügig verändert.

[152] Diese Berechnungen geben aber den Kenntnisstand zum Zeitpunkt der Planung des FGPs und ohne Naturversuch wieder, und sie verzichten, was die Normalgeschiebezugabe betrifft, auf jeden Versuch einer Optimierung. Im Folgenden (vgl. Pkt. [153]) wird die Materialbilanz nach folgenden Überlegungen überarbeitet:

- Berücksichtigung einer teilweisen Kreislaufführung (Rückführung des Geschiebeaustrages aus der Unterliegerstrecke), wodurch die von außerhalb des Systems anzuliefernde Kiesmenge deutlich reduziert werden kann,
- Berücksichtigung eines höheren Restgeschiebetransportvermögens bei der Variante mit GSV;

[153] Im Sinn der unter Abs. [152] genannten Aspekte wird eine Materialbilanz (Materialbedarf) mit geänderten Randbedingungen dargestellt:

- für die Geschiebezugabe: Abdecken des gesamten Geschiebetransportvermögens von 350‘000 m^3/a; während der ersten 10 Jahre ausschließlich aus der Oberliegerstrecke

(ohne Optimierung); danach (ab dem 11. Jahr): 80‘000 m^3/a aus der Oberliegerstrecke + 216‘000 m^3/a aus der Unterliegerstrecke (= Rückführung des größten Teiles des Geschiebeaustrages) + 54‘000 m^3/a Grobkies (zwecks Grobkiesanreicherung, 25% der Geschieberückführung, Ersatz des Abriebverlustes); „von außen“ werden also nur 80‘000+54‘000 =134‘000 m^3/a benötigt;

- pessimistischere Einschätzung der Reduktion der Transportintensität für das GSV-Material 40/70 mm, hier: 50% des bestehenden Transportvermögens (statt 15% wie beim Szenario A):

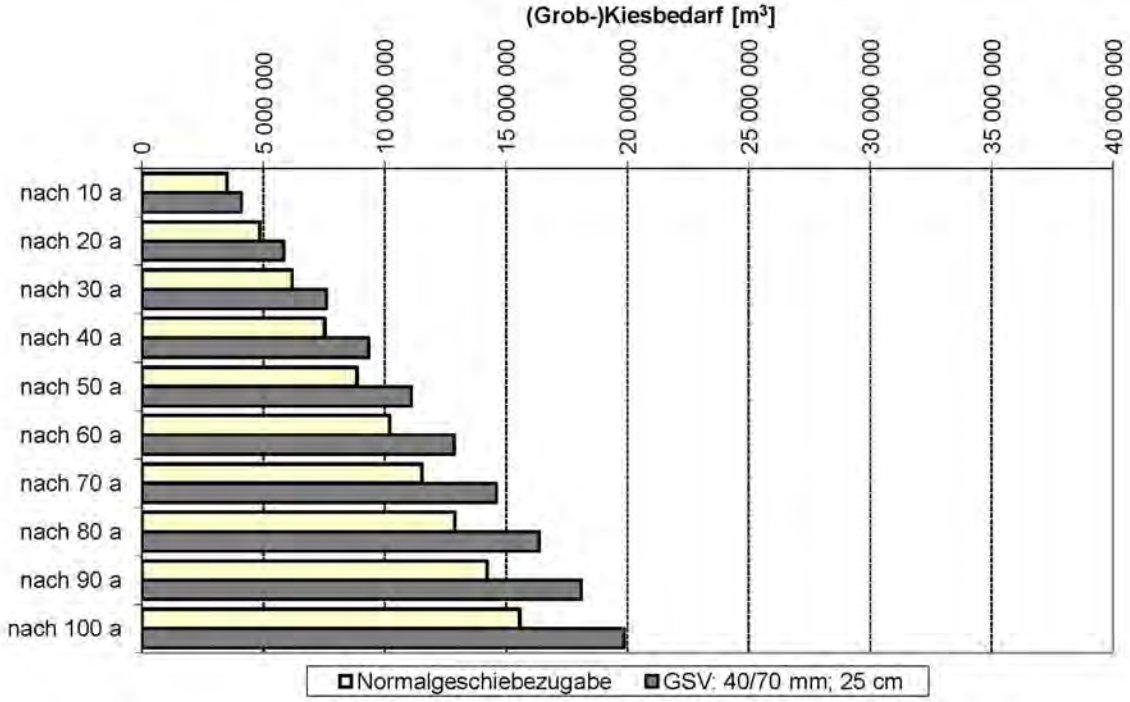


Abb. 26b: Zum Materialbedarf, Vergleich zwischen Normalgeschiebezugabe und granulometrischer Sohlverbesserung für verschiedene kalkulatorische Zeiträume (Ressourceneffizienz); Szenario B: Berücksichtigung von Optimierungsmöglichkeiten bei der Normalgeschiebezugabe (Rückführung aus der Unterliegerstrecke); andererseits pessimistischere Einschätzung der Reduktion der Transportintensität bei der GSV (50% des bestehenden Transportvermögens).

Mit diesen Rechenannahmen zeigt sich die Normalgeschiebezugabe, die dann bereits Teil einer optimierten Geschiebebewirtschaftung wäre, als effizienter als die Variante mit GSV, vgl. Abb. 26b. Über 50 Jahre würde man mit der Normalgeschiebezugabe rd. 8,9 Mio. Kubikmeter benötigen, mit der GSV rund 11,1 Mio. Kubikmeter. Im Übrigen könnte man auch für eine Variante mit GSV eine Optimierung durch (teilweise) Rückführung berücksichtigen, dies wäre allerdings mit höheren baubetrieblichen Aufwendungen als bei der Rückführung mit Normalgeschiebe (Siebung des Baggergutes, Verwendung des zu feinen Anteiles für andere Zwecke) verbunden. Es besteht auch die grundsätzliche Möglichkeit einer zusätzlichen Vergröberung, über die bisherige GSV-Obergrenze von 70 mm hinaus, etwa im Sinn eines Zugabematerials 32/120 mm.

Alle hier angegebenen Materialmengen entsprechen dem Bedarf des „von außen“ (d.h. von außerhalb der Strecke) zuzuliefernden Kies- bzw. Grobkieses; innerhalb der Strecke sind beim Szenario „B“ größere Mengen in Bewegung: rund. 216‘000 m^3/a wären mit dem Schiff

über eine Strecke von rund 30 km bergwärts zu transportieren. Die monetäre Bewertung der Gesamtheit dieser Transporte erfolgt in Kap. 7.

[154] In einer ersten wirtschaftlichen Überlegung kann das Verhältnis zwischen den Kosten für unvergröbertes Material (‚Normalgeschiebe') zu vergröbertem Material dem Nutzen, also der Abnahme der Transportintensität gegenüber gestellt werden. Wenn die Kosten (netto) für unvergröbertes Material (Rückführung aus der Unterliegerstrecke, also aus Stauwurzel/Stauraum von Gabčikovo) bei rund 16,5 €/m^3 liegen (vgl. Kap. 7.3) und jene für vergröbertes Material (32/120 mm oder ähnlich; Zulieferung von „außen") bei etwa 35,3 €/m^3 (vgl. Kap. 7.4), also im Verhältnis von rd. 16,5/35,3 ≈0,47, dann wäre eine Vergröberung in erster Näherung dann wirtschaftlich, wenn damit für diese Fraktion das Geschiebetransportvermögen auf unter 47% des derzeitigen Wertes reduziert werden kann, und sie ist im gleichen Sinn unwirtschaftlich, wenn das Transportvermögen für diese Fraktion über 47% des derzeitigen Wertes liegt.

5.2 Sohlvergröberung und Schifffahrt[60]

[155] In schiffbaren Flüssen wird jede stärkere Sohlvergröberung aus nautischer bzw. schifffahrtstechnischer Sicht kritisch bewertet, vgl. u.a. Strobl (1999). Denn damit nimmt zwangsläufig die Häufigkeit von größeren Körnern an der Sohle zu. Wenn ein mit Schiffsschrauben angetriebenes Schiff mit geringerem Abstand (Flottwasser) über einer solchen vergröberten Sohle fährt, dann kann der Sog im Zulauf der Schiffsschrauben so stark werden, dass Steine von der Flusssohle hochgehoben werden und mit hoher Geschwindigkeit durch den Querschnitt der Schiffsschraube transportiert werden; schlagen die Steine dabei auf die Schiffsschrauben („Steinschlag"), dann kann es dort zu mechanischen Beschädigungen kommen. Das Schadensausmaß hängt nach vorliegenden Gutachten (Strobl, 2002; Strasser, 2003) und Erkenntnissen von verschiedenen Faktoren ab, u.a.

- der Korngrößenverteilung an der Sohle,
- dem Abstand zwischen Schiffsschraube und Sohle,
- der Drehzahl bzw. Leistung des Propellers,
- den nautischen Bedingungen (Fahrbedingungen, z.B. der Geschwindigkeit des Schiffes über Grund),
- der Form bzw. Bauart des Propellers,
- der Geometrie des Schiffes im Antriebsbereich am Heck;

[156] Beide vorbereitend zum FGP erstellten Gutachten (Strobl, 2002; Strasser, 2003), die im Übrigen auf völlig unterschiedliche Methoden aufbauen, stimmen in ihren wesentlichen Ergebnissen weitestgehend überein:

- durch die mit der GSV (Zugabematerial 40/70 mm) verbundene Vergröberung der Sohle ist grundsätzlich ein (gegenüber dem Bestand) erhöhtes Schädigungsrisiko für Schiffsschrauben gegeben;
- dieses zusätzliche Schädigungsrisiko kann durch Vergrößerung des Sicherheitsabstandes (Flottwasser) zwischen Sohle und Schiff kompensiert werden; in der Gesamtschau kann dafür ein Wert von etwa 3 dm festgesetzt werden;

---

60 Die Argumentation in diesem Teilkapitel entspricht weitgehend einem Referat, das am 07.09.2012 im ‚Integrierten Projekttreffen' gehalten wurde, im Folgenden auch: Klasz (2012).

- das Beschädigungsrisiko ist auch von anderen Faktoren (Propellerleistung, Bauweise und Form des Propellers, Schiffsgeometrie, nautische Bedingungen) abhängig, besonders kritisch sind Anfahr- bzw. Stoppsituationen;
- ein kritischer Steindurchmesser, ab dem mit einer Beschädigung von Schiffsschrauben erst zu rechnen ist, kann nicht angegeben werden; beide Gutachten schätzen jedenfalls Steine der Fraktion 40/70 mm grundsätzlich für kritisch ein; Strasser (2003) weist darüber hinausgehend rechnerisch nach, dass der Einschlag von Steinen ab einer Größe von etwa 20 mm im Propellermaterial Spannungen über der Verformungsgrenze und damit Schäden verursachen kann;

[157] Der Preis für die Sohlvergröberung ist somit, unter Berücksichtigung dieser Phänomene:

- entweder ein erhöhtes Schädigungsrisiko für Schiffsschrauben
- oder die Reduktion der nutzbaren Abladetiefe (bei gegebener Fahrwassertiefe)
- oder die Notwendigkeit (bei gegebener Abladetiefe) die Fahrwassertiefe durch flussbauliche Maßnahmen zu vergrößern (erhöhter Verbauungsgrad mit Regulierungsbauwerken und/oder verstärkte Instandhaltungsbaggerungen).

Dazu liegen auch verschiedenste, in Deutschland (im Allgemeinen durch die deutsche BAW) durchgeführte Untersuchungen vor, die ebenfalls die Notwendigkeit der Erhöhung des Flottwassers bei Sohlvergröberung bestätigen. Beispielsweise wird in BAW (2000) ein Diagramm veröffentlicht, vgl. Abb. 27, das bis zu einem mittleren Korndurchmesser von 25 mm einen Mindestsohlabstand von 30 cm und bei mittleren Korndurchmessern von über 200 mm einen Abstand von 85 cm voraussetzt, dazwischen wird (mit dem Verweis: „Ansaugen von Steinen!“) ein linearer Verlauf angegeben.

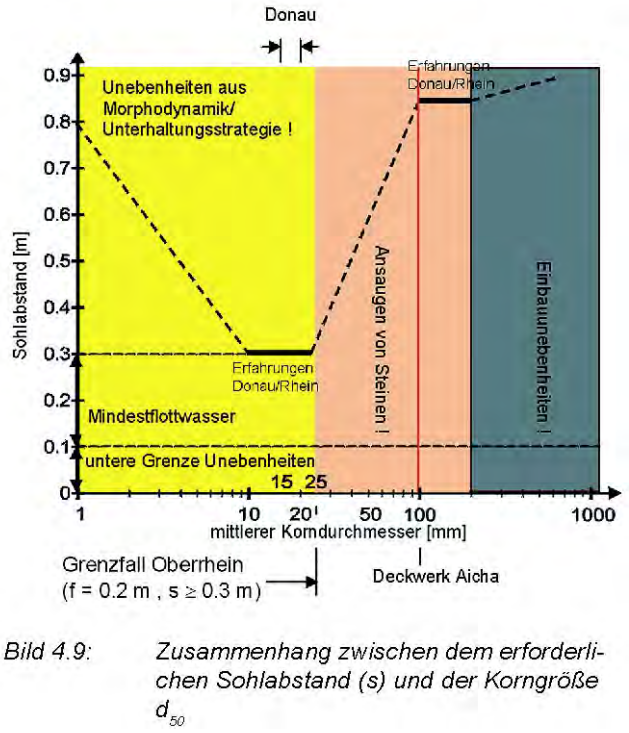


Abb. 27: Angaben zum erforderlichem Sohlabstand in Abhängigkeit zum mittleren Korndurchmesser gem. BAW(2000).

[158] Im Zusammenhang mit der GSV und der darüber erzielbaren Fahrwassertiefe spielen auch zusätzliche nautische, wasserbauliche und baupraktische Überlegungen eine Rolle. Im Einzelnen sind dies u.a. (a.) der Aspekt der Instandhaltung, (b.) die Frage der Bautoleranzen und (c.) der hydrodynamisch bedingte Sunk:

a) Instandhaltung: Durch eingetragenes Geschiebe und Kiesdünen wird es in einzelnen Teilen einer durch die GSV belegten und vergröberten Sohle immer wieder zu – zumindest temporären – Auflandungen kommen. Läge die GSV (Soll-Sohle) 25 dm unter RNW und wäre gleichzeitig eine Fahrwassertiefe von 25 dm unter RNW zu gewährleisten, dann wäre auch jede derartige Auflandung für die Schifffahrt störend und zu räumen. Solche Baggerungen hätten aber das erhebliche Risiko, dass damit die darunter befindliche GSV-Lage beschädigt wird und teilweise abgetragen würde, weil in der Praxis kein Baggergerät derart präzise arbeiten kann (Baggertoleranzen). Mit der beim Naturversuch Bad Dt. Altenburg gewählten und behördlich bewilligten Vorgangsweise (GSV-Oberkante 28 dm unter RNW oder tiefer) ist dieses Problem beherrschbar, weil man damit bis zu 3 dm starke Auflandungen (über der GSV) tolerieren kann, ohne baggern zu müssen, und bei stärkeren Auflandungen eine 3 dm starke Sicherheitshöhe zwischen GSV-Oberkante und der herzustellenden Baggersohle hätte (Klasz, 2012).

b) Bautoleranzen: In der Praxis und unter den an der Donau gegebenen realen Bedingungen kann niemand für die GSV eine exakte Schütt-Oberkante garantieren; vielmehr sind realistische Bautoleranzen zu berücksichtigen. Läge die projektgemäße GSV-Oberkante exakt 25 dm unter RNW, dann lägen tatsächlich und unter Berücksichtigung dieser Schütt-Toleranzen, die derzeit mit etwa $\pm$ 1 dm eingeschätzt werden, Teile der vergröberten Sohle höher, derart, dass dort Fahrwassertiefen unter 25 dm gegeben wären. Mit der beim Naturversuch Bad Dt. Altenburg gewählten und behördlich bewilligten Vorgangsweise (GSV-Oberkante höchstens 28 dm unter RNW) ist hingegen eine ausreichende Bautoleranz gegeben (Klasz, 2012).

c) Hydrodynamischer Sunk, der aus mechanischen Gründen mit jeder Relativbewegung zwischen Wasser und Schiff verbunden ist: durch die Verdrängungs- bzw. Rückströmung im Umfeld des Schiffes herrschen dort lokal höhere Geschwindigkeiten, also Beschleunigungseffekte, was (im Sinn des Bernoulli-Effektes) mit dem Absinken des Wasserspiegels rund um das Schiff und damit mit einem Absinken des Schiffes (gegenüber einem reinen Treiben, also einer Fahrt ohne Relativbewegung zwischen Schiff und Wasser) verbunden ist; die Stärke dieses Sunks hängt von einer Vielzahl von Faktoren ab, kann aber unter realistischen nautischen Verhältnissen durchaus im Bereich zwischen 1 und 3 dm liegen. Entscheidend ist, dass dadurch der Sicherheitsabstand zwischen Schiff und Sohle reduziert wird; ein ohne Relativgeschwindigkeit (also z.B. in einem Hafen) mit 25 dm abgeladenes Schiff hat bei 28 dm Fahrwassertiefe jedenfalls nicht 3 dm Flottwasser, sondern weniger (Klasz, 2012).

[159] Die hier genannten Gründe (Pkt. [156], [157]und [158]) waren beim Naturversuch Bad Dt. Altenburg für die Festlegung einer Mindestfahrwassertiefe von 28 dm (unter RNW) über den vergröberten Teilen der Sohle wesentlich. Dieser Soll-Wert von 28 dm ist im günstigsten Fall mit einer nutzbaren Fahrwassertiefe, die auch noch nicht der Abladetiefe entspricht, von 25 dm verbunden (Klasz, 2012). Verzichtet man hingegen auf eine Sohlvergröberung, dann entfällt die Notwendigkeit eines zusätzlichen Sicherheitsabstandes.

6 Optimierte Geschiebebewirtschaftung

[160] Im Gegensatz zu einer reinen Geschiebezugabe werden bei einer Geschiebebewirtschaftung auch die anderen für den Geschiebehaushalt relevanten Prozesse berücksichtigt, also beispielsweise Instandhaltungsbaggerungen (Geschiebeumlagerungen), Kolksicherungen oder auch flussbauliche Maßnahmen (Buhnenanpassungen, Uferrückbauten, …) und all dies wird in ein Gesamtkonzept integriert. Dabei sind wirtschaftliche, ökologische, nautische, wasserwirtschaftliche und rechtliche Aspekte relevant.

[161] Zusätzlich zur ‚Hardware' einer Geschiebebewirtschaftung, also den baulichen Maßnahmen, ist die ‚Software' von zentraler Bedeutung, also Planung, Steuerung und Erfolgskontrolle (bzw. Monitoring) und in diesem Zusammenhang wird das Prinzip eines adaptiven Managements in den Vordergrund gestellt.

6.1 Flussbauliche Elemente einer optimierten Geschiebebewirtschaftung für die Strecke östlich von Wien:

[162] Im Sinn einer umfassenden und optimierten Geschiebebewirtschaftung wären - aufbauend auf bereits in Klasz (2002) und Klasz (2011) skizzierten Überlegungen - folgende flussbauliche Maßnahmen (Elemente) miteinander zu kombinieren:

- Kombination einer vollen Geschiebebewirtschaftung mit der laufenden VHP-Normalgeschiebezugabe, derart, dass das volle Geschiebedefizit der Strecke kompensiert bzw. sogar leicht überkompensiert wird, vgl. Kap. 6.1.1;
- Rückführung des im Stauraum von Gabčikovo liegen bleibenden Geschiebes und Wiederverklappung dieses Materials möglichst weit stromauf, vgl. Kap. 6.1.2;
- gezielte Vergröberung bestimmter Sohlbereiche und Dämpfung des Geschiebeaustrages (ähnlich wie bei der Granulometrischen Sohlverbesserung), vgl. Kap. 6.1.3;
- Differenzierung des Zugabematerials nach flussmorphologischen Kriterien (in tieferen Kolken deutlich gröber; in Furten und seichteren Bereichen feiner), vgl. Kap. 6.1.3;
- Einbeziehung von Baggergut aus der Instandhaltung der Fahrrinne (Geschiebeumlagerung; Transport generell bergwärts und ggf. Anreicherung des Baggergutes mit Grobkorn), vgl. Kap. 6.1.4;
- lokale Kolkverbauten (Kolksicherungen) als spezielle Sicherung gegen einen Sohldurchschlag, vgl. Kap. 6.1.5;
- weitere Forcierung des Uferrückbaues (mit geringfügiger Verbreiterung des bordvollen Querschnittes) und der Gewässervernetzung, damit (wenngleich geringfügige) Reduktion des Geschiebetransportvermögens und Remobilisierung von Kies aus Uferzonen und Nebenarmen, vgl. Kap. 6.1.6;
- moderate Anhebung der Wasserspiegellagen unter niederen und mittleren Wasserführungen durch Sohlanhebungen (forcierte Geschiebeeinträge und abschnittsweise - in tieferen Zonen - flächige Grobkiesschüttungen, vgl. Kap. 6.1.8;

6.1.1 Erhöhung der Zugabemengen und Kombination mit der VHP-Geschiebezugabe

[163] Der notwendige erste Schritt einer optimierten Geschiebebewirtschaftung besteht (bei Fortführung der VHP-Geschiebezugabe) in der Erhöhung der Zugabemengen auf das Niveau des vollen Geschiebetransportvermögens oder nach Möglichkeit sogar – um eine schwache Auflandungstendenz einzuleiten – knapp darüber. Bei einem aus hydrographischen Beobachtungen und Befunden ermittelten langjährig gemittelten Geschiebeaustrag von derzeit rund 350‘000 m^3/a (vgl. Pkt. [50]) und einer gemittelten VHP-Zugabemenge von rund 190‘000 m^3/a (vgl. Pkt. [126] und [127]) liegt der zusätzliche Kiesbedarf (Kornverteilungslinie entsprechend des bestehenden Sohlmaterials, etwa 0,63/120 mm mit D_{50} ca. 25 mm) bei rund 160‘000 m^3/a.

[164] Sofern eine schwache Auflandungstendenz intendiert ist, was aus ökologischer Sicht jedenfalls gewünscht ist (stärkere Beaufschlagung der Seitenarme; zumindest teilweise Kompensation der Wasserspiegelabsenkungen der letzten Jahrzehnte), dann wären entsprechend erhöhte Zugaberaten zweckmäßig; mit zusätzlichen rund 100‘000 m^3/a könnten (unter Voraussetzung einer flussbaulich und betrieblich geeigneten Umsetzung) über eine Länge von 40 km eine mittlere Aufhöhungstendenz von 1 cm/a erzielt werden; dabei wird eine hydraulisch relevante Sohlbreite (für NW- bis MW) von rund 250 m vorausgesetzt, vgl. auch Tab. 3.

[165] Die VHP-Geschiebezugabe wäre fortzusetzen (vgl. Kap. 4.2 und Schimpf et al., 2009) und andererseits mit den hier diskutierten zusätzlichen Maßnahmen zumindest organisatorisch abzustimmen, unter Einbeziehung der dafür zuständigen Behörde (Oberste Wasserrechtsbehörde). Unter bestimmten rechtlichen Voraussetzungen (zivilrechtliche Einigung mit der VHP und verwaltungsrechtliche Genehmigung) könnten beide Zugabe-Programme auch gemeinsam optimiert werden, bis hin zu einer gemeinsamen betrieblichen Durchführung bzw. einer Fusion der beiden Programme. Dies wäre zweckmäßig und sinnvoll, ist aber keine zwingende Voraussetzung für eine erweiterte und umfassende Geschiebebewirtschaftung.

[166] Solange keine rechtlich verbindliche Vereinbarung mit der VHP geschlossen werden kann (inkl. der erforderlichen Zustimmung durch die Oberste Wasserrechtsbehörde), wären alle zusätzlichen Geschiebezugaben stromab der VHP-Erhaltungsstrecke durchzuführen, also etwa zwischen Strom-km 1910 und 1903. Dies wäre im Übrigen auch im Interesse der VHP, weil es der Versteilung am unteren Ende der Erhaltungsstrecke entgegen wirkt, hätte diesbezüglich also auch kein Konfliktpotential.

6.1.2 Geschieberückführung aus der Unterliegerstrecke und Kompensation der Kornverkleinerung

[167] Bereits im derzeitigen Zustand werden erhebliche Mengen an Kies im Stauraum von Gabčikovo (etwa stromab der Marchmündung, über die gemeinsame slowakisch / österreichische Grenzstrecke und, mit mutmaßlich feinerem Material, bis Bratislava) abgelagert. Die Menge muss dem Geschiebeaustrag (aus der Strecke Wien-Freudenau) abzüglich der Abriebverluste entsprechen, das sind im langjährigen Durchschnitt etwa 250‘000 m^3/a, möglicherweise auch etwas mehr (Klasz, 2011). Größere Baggermengen (Instandhaltung) fallen immer wieder beim Wendeplatz Theben (ca. Strom-km 1879,4) an, dort wäre auch ein günstiger Bereich für einen Geschiebefang. Diese Auflandungen müssen schon wegen der damit verbundenen Anhebungen der HW-Spiegellagen geräumt werden (Kompensationsbaggerungen), wobei die Priorität seitens der slowakischen Wasserstraßenverwaltung der-

zeit aus Gründen des HW-Schutzes eher auf die mengenmäßig überwiegenden feinkörnigeren Ablagerungen weiter stromab gesetzt wird. Eine Geschieberückführung wäre also im gemeinsamen Interesse der Republik Österreich und der Republik Slowakei. Mit dem Material dieser Kompensationsbaggerungen könnten - abhängig vom Ausmaß der Abriebverluste (vgl. Abs. [75]) etwa 75 bis 80% des gesamten Kiesbedarfes gedeckt werden. Die Kornverkleinerung durch Abrieb müsste allerdings durch Beimischung einer Grobkornfraktion kompensiert werden, sh. Pkt. [171].

[168] Aus rein fachlicher Sicht wäre auch, falls die Kooperation mit der Slowakei schwierig ist, ein Geschiebefang weiter stromauf, also im rein österreichischen Abschnitt, möglich, und zwar zwischen Hainburg und Marchmündung, vorzugsweise in der Furt Röthelstein (ca. Strom-km 1882).

[169] Die Rückführung von Geschiebe aus dem Stauraum bzw. Stauwurzelbereich von Gabčikovo hätte im Übrigen wirtschaftliche und ökologische Vorteile:

- wirtschaftlicher Aspekt: die Kiesrückführung ist – verglichen mit einem Ankauf aus außen liegenden Kiesgruben (die nächsten liegen im Marchfeld) – eine relativ preisgünstige Variante, während die wirtschaftlich noch günstiger zu erschließenden Quellen in der Oberliegerstrecke (Stauwurzel Altenwörth, Traisenmündung) bereits von der VHP genutzt werden, sh. auch Pkt. [121];
- ökologischer Aspekt: aufgrund der geringen Transportweite (von rund 30 bis 40 km), dem Entfall aller LKW-Transporte und der zur Kompensation der Stauraumverlandung ohnehin (zumindest langfristig gesehen) bestehenden Notwendigkeit, dieses Material zu baggern, ist diese Variante auch ökologisch gut vertretbar;

[170] Mit der Zufuhr und Beigabe von Grobkies einer gröberen Kornfraktion (etwa 16/120 mm oder ähnlich) wären primär zwei Zielrichtungen bzw. Anwendungsbereiche verbunden:

a) einerseits die Kompensation der Abrieb- und Sortierverluste bei Verwendung von Baggergut aus der Unterliegerstrecke (Stauwurzel bzw. Stauraum des KW Gabčikovo);

b) andererseits die Dämpfung des Geschiebeaustrages (bzw. des Geschiebetransportvermögens des Zugabematerials) und damit eine langfristige Reduktion der erforderlichen Zugabemengen bei einer über den Aspekt (a.) hinausgehenden, diesbezüglich also überschießenden Form der Sohlvergröberung;

[171] Aus dem Vergleich der gemittelten bzw. idealisierten Kornverteilungslinien für die Unterliegerstrecke mit jenen der Einbaubereiche (vgl. Pkt. [76]) können Kornverteilung und Mengen (relativ zu den Rückführkubaturen) ermittelt werden, derart, dass die Verluste durch Abrieb und Sortierung ausgeglichen wird:

Tabelle 16: Ermittlung der erforderlichen Zugabefraktion (Menge und Kornverteilung) zum Ausgleich der Abriebsverluste (inkl. Sortierung)

KV(Strom-km 1910)			$a_{(D)}$ [km^{-1}]	Δp_i [Gew.%]	a_i [km^{-1}]	Verkleinerung $\Delta p_i \cdot e^{-a_i \cdot s}$	$\Delta p_i''$ [Gew.%]	$\Delta p_i'$ [Gew.%]
	p_i [Gew.%]	D_i [mm]						
D_{100}	100.0%	130.86	0.013	0.250	0.013	0.169	0.081	**0.325**
D_{75}	75.0%	46.44	0.013	0.250	0.013	0.169	0.081	**0.325**
D_{50}	50.0%	23.99	0.013	0.250	0.010	0.187	0.063	**0.256**
D_{25} D_{min}	25.0% 0.0%	11.12 0.63	0.0065 0	0.250	0.003	0.227	0.023	**0.094**
Summe =				1.000		0.752	**0.248**	1.000

Parameter: $a_{(D)}$: Verkleinerungsfaktor (Abrieb und Sortierung) für die einzelnen Stützstellen D_i (z.B. D_{75}, D_{50}, …); a_i: Verkleinerungsfaktor (Abrieb und Sortierung) für die einzelnen Fraktionen (durch Mittelung aus Ober- und Untergrenze); Δp_i: Gewichtsanteil der einzelnen Fraktionen (vor Transport mit Abrieb und Sortierung); $\Delta p_i''$: Gewichtsanteil der einzelnen Fraktionen (nach Transport mit Abrieb und Sortierung), noch nicht normiert; $\Delta p_i'$: Gewichtsanteil der einzelnen Fraktionen (nach Abrieb und Sortierung), auf 100% normiert;

In dieser Berechnung wird jede einzelne Fraktion des Sohlmaterials des Zugabebereiches bei Strom-km 1910 (mit Fraktionsgewicht Δp_i) mit dem fraktionsweisen Verkleinerungskoeffizient a_i [km^{-1}] und der Distanz s (hier 30 km) entsprechend des Sternberg'schen Abriebgesetzes (sh. Pkt. [76]) reduziert:

$$\Delta p''_i = \Delta p_i \cdot e^{-a_i \cdot s} \qquad \text{Gl. (5)}$$

und dann so normiert, dass die Summe der Gewichtsanteile $\Delta p_i''$ genau 100% ergibt. Die zugehörigen Kornverteilungen werden in Abb. 28 dargestellt.

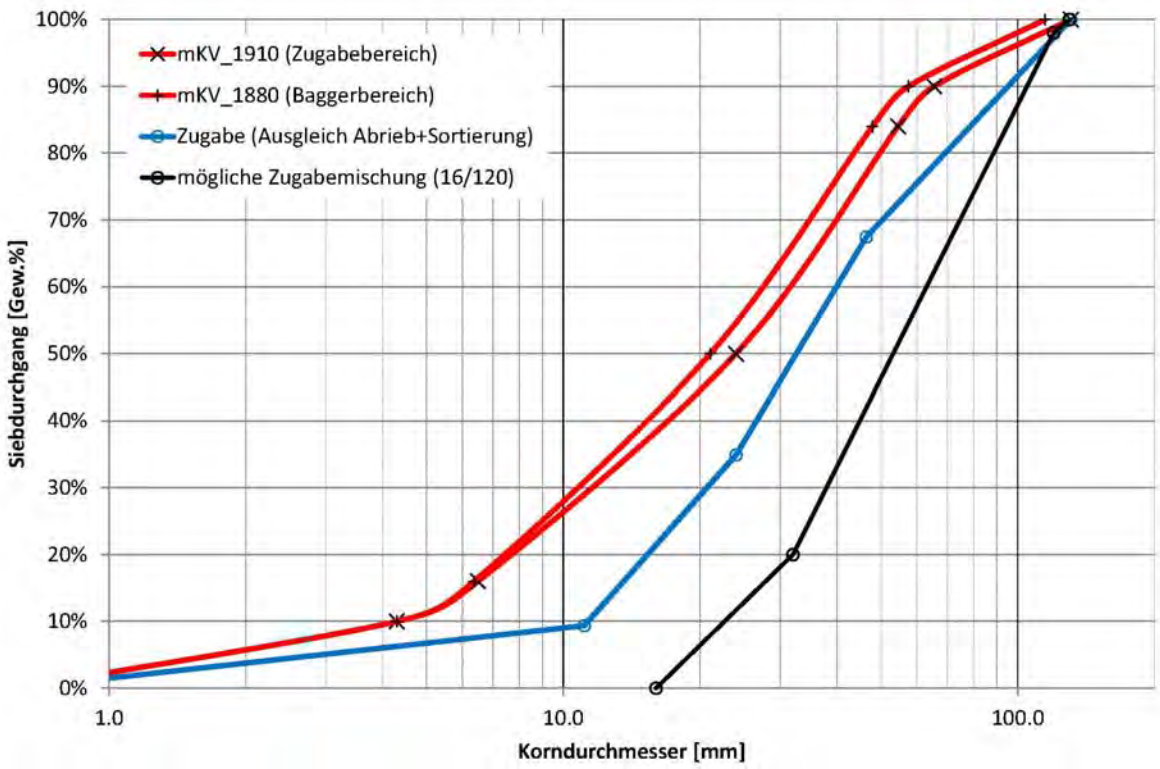


Abb. 28: Zur Berechnung der erforderlichen Zugabemischung zwecks Kompensation der mit dem Transport verbundenen Verluste (Abrieb und Sortierung). Die blaue Linie entspricht der erforderlichen Kornverteilung für die Kompensation der mit dem Transport über 30 km (von Strom-km 1910 bis 1880) verbundenen Verkleinerungsverluste (Abrieb und Sortierung), unter Verwendung der in Tab. 16 angegebenen fraktionsabhängigen Verkleinerungskoeffizienten a_i.

Das Ergebnis ist einerseits ein Wert von 24,8% für den gesamten Verkleinerungsverlust (Abrieb und Sortierung); diese Geschiebemasse geht „verloren", präziser: sie wird in andere Transportformen (primär Schwebstoff) übergeführt und ist somit bei Kreislaufführung zu ersetzen, wenn die Verkleinerung kompensiert werden soll. Die dafür erforderliche Kornverteilung wird in Abb. 28 graphisch dargestellt: blaue Linie; sie hat einen D_{50}-Wert von etwa 32 mm und einen D_{max} (in Übereinstimmung mit dem D_{max} des Zugabebereiches) von rd. 131 mm. Jede in dieser Darstellung „rechts davon" liegende Körnung (z.B. die schwarze Linie 16/130 mm) wäre noch gröber, würde also zusätzlich zur Kompensation der mit dem Transport verbundenen Verkleinerungseffekte eine darüber hinausgehende („überschießende") Sohlvergröberung ergeben, ohne dabei aber den Bereich der natürlich in der Donau befindlichen Kornverteilung zu verlassen

[172] Die hier (unter Pkt. [171]) angegebene Berechnung gibt die Größenordnungen an. In der Praxis eines adaptiven Managements könnte man darauf verzichten, man müsste lediglich (in gewissen Zeitabständen) die mittlere Kornverteilungen des (unteren) Baggerbereiches und jene des (oberen) Zugabebereiches bestimmen, miteinander vergleichen, und daraus die erforderliche Zugabemischung bestimmen; die Kenntnis der Verkleinerungsfaktoren a_i ist bei dieser Vorgangsweise nicht erforderlich.

[173] Setzt man für die Geschieberückführung Mengen zwischen etwa 128'000 m^3/a (Initialphase, sh. auch Kap. 6.2) und 220'000 m^3/a (Langfristszenario, sh. auch Kap. 6.3) voraus, dann läge die damit erforderliche Zufuhr gröberen Kieses (Fraktion 16/120 mm oder ähnlich) bei 32'000 m^3/a bzw. 55'000 m^3/a; Diese Mengen wären ausreichend, den mit der Kreislaufführ-

rung verbundenen Verkleinerungsverlust (Abrieb und Sortierung) zu kompensieren und würden langfristig gesehen auch eine gewisse Sohlvergröberung an der Donausohle ermöglichen, wodurch der Geschiebetransport insgesamt etwas reduziert werden könnte. Würde man darauf verzichten, dann würde das im Spiel befindliche Geschiebe allmählich feiner werden, und damit würde der Geschiebeaustrag im Lauf der Zeit zunehmen.

[174] Der erforderliche Grobkies der Fraktion 40/70 mm oder (im Sinn einer weiter gestuften Körnung) der Fraktion 16/120 mm (oder ähnlich) ist in den Kiesgruben im Wiener Raum grundsätzlich verfügbar. Im Rahmen des Naturversuches werden derzeit (Dezember 2013) 4‘000 m^3/w der Fraktion 40/70 mm bzw. alternativ dazu 3000 m^3/w der Fraktion 32/120 mm ohne besondere Schwierigkeiten aus Kiesgruben bei Markgrafneusiedel (der Fa. Cemex) bzw. bei Fischamend (Fa. Habau) geliefert. Material dieser Korngröße wird für die herkömmliche Betonherstellung nicht verwendet, fällt aber laufend im Kiesabbau an.

6.1.3 Zusätzliche Grobkornanreicherung und Differenzierung nach flussmorphologischer Situation

[175] Tiefer gelegene und stärker strömungsexponierte Zonen (speziell die langgestreckten Kolke) können durch gezieltes Verklappen gröberen Zugabematerials gegen Sohlerosion resistenter gemacht werden, zumindest im Sinn der Granulometrischen Sohlverbesserung (Zugabematerial 40/70 mm oder ähnlich), ggf. auch noch gröber (z.B. 32/120 mm) und im Extrem im Sinn der von Zottl & Erber (1987) und Ogris et al. (1988) vorgesehenen ‚Grobkornzugabe zur Deckschichtbildung‘ (Zugabematerial 60/150 mm oder 60/180 mm oder ähnlich). Die im Zuge der UW-Sicherung zum Kraftwerk Wien-Freudenau durchgeführte Kolksicherung (mit einem Sohldeckwerk aus Wasserbausteinen, vgl. Pkt. [132]) bietet dafür eine zusätzliche Referenz (Klasz, 2011).

[176] Die Furten sind aus flussmorphologischer und auch aus nautischer Sicht besonders sensible Bereiche. Im Sinn einer Optimierung (und in Übereinstimmung mit dem FGP) sollte man speziell dort auf jede Sohlvergröberung (Granulometrische Sohlverbesserung) verzichten und entweder überhaupt keinen Zugaben vornehmen oder, falls dort stärkere Eintiefungen zu beobachten sind, lediglich einen Belag aus Normalgeschiebe (D_m ca. 25 bis 30 mm) schütten (Klasz, 2011).

[177] Mit der Sohlvergröberung in den Kolken, aber unter Aussparung aller Furten und sonstigen seichten Bereiche (Haufenränder), ließe sich der Geschiebeaustrag insgesamt reduzieren, je nach mittlerem Korndurchmesser der vergröberten Sohle und Belegungsgrad. Das hätte im Rahmen der Geschiebebewirtschaftung also den Charakter einer Materialinvestition (Klasz, 2002), d.h. durch einen zusätzlichen Aufwand in der Bauphase wird der Instandhaltungsaufwand reduziert. Eine erste Überlegung zur Wirtschaftlichkeit wurde bereits unter Pkt. [154] angegeben: demgemäß müsste eine von außen anzuliefernde Grobkornmischung (etwa der Fraktion 16/120 mm oder ähnlich), wenn sie um den Faktor 2 teurer ist, eine mit den Faktor $^1/_2$ geringere oder noch tiefere Transportintensität (mittlere Transportgeschwindigkeit unter Berücksichtigung aller geschiebehydraulisch relevanten Effekte, wie z.B. Einmischung) zeigen, damit sie noch wirtschaftlich zweckmäßig ist. Geschiebehydraulische Berechnungen zeigen bereits für die 40/70 mm Zugabefraktion, wie sie im FGP vorgesehen ist, viel stärkere Abnahmen der Transportintensität (DonauConsult, 2006), aus den unter Pkt. [149] genannten Aspekten und unter Berücksichtigung der ersten Ergebnisse aus dem Naturversuch Bad Dt. Altenburg scheint dies aus heutiger Sicht aber viel zu optimistisch. Andererseits sind ge-

eignete Methoden (Beobachtung von Tracersteinen unterschiedlicher Fraktionen) verfügbar (Gölz, 2002; DWA, 2012; Liedermann et al., 2012a, 2012b), um diese Frage empirisch zu klären.

[178] Mit der Flexibilisierung des Konzeptes der Sohlvergröberung könnte man sich auch von der Forderung nach erhöhten Flottwassertiefen (erhöhte Gefahr der Beschädigung von Schiffsschrauben, vgl. Strobl, 2002; Strasser, 2003 und Kap. 5.2) frei machen, denn diese Schraubstrahlproblematik ist nur in den seichten Abschnitten und damit hauptsächlich in den Furten relevant. Im Übrigen gibt ein Grobkiesbelag in Furtzonen ohnehin keinen Sinn, zumindest in Hinblick auf die Sohlstabilität, wenn dort eine örtliche Auflandungstendenz weiterbesteht, was in den Furten überwiegend zu erwarten ist, vgl. auch Klasz (2002). Dieser Gedanke der Nichtvergröberung von Furten ist auch im FGP enthalten (dort über den Aspekt einer „adaptive Baudurchführung“), doch wäre die Wahrscheinlichkeit einer eigendynamischen und übermäßigen Sohlerosion und damit einer später doch erforderlichen Sohlvergröberung beim gegenständlichen Konzept viel geringer, weil die Geschiebefrachten deutlich höher als beim FGP ausfallen (Klasz, 2011).

6.1.4 Einbeziehen der Instandhaltungsbaggerungen

[179] Seit einigen Jahren wird von der via donau das Baggermaterial (zur Aufrechterhaltung der für die Schifffahrt erforderlichen Fahrwassertiefen) grundsätzlich stromauf der Baggerstelle verklappt; in diesem Sinn leisten solche Instandhaltungsbaggerungen einen gewissen Beitrag zur Geschiebebewirtschaftung. Setzt man für den mittleren Transportweg von Körnern, die aus der Sohle erodiert werden, einen Wert von etwa 30 km, dann haben solche Baggerungen abhängig von Baggermenge M_B [m^3/a] und durchschnittlicher bergwärtiger Transportdistanz d_B [km] folgendes „Zugabeäquivalent“ MG_B:

$$MG_B = M_B \cdot \frac{d_B}{30} \qquad \text{Gl. (6)}$$

Wenn beispielsweise 120‘000 m^3/a Baggergut durchschnittlich um 3 km bergwärts transportiert werden, dann würde dies einem Zugabeäquivalent von etwa 12‘000 m^3/a entsprechen. Abriebverluste sind bei dieser Abschätzung (wegen der geringeren Transportdistanzen) nicht enthalten, könnten aber grundsätzlich und einfach (im Sinn von Pkt. [171]) berücksichtigt werden.

[180] Bei mittleren und höheren Wasserführungen wird das bergwärts transportierte und in Kolken verklappte Baggergut wieder rasch mobilisiert und erneut in Furtbereiche (bzw. an Haufenränder) eingetragen, wo es dann wieder zu baggern ist. Daher ist es naheliegend, die Erosionsbeständigkeit dieses Baggergutes durch eine Grobkornanreicherung zu erhöhen, und zwar mit dem Ziel, diese Geschiebeumlagerungen zu reduzieren und einen positiven Beitrag zur Sohlstabilität zu leisten. Dazu wären zwei Varianten zu unterschieden:

- eine gröbere Kiesfraktion (in der Größenordnung: 32/120 mm oder ähnlich), die aus Kiesgruben der Umgebung anzuliefern ist, kann in das Baggergut eingemischt werden, wodurch eine natürliche Deckschichtbildung (zumindest in den Kolken) unterstützt wird;

- verklapptes Baggergut kann durch Grobkies bzw. eine Grobkornfraktion (wie oben: 32/120 mm oder ähnlich) überdeckt und damit zumindest vorübergehend stabil gehalten werden;

Überlegungen zur Wirtschaftlichkeit gem. Pkt. [154] und [177] gelten sinngemäß, hier unter Berücksichtigung der Preise für die Instandhaltungsbaggerungen. Es wird empfohlen, eine solche Grobkornanreicherung von Baggergut im Rahmen eines weiteren Naturversuches bzw. im Rahmen des adaptiven Managements zu testen. Der Grobkornanteil würde nach einer ersten Einschätzung (bezogen auf die Baggermenge) bei etwa 25 bis 40% liegen.

Eine weitere Variante könnte darin bestehen, eine noch gröbere Grobkornfraktion zu verwenden, mit einem Größtkorn im Bereich zwischen 150 bis 180 mm (also im Sinn der ‚Grobkornzugabe zur Deckschichtbildung' gem. Zottl & Erber, 1987), wodurch speziell in tieferen Kolken eine „absolute" Sohlstabilität erreicht werden könnte; es ist aber fraglich, ob derartig grobes Material in der Nähe (Wiener Becken, Parndorfer Platte, Tullner Feld) in ausreichenden Mengen verfügbar ist.

[181] In den bisherigen Vorgesprächen zum Akteursforum bzw. im zweiten Integrierten Projekttreffen am 07.09.2012 (Referat Klasz, September 2012) wurde auch über semistabile Inselschüttungen außerhalb (am Rand) der Fahrrinne diskutiert; solche Strukturen wurden von der WSD in den 1990er-Jahren geschüttet (die größte derartige Schüttung im Bereich der Furt Röthelstein, Strom-km: 1882 bis 1882,5) und von Dritten teilweise heftig kritisiert, weil man darin einen langfristig wirksamen Entzug des gebaggerten Kieses aus dem Geschiebehaushalt gesehen hat; aus diesem Grund werden solche Inselschüttungen seit etwa einem Jahrzehnt nicht mehr durchgeführt. Man könnte aber versuchen, einen neuen Typ von Inselschüttungen zu schaffen, der vorübergehend (einige Jahre) stabil ist und dann (allmählich) wieder erodiert wird, wodurch das Schüttmaterial mittelfristig wieder dem Geschiebehaushalt zurückgegeben wird. In diesem Zusammenhang ist die Schütt-OK wichtig, sie sollte (im Gegensatz zu bisherigen Inselschüttungen) unter dem Sommer-MW liegen, damit es nicht zum Aufwuchs von Gehölzen, die eine stark stabilisierende Wirkung haben, kommt.

Entwurfsrelevante Grundsätze wären im Wesentlichen:

- Schüttung immer bergwärts der jeweiligen Baggerbereiche;
- die Schüttung soll nicht zu stabil sein, sondern „semistabil", sie soll innerhalb eines Zeitraumes von wenigen Jahren bzw. ein bis zwei Jahrzehnten wieder vom Fluss abgetragen werden, wodurch das Material wieder als Geschiebe zur Verfügung steht;
- das Material darf nicht mit Wasserbausteinen (Blocksteine) vermengt sein;
- die Schüttungen sind höhenmäßig auf maximal MW+0,5 m zu begrenzen (tendenziell etwas weniger), wodurch u.a. auch das Aufkommen von stark stabilisierenden Gehölzen (Weiden) vermieden wird;
- wiederkehrende Nutzung der gewählten Schüttbereiche, es sollen nicht immer wieder neue Flächen dafür beansprucht werden;
- die bezüglich der Stabilität der Schüttungen gewonnenen Erfahrungen sollen in den Folgejahren genutzt werden, d.h. die Schüttung kann dann etwas exponierter oder im schwächer exponierten Bereich erfolgen (adaptive Vorgangsweise);

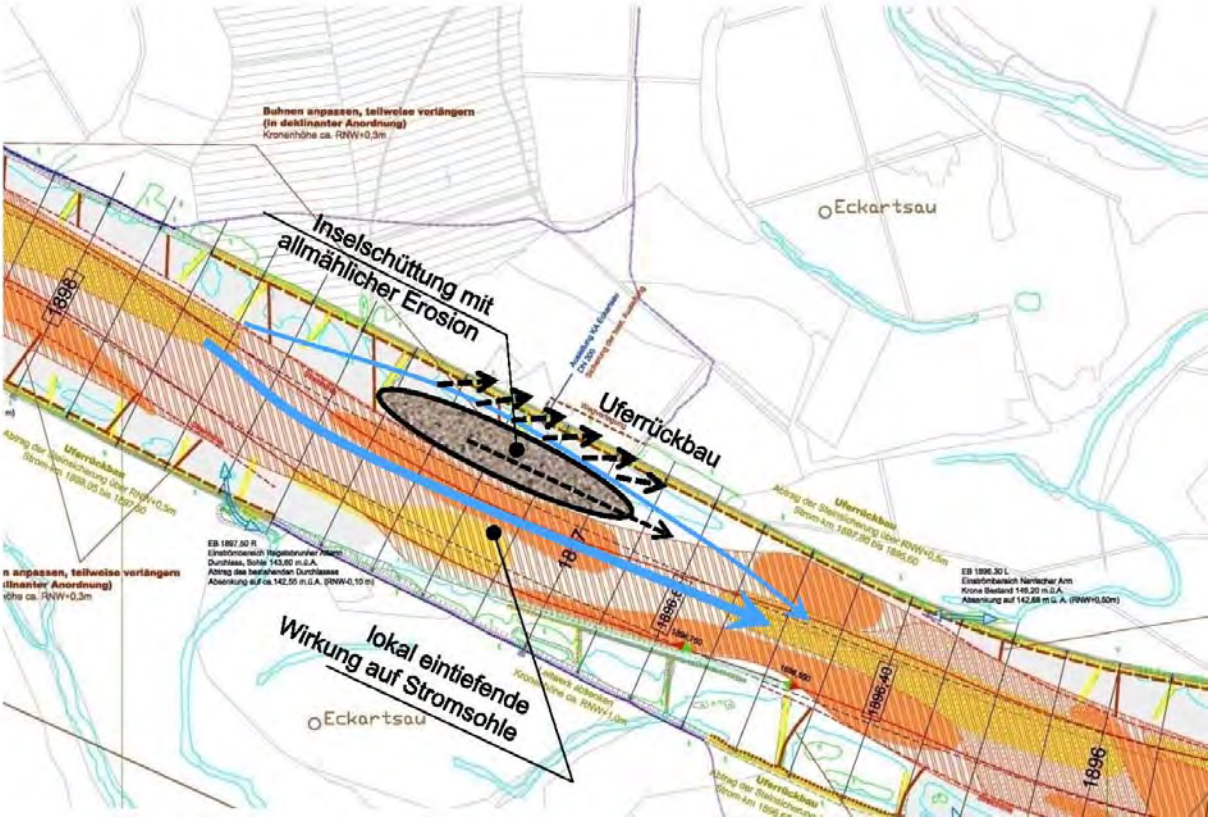


Abb. 29: Beispiel für eine semistabile Inselschüttung, hier im Sinn einer konzeptiven Überlegung für die Furt Regelsbrunn. Die Schüttung wirkt temporär als Einengung (ähnlich wie eine Buhne) und sollte bei geeigneter Anordnung zu verbesserten (nämlich erhöhten) Fahrwassertiefen führen. Gleichzeitig könnte dies mit Uferrückbau „hinter" der Inselschüttung verbunden werden, die Insel könnte dort zu stärkeren Seitenerosionen führen, das wäre aber so zu steuern, dass nur Querschnittsteile über Niederwasser davon betroffen sind. Die Schüttung selbst sollte „semistabil" sein und allmählich (über mehrere Jahre) allmählich erodiert werden, damit der Kies wieder als Geschiebe zur Verfügung steht.

Solche Kiesschüttungen könnten in Furten angeordnet werden und als einengende Struktur die dortigen Fahrwassertiefen günstig erhöhen, ähnlich wie Regulierungsbauwerke, sh. Abb. 29. Daneben sind auch die hydraulischen Aspekte zu berücksichtigen; Inselschüttungen haben beispielsweise auf die HW-Spiegel eine stärkere Wirkung (voller Flächenabzug) als etwa Buhnen; andererseits ist ihre morphologisch-nautische Wirkung bei richtiger Anwendung, wie die Inselschüttung bei Röthelstein zeigt, günstig.

[182] Inselschüttungen mit einengender Wirkung, wie zuvor in Abs. [181] beschrieben, stehen auf der Zielebene allerdings in Konflikt mit den Überlegungen zur Verbesserung der Sohlstabilität, weil sie lokal mit der Erhöhung des Geschiebetransportes verbunden sind.

[183] Insgesamt gesehen wäre der Aufwand für die Instandhaltung zur Aufrechterhaltung einer Fahrwassertiefe von 25 dm (unter RNW) in Kombination mit einer Geschiebebewirtschaftung und in der mittelfristigen Perspektive etwa gleich hoch wie bisher, weil Geschiebetransport und Morphodynamik auf einem ähnlich hohem Niveau wie bisher ablaufen, störende Auflandungen in Furten und an Haufenrändern sind daher im gleichen Ausmaß wie bisher zu erwarten. Langfristig gesehen wäre mit der Abnahme des Geschiebetransportvermögens durch abschnittsweise Sohlvergröberung auch eine entsprechende (insgesamt aber wohl eher geringfügige) Reduktion des Aufwandes für die Instandhaltung zu erwarten (Klasz, 2011).

[184] Randbedingung für die Optimierung der Instandhaltungsbaggerungen ist die Verfügbarkeit und Leistungsfähigkeit entsprechender Baggergeräte (einschließlich Schubschiff und Schuten für Verfuhr und Verklappen des Baggergutes) zwischen dem Spätsommer (August/September; Abnahme des Basisabflusses) und dem späten Herbst (November/Dezember; größere Wahrscheinlichkeit für das Einsetzen einer ausgeprägten NW-Situation)[61]. Aus üblichen Leistungsansätzen (rd. 8‘000 m^3/w pro Nassbagger) und den zu erwartenden Baggermengen kann abgeschätzt werden, dass über diese Phase zumindest eine Gerätegarnitur permanent verfügbar sein müsste, unter etwas ungünstigeren Verhältnissen eher sogar zwei.

[185] Baubetrieblich könnten im Übrigen gerade für Furten alternative Methoden der Sohlanpassung (neben den üblichen Nassbaggerungen mittels schwimmender Hydraulikbagger) erprobt werden, vor allem im Sinn eines Glattstreichens lokaler Hochpunkte (Entwicklung eines ‚Kieshobels‘, vgl. auch Garber, 2002, der die Entwicklung eines ‚Sandhobels‘ beschreibt); Klasz, 2011.

6.1.5 Spezielle Sicherungen gegen Sohldurchschlag

[186] In Streckenabschnitten mit geringer Mächtigkeit der quartären Kiese besteht das erhöhte Risiko eines Sohldurchschlages, vgl. Kap. 3.5. Solche Bereiche, aus heutiger Sicht sind das sechs Kolkabschnitte (Pkt. [83]), sind einerseits laufend zu beobachten, um dort auf unerwünscht starke Sohlerosionen rasch reagieren zu können; zweitens soll Baggergut aus der Instandhaltung der Fahrrinne primär in diesen Bereichen verklappt werden, und drittens wäre dort eine Kolksicherung (Kolkverbau) vorrangig herzustellen, ähnlich wie dies bereits in den 1990er-Jahren in der VHP-Strecke durchgeführt wurde (vgl. Pkt. [131] und [132]).

6.1.6 Uferrückbau und weitere Geschiebequellen innerhalb der Strecke

[187] Durch den Abtrag von Ufersicherungen („Uferrückbau“) kommt es zu einer gewissen Verbreiterung des (bordvollen) Querschnittes des Hauptgerinnes, was mit einer Abnahme des Geschiebetransportvermögens verbunden ist. In einer ersten Untersuchung (Klasz, 2002) wurde rechnerisch abgeschätzt, dass das Geschiebetransportvermögen (im langjährigen Mittel) mit einer durchgängigen Verbreiterung (über RNW) von 100 m um etwa 15 … 20% reduziert werden könnte. Allerdings zeigen die Erfahrungen aus den ersten beiden Uferrückbau-Pilotprojekten (Thurnhaufen und Witzelsdorf), dass die Breitenänderungen deutlich geringer ausfallen, vgl. Abs. [91] und Klasz (2011), und damit muss auch die Reduktion des Geschiebetransportvermögens geringer eingeschätzt werden (mit einer geschätzten Breitenänderung von 25 m in der Größenordnung etwa -5 %). Andererseits kommt es durch den Uferrückbau und die damit verbundene Seitenerosion auch zur Remobilisierung von Kies, und damit zu zusätzlichen Geschiebeeinträgen, vgl. Tab. 17:

---

61 Derzeit arbeitet die via donau unter dem Oberbegriff eines „Kundenorientierten Wasserstraßenmanagements“ an einer jahreszeitlichen (und allgemeiner formuliert: betrieblichen) Optimierung der Instandhaltungen (mündliche Mitteilung durch M. Simoner, via donau).

Tabelle 17: Abschätzung der Geschiebeeinträge (Remobilisierung von Kies) durch Uferrückbau

	Szenario 1: „sehr optimistische Einschätzung“ (iSv Klasz, 2002):	**Szenario 2: „vorsichtige Einschätzung“ (unter Berücksichtigung bisheriger Uferrückbau-Projekte)**
mittlere Breitenzunahme, langfristig (Seitenerosion)	ca. 100 m	25 m
mittl. Höhenstufe (Gelände-OK - ca. RNW)	ca. 4,0 m	ca. 4,0 m
Effizienzfaktor (berücksichtigt, dass nur ein Teil des Materials kiesig ist, weiters, dass Teile des Kieses durch Inselbildung und Uferabflachung nicht in den Strom gelangen):	50%	25%
$\Delta V_{Seitenerosion} =$	$\approx 100 \cdot 4{,}0 \cdot 1000 \cdot {}^{1}/_{2}$ $= \mathbf{200'000\ m^3/km}$	$\approx 25 \cdot 4{,}0 \cdot 1000 \cdot 0{,}25$ $\approx \mathbf{25'000\ m^3/km}$

[188] Weitere Beiträge (Kiesrückführung) sind auch

- aus der Rückführung von Kieshalden (entlang der Ufer), die von früheren Instandhaltungsbaggerungen übrig geblieben sind,
- der Remobilisierung kiesiger Anlandungen in Buhnenfeldern (durch Buhnenumbau) und das Baggern von „Hinterrinnern“
- und zusätzlichen Baggerungen bzw. Seitenerosionen in Kiesbänken und Nebenarmen

zu erwarten. Die Gesamtkubatur von Kieshalden wird nach derzeitigem Kenntnisstand mit etwa 130‘000 m^3 abgeschätzt (DonauConsult, 2006). Die Größenordnung der anderen Potentiale kann auf Basis des Naturversuches Bad Dt. Altenburg (DonauConsult, 2009) und nach den Planungen im Zuge des FGP (DonauConsult, 2006) abgeschätzt werden: Beim Naturversuch wurden etwa 36‘000 m^3 Kiesrückführung aus dem Johler-Arm und etwa 19‘000 m^3 Kiesrückführung aus Buhnenfeldern geplant (Ausschreibung); bezogen auf eine Streckenlänge von 3 km Länge ergibt das etwa 18‘000 m^3/Strom-km. Für die Gesamtstrecke wurden dafür insgesamt etwa 342‘000 m^3 geschätzt (linksufrig ca. 190‘400 m^3; rechtsufrig etwa 151‘600 m^3); bezogen auf die Gesamtstrecke von 47 km wären das rd. 7‘300 m^3/Strom-km. Solche ökologisch orientierte Baumaßnahmen könnten grundsätzlich unabhängig vom FGP durchgeführt werden, im Rahmen kleinerer ökologisch definierter Projekte. Besondere Bedeutung hätten dabei die „Hinterrinner“, das sind Gräben oder Tiefenrinnen zwischen dem Ufer und vorgelagerten Kiesbänken oder Inselschüttungen und auch ähnliche Situationen in Buhnenfeldern, wo durch entsprechende Baggerungen wellenschlaggeschützte und damit für Fische (und speziell Jungfische) und andere im Wasser lebenden Organismen besonders wertvolle Habitate geschaffen werden könnten. Das FGP hat solche Potentiale aus heutiger Sicht noch nicht maximiert, weil die Baumaßnahmen ja eher gering gehalten werden sollten. Aus heutiger Sicht scheinen hier Kiesrückführungen im Ausmaß zwischen 10‘000 und 15‘000 m^3/Strom-km durchaus realistisch.

[189] Mit dem in Tab. 17 abgeschätzten Wert von etwa 25‘000 m^3/km und etwa 30 km Uferrückbau[62] ergibt sich eine Gesamtsumme von etwa 750‘000 m^3; aus den Kieshalden und anderen Quellen (vgl. Pkt. [188]) wären zusätzlich etwa 130‘000 + 420‘000 = 550‘000 m^3 möglich, insgesamt also etwa 1,3 Mio. m^3. Im Folgenden wird, auf der sicheren Seite liegend, angenommen, dass nur etwa 25% dieser Menge (also etwa 325‘000 m^3) in der ersten zehn Jahren der Initialphase mobilisiert werden können, während sich der Rest auf eine zweite, etwa 30 Jahre dauernde Phase (Instandhaltungsphase) verteilen, was dann über diese gesamte, 40 Jahre dauernde Phase eine daraus verfügbare Jahresmenge von etwa 32‘500 m^3/a ergibt.

6.1.7 Zusammenstellen der Kiesquellen

[190] Einen Überblick über vorhandene bzw. in Zukunft leicht zu erschließende Kiesquellen gibt Tab. 18:

62 Die tatsächlich mögliche Länge ist höher einzuschätzen, zwischen 35 und 40 km; allerdings sind für den Geschiebehaushalt die bereits ausgeführten Uferrückbauten (Thurnhaufen, Witzelsdorf) und der unterste Teilabschnitt (Röthelstein und gemeinsame Grenzstrecke) nicht relevant, daher wird der reduzierte Wert von 30 km angesetzt.

Tabelle 18: Derzeitige und zukünftig mögliche Kiesquellen für eine Geschiebebewirtschaftung

Quellen:	Strom-km:	Mengen:		Anm.:
Kompensationsbaggerung Stauraum Altenwörth (Krems, Stein)	ca. Strom-km 2004 bis 1998	laufend: ca. 50‘000 bis 60‘000 m^3/a (ggf. auch etwas mehr[63]);		entspricht dem Geschiebeaustrag aus der Wachau (abzüglich Abrieb); durch VHP für UW-Sicherung KW-Freudenau laufend genutzt (auch aufgrund wasserrechtlicher Vorschreibungen)[64]
Traisenmündung, LIFE+ Traisen - Projekt	querab von ca. Strom-km 1982	einmalig: ca. 2,0 Mio. m^3 (obere Grenze)		Projekt durch VHP entwickelt, Kies von VHP genutzt Kies wahrscheinlich deutlich feiner als erforderlich und daher nur teilweise anrechenbar
Stauraum Altenwörth + Stauraum Greifenstein	ca. Strom-km 1998 – 1981 und ca. Strom-km 1979 - 1950	unbekannt		seitens der VHP als mittel- bis langfristige Reserve für die UW-Sicherung KW-Freudenau vorgesehen
Stauwurzel, Stauraum Gabčikovo	stromab Strom-km 1880	laufend: ca. 250‘000 m^3/a (ggf. auch etwas höher)		entspricht dem Geschiebeaustrag aus der zu stabilisierenden Strecke östlich von Wien (abzüglich Abrieb);
Kiesgruben im Wiener Raum (Wiener Becken)	Zulieferung über Hafen Wien	abhängig von gewünschter Körnung und verfügbarem Budget; eine Jahreszulieferung von 50‘000 bis 100‘000 m^3 (40/70 oder 16/120 mm oder ähnlich) wäre problemlos möglich		speziell für grobkörnigeres Material; Körnungen bis 16 mm oder bis 32 mm würden dann über Siebung abgetrennt und für andere bautechnische Verwendungen (Betonherstellung) genutzt;
Kieshalden am Ufer der Donau im Nationalpark	5 Halden zwischen Strom-km 1892,1 und 1909,2	einmalig: Summe ca. 130‘000 m^3	in Summe rd. 1,3 Mio. m^3 (d.h. über die ersten 40 Jahre rd. 32‘500 m^3/a)	die größte Kieshalde bei Wildungsmauer (Strom-km 1895,3) mit ca. 51‘000 m^3
Uferrückbau, eigendynamisch ablaufende Seitenerosion	Gesamtstrecke	einmalig: etwa 750‘000 m^3		ähnlich wie beim FGP vorgesehen, ggf. auch darüber hinausgehend
Hinterrinner, Buhnenfeldbaggerungen, Seitenarme und dgl.	Gesamtstrecke	einmalig: etwa 420‘000 m^3		ähnlich wie beim FGP vorgesehen, ggf. auch darüber hinausgehend

[191] Mit den hier angegebenen Quellen bzw. Potentialen ist eine Geschiebebewirtschaftung auch langfristig („mehrere“ oder „viele“ Jahrzehnte) ohne grundsätzliche Probleme bei der Kies-

63 Der angegebene Wertebereich entspricht einer eigenen Abschätzung unter Berücksichtigung entsprechender Informationen von Dr. Schmalfuss (Verbund Hydro-Power), der aber tendenziell höhere Mengen schätzt (etwa 80‘000 bis 90‘000 m^3/a). Eine Studie der TU München (Strobl, Schmautz, Aufleger, 2000), die diesbezüglich auf ein numerisches eindimensionales Geschiebetransportmodell (HEC-6) aufbaut, gibt für den Geschiebeaustrag mit etwa 40.000 m^3/a hingegen geringere Werte an.

64 Aus gewässerökologischer Sicht und unter primärer Betrachtung der betroffenen Baggerbereiche können auch solche Baggerungen kritisch bewertet werden; im Besonderen kann langfristig gesehen auch eine Geschiebebewirtschaftung für die Wachau erforderlich werden.

beschaffung möglich. Diese Übersicht zeigt aber auch, dass das ohne Geschieberückführung (aus der Unterliegerstrecke) nur mittelfristig (etwa 15 Jahre) möglich wäre, für eine langfristige Lösung scheint eine Geschieberückführung jedenfalls erforderlich.

6.1.8 Wasserspiegelanhebung (Kompensation eines Teiles der bisherigen Sohlerosion)

[192] Ein zusätzliches (additives) Ziel der Geschiebebewirtschaftung wäre aus ökologischer Perspektive und unter den an der Donau und im Nationalpark Donau-Auen gegebenen Verhältnissen die maßvolle Anhebung der NW- und MW-Spiegellagen bei gleichzeitiger HW-Neutralität. Dieses Ziel wird auch beim FGP angestrebt (DonauConsult, 2006), mit NW-Anhebungen in der Größenordnung von etwa +30 cm, und kann grundsätzlich auch im Rahmen einer optimierten Geschiebebewirtschaftung angestrebt werden, durch additive, also überschießende (über das Ausmaß des Geschiebetransportvermögens hinaus gehende) Geschiebezugaben. Es würde damit der durch die Sohle gebildete Geschiebespeicher, der durch die Erosion der letzten Jahrzehnte reduziert wurde, wieder aufgefüllt.

[193] Eine mittlere Anhebung der Sohle von rd. 1 cm über eine Länge von 40 km und eine (hydraulisch wirksame) Breite von 250 m erfordert eine Kiesmenge von 100‘000 m^3 (vgl. auch Pkt. [164]), für eine gewünschte NW-Anhebung von 30 cm wären somit rd. 3,0 Mio. m^3 (Größenordnung) zusätzlichem Kiesmaterial erforderlich. Im geringen Ausmaß könnten solche Anhebungen auch mit Hilfe von Regulierungsbauwerken (primär Buhnen) und anderen NW-Einengungen (z.B. seitliche Inselschüttungen) erreicht werden. Das wäre aber eine im Sinn einer Geschiebebewirtschaftung ambivalente Maßnahme, weil damit das Geschiebetransportvermögen zumindest lokal erhöht würde.

[194] Tatsächlich würde ein flussbauliches Konzept nicht auf eine gleichmäßige Anhebung aller Teile der Sohle zielen. Während die mittlere Sohllage in Furten und sonstigen Seichtstellen nicht oder nur geringfügig angehoben werden sollten, wäre die Sohle in Kolken stärker zu heben (Größenordnung: +0,3 … +0,6 m). Weiter gehende Kolkauffüllungen wären aber zu vermeiden, weil es dadurch wahrscheinlich zur Ausbildung unerwünschter Sekundärkolke käme; dieses Problem kann planungsmethodisch dadurch vermieden werden, dass für die Festlegung der Schüttstärken nicht bloß eine bestimmte Stromgrundaufnahme berücksichtigt wird, sondern die Gesamtheit aller Stromgrundaufnahmen aus einer längeren Beobachtungsreihe (z.B. 10 Jahre), wobei die Schütt-OK in den Bereich einer oberen Sohllage zu legen wäre, aber auch nicht wesentlich höher.

[195] Wenn die Sohle durch überschießende Geschiebezugaben oder durch Grobkies- bzw. Grobkornschüttungen wieder stärker angehoben wird, dann müsste die Hochwasserneutralität durch begleitende Maßnahmen, mit denen der HW-Abflussquerschnitt vergrößert bzw. die Rauhigkeiten reduziert werden, sichergestellt werden. In diesem Sinn wirken Uferrückbau, das Baggern von Hinterrinnern und die hydraulische Reaktivierung von Seitenarmen (vgl. Kap. 6.1.6) günstig. Weitere Überlegungen werden in Kap. {später} beschrieben.

[196] Es wird empfohlen, die hier diskutierte Anhebung der NW- und MW-Spiegel im Rahmen einer Geschiebebewirtschaftung grundsätzlich nur als additives Ziel zu sehen, in der Priorität und zeitlichen Reihenfolge erst nach dem Gelingen des Stopps der Sohlerosion.

6.2 Ein Szenario für die Anfangsphase

[197] Für die Anfangsphase sind die folgenden Grundprinzipien maßgebend:

- volle Deckung des Geschiebedefizits und damit Beendigung der Sohlerosion auf der gesamten Strecke durch Geschiebezugaben;
- rasche Umsetzung ohne in den Versuch zu verfallen, Optimierungspotentiale bereits weitgehend oder vollständig im Zuge der Planung zu realisieren: „quick & dirty“;
- Einbeziehung der bereits laufenden Maßnahmen (z.B. Baggerungen für die Instandhaltung der Fahrrinne mit Wiederverklappen dieses Baggergutes), soweit sie im Sinn der Zielsetzung zweckmäßig sind;
- allmähliche aber konsequente Einbeziehung additiver Schritte (Rückführung des Materials aus Kieshalden; weitere Uferrückbauprojekte; Baggern von Hinterrinnern);

[198] In den ersten Jahren wären also im Wesentlichen die nachfolgend angegebenen Zugaben und Maßnahmen so miteinander zu verbinden, dass die Sohlerosion über die gesamte Strecke zum Stillstand kommt bzw. durch eine schwache Auflandungstendenz abgelöst wird:

Tabelle 19a: Zugaben und Maßnahmen in der Anfangsphase

	Maßnahme:	**Zugabemengen** (im langjährigen Mittel)	**Einbaubereich**	**Anm.:**
1	Fortführung der VHP-Geschiebezugabe, Zufuhr aus der Oberliegerstrecke (Stauwurzel Altenwörth, Traisenmündung[65])	ca. 190‘000 m^3/a	Strom-km 1920 – 1910 (VHP-Erhaltungsstrecke)	läuft bereits
2a	Rückführung des Geschiebeaustrages: Baggerung bei / knapp stromab der Marchmündung und Wiedereinbau knapp stromab der VHP-Erhaltungsstrecke	untere Grenze: ca. 128‘000 m^3/a	Strom-km 1910 - 1903	vgl. Kap. 6.1.2
2b	Grobkornanreicherung, 16/120 mm (oder ähnlich), Kompensation der Abriebverluste und allmähliche Sohlvergröberung	untere Grenze: ca. 32‘000 m^3/a	Strom-km 1910 - 1903	vgl. Kap. 6.1.2
3	Instandhaltungsbaggerungen (bergwärts transportieren und Wiederverklappen; ggf. auch Vergröberung)	Zugabeäquivalent in der Größenordnung zw. 10‘000 und 15‘000 m^3/a	gesamte Strecke mit Ausnahme der VHP-Erhaltungsstrecke	läuft bereits, sollte ausgeweitet werden, vgl. Kap. 6.1.4
4	Rückführung des Materials aus Kieshalden, weitere Uferrückbauprojekte, Hinterrinner usw.	in der Größenordnung ca. 32‘500 m^3/a		vgl. Kap. 6.1.6
5	örtlicher Kolkverbau (Sicherung gegen Sohldurchschlag)	--	gefährdete Kolke	vgl. Kap. 6.1.5

[199] Zu den empfohlenen Grundsätzen zählt, dass die primäre Zielsetzung (Beendigung aller weiteren Sohlerosionen auf der gesamten Strecke) durch Geschiebezugaben (Pos. 1, 2a und 2b in Tab. 19b) zu erreichen wäre, diese Maßnahmen bilden gewissermaßen den „harten Kern“ der Geschiebebewirtschaftung, während die additiven Maßnahmen (Pos. 3 und 4) eine zusätzliche Sicherheit (etwa auch gegen außerordentlich starke bzw. lang andauernde Hochwässer) und Stabilität geben und zweitens auch schon gewisse, wenngleich schwache Wasserspiegelanhebungen bewirken.

[200] Sofern keine aufwändigen Genehmigungsverfahren (insbesondere keine UVP) erforderlich wären, könnten diese Maßnahmen kurzfristig geplant und umgesetzt werden, also innerhalb weniger Monate. Innerhalb einer ersten Phase (von etwa drei bis sechs Jahren) könnten zudem:

- ein dafür angepasstes Monitoring-Programm etabliert bzw. weiterentwickelt werden, vgl. Pkt. [216];
- Erfahrungen mit den Maßnahmen gesammelt werden,
- weiter führende Optimierungen im Sinn eines adaptiven Managements geplant und vorbereitet werden;

65 Das Kiesmaterial aus dem Bereich Traisenmündung ist wahrscheinlich deutlich feiner als erforderlich (Fein- bis Mittelkies statt Grobkies) und, sofern das zutrifft, nur teilweise anrechenbar.

[201] Primärer Indikator für die Erfolgskontrolle wären charakteristische NW- und MW-Spiegellagen (speziell auch RNW); sekundärer Indikator wären die auf Basis von Stromsohlaufnahmen erstellten Geschiebebilanzen (im Sinn der Auswertungen gem. Abs. [48]).

[202] In einer Gesamtbetrachtung ergibt sich somit für die Initialphase (die ersten etwa rund 10 Jahre) folgende Kies-Materialbilanz:

Tabelle 19b: Materialbilanz für die Anfangsphase (die ersten etwa 10 Jahre) im Sinn der hier entwickelten Form der Geschiebebewirtschaftung

Geschiebeaus-trag:	**Geschiebeeinträge:**	
ca. **350‘000** m^3/a	Weiterführung der VHP-Geschiebezugabe:	ca. **190‘000** m^3/a
	Rückführungen aus Ablagerungen im Stauraum Gabčikovo (Baggerungen Grenzstrecke)	ca. **128‘000** m^3/a
	Geschiebezugabe aus Zukauf und Zulieferung gröberen Materials (16/120 mm oder ähnlich)	ca. **32‘000** m^3/a
	Geschiebeeintrag aus der Rückführung der Kieshalden, Uferrückbau / Seitenerosion, Hinterrinnern usw.:	ca. **32‘500** m^3/a
	Zugabeäquivalent aus dem Wiederverklappen von Baggergut aus Instandhaltung der Fahrrinne	ca. **12‘500** m^3/a
Saldo: +**45‘000** m^3/a		

[203] Der Überschuss (von ca. 45‘000 m^3/a) führt während dieser Phase zu einer Auflandungstendenz (bezogen auf NW-Stände) von ca. +0,4 … 0,5 cm/a, wobei man diesen Effekt aus verschiedenen Gründen nicht auf die Erhaltungsstrecke ausdehnen sollte (Kontext mit bestehenden wasserrechtlichen Bescheiden; Erhaltung der Nutzfallhöhe am Kraftwerk Wien-Freudenau); insofern könnte man, da der Wert von 0,4 … 0,5 cm/a durch Mittelung des Geschiebeüberschusses auf die Gesamtstrecke ermittelt wurde, in der mittleren und unteren Strecke sogar etwa höhere Anhebungsraten erzielen (etwa +0,5 … 0,7 cm/a). Mit dieser Wirkung wäre nicht nur eine teilweise Kompensation der Sohleintiefungen der letzten Jahrzehnte gegeben, sondern auch eine Sicherheit gegenüber Zeiten mit stark erhöhtem Geschiebetransportvermögen (sehr abflussstarke Jahre), vgl. auch Klasz (2002).

6.3 Ein Langfrist-Szenario

[204] Für dieses Szenario sind die folgenden Grundprinzipien maßgebend:

- volle Deckung des Geschiebedefizits und damit Beendigung der Sohlerosion auf der gesamten Strecke durch Geschiebezugaben und darüber hinausgehend schwach überschießende Zugaben, um in den Zustand einer geringen Auflandungstendenz zu kommen;
- teilweise Verlagerung der Kiesquellen von der Oberliegerstrecke zur Geschieberückführung aus der Unterliegerstrecke;
- schrittweise Optimierung durch Sohlvergröberung und flussbauliche Maßnahmen (Kolkverbauten, Uferrückbau mit Seitenerosionen, Hinterrinner und Seitenarmreakti-

vierungen); damit auch eine – wenngleich wahrscheinlich geringfügige – Reduktion des Geschiebetransportvermögens (Rechenwert im Folgenden: -10%);

- weitere Einbeziehung additiver Schritte (Rückführung des Materials aus Kieshalden; weitere Uferrückbauprojekte; Baggern von Hinterrinnern);

[205] In diesem Szenario wird vorausgesetzt, dass die VHP-Geschiebezugabe weitergeführt wird, wenngleich mit teilweise geänderten Kiesquellen (Verlagerung von der Oberliegerstrecke zur Geschieberückführung aus der Unterliegerstrecke), und alle zusätzlichen Zugaben werden parallel dazu durchgeführt, ohne gegenseitige Behinderung oder betriebliche Beeinflussung, vgl. auch Pkt. [165] und [166]. Zweckmäßig wäre naturgemäß eine Zusammenführung und Fusion der beiden Programme, dies ist aber nicht notwendig. Die im Folgenden angesetzten Materialflüsse würden sich dabei nicht wesentlich verändern.

[206] Die unter Pkt. [199] genannten Überlegungen für das Anfangsszenario gelten sinngemäß weiter. Die Geschiebezugaben (Pos. 1a, 1b, 1c, 2a und 2b in Tab. 20a) bilden weiterhin den „harten Kern“ der Geschiebebewirtschaftung, und sie werden in einem überschießenden Ausmaß so verstärkt, dass bereits dadurch eine gewisse Auflandungstendenz erzielt wird. Die additiven Maßnahmen (Pos. 3 und 4 in Tab. 20a) ergeben eine zusätzliche Sicherheit und Stabilität und bewirken eine zusätzliche Wasserspiegelanhebung. Wenn man den wirtschaftlichen Aufwand minimieren wollte oder müsste, dann wären diese additiven Effekte (unter Verzicht weiterer Wasserspiegelanhebungen) in Rechnung zu stellen und damit könnten die Zugaben nach Pos. 2a und 2b reduziert werden. Dieses Szenario („Spar-Szenario“) wird im Folgenden unter Kap. 6.4 dargestellt.

Tabelle 20a: Zugaben und Maßnahmen im langfristigen Szenario

	Maßnahme:	**Zugabemengen** (im langjährigen Mittel)	**Einbaubereich**	**Anm.:**
1a	Fortführung der VHP-Geschiebezugabe, Zufuhr aus der Oberliegerstrecke	ca. 80‘000 m^3/a	Strom-km 1920 – 1910 (VHP-Erhaltungsstrecke)	in der Zuständigkeit der VHP; Zusammenführung mit dem restlichen Programm zweckmäßig und anzustreben, aber nicht notwendig
1b	Rückführung des Geschiebeaustrages: Baggerung bei bzw. knapp stromab der Marchmündung und Wiedereinbau knapp stromab der VHP-Erhaltungsstrecke	ca. 88‘000 m^3/a		
2c	Grobkornanreicherung, 16/120 mm (oder ähnlich), Kompensation der Abriebverluste und allmähliche Sohlvergröberung	untere Grenze: ca. 22‘000 m^3/a		
2a	Rückführung des Geschiebeaustrages: Baggerung bei bzw. knapp stromab der Marchmündung und Wiedereinbau knapp stromab der VHP-Erhaltungsstrecke	untere Grenze: ca. 100‘000 m^3/a Rechenwert im Folgenden höher: ca. 132‘000 m^3/a	Strom-km 1910 - 1903	vgl. Kap. 6.1.2
2b	Grobkornanreicherung, 16/120 mm (oder ähnlich), Kompensation der Abriebverluste und allmähliche Sohlvergröberung	untere Grenze: ca. 25‘000 m^3/a Rechenwert im Folgenden höher: ca. 33‘000 m^3/a	Strom-km 1910 - 1903	vgl. Kap. 6.1.2
3	Instandhaltungsbaggerungen (bergwärts transportieren und Wiederverklappen; ggf. auch Vergröberung)	Zugabeäquivalent in der Größenordnung zw. 10‘000 und 15‘000 m^3/a	gesamte Strecke mit Ausnahme der VHP-Erhaltungsstrecke	vgl. Kap. 6.1.4
4	Rückführung des Materials aus Kieshalden, weitere Uferrückbauprojekte, Hinterrinner usw.	in der Größenordnung ca. 32‘500 m^3/a		vgl. Kap. 6.1.6

[207] In einer Gesamtbetrachtung ergibt sich somit für dieses Langfristszenario (nach den ersten 10 Jahre) folgende Kies-Materialbilanz:

Tabelle 20b: Materialbilanz für das Langfristszenario (nach den ersten 10 Jahren) im Sinn der hier entwickelten Form der Geschiebebewirtschaftung

Geschiebeaus-trag:	**Geschiebeeinträge:**	
ca. **315‘000** m^3/a	Material aus Oberliegerstrecke (aus der Weiterführung der VHP-Geschiebezugabe):	ca. **80‘000** m^3/a
	Rückführungen aus Ablagerungen im Stauraum Gabčikovo (Baggerungen Grenzstrecke), tw. aus der Weiterführung der VHP-Geschiebezugabe, tw. zusätzlich)	ca. **220‘000** m^3/a
	Geschiebezugabe aus Zukauf und Zulieferung gröberen Materials (16/120 mm oder ähnlich)	ca. **55‘000** m^3/a
	Geschiebeeintrag aus der Rückführung der Kieshalden, Uferrückbau / Seitenerosion, Hinterrinnern usw.:	ca. **32‘500** m^3/a
	Zugabeäquivalent aus dem Wiederverklappen von Baggergut aus Instandhaltung der Fahrrinne	ca. **12‘500** m^3/a
Saldo: +**85‘000** m^3/a		

[208] Der Überschuss (von ca. 85‘000 m^3/a) führt langfristig zu einer Auflandungstendenz (bezogen auf NW-Stände) von ca. +0,8 … 0,9 cm/a, es wäre also eine teilweise Kompensation der Sohleintiefungen der letzten Jahrzehnte gegeben bzw. eine Sicherheit gegenüber Zeiten mit stark erhöhtem Geschiebetransportvermögen (sehr abflussstarke Jahre).

6.4 Ein Langfrist-Szenario mit Minimierung der Zugabemengen („Sparszenario“)

[209] Unter Berücksichtigung der folgenden Grundsätze und der bereits in Kap. 6.3 erläuterten Aspekte wäre im langfristigen Verlauf eine stärkere Minimierung der Zugabemengen möglich:

- Verzicht auf ein positives Saldo bzw. Wasserspiegelanhebungen,
- Reduktion des Geschiebetransportvermögens durch die Sohlvergröberung, Querschnittsaufweitungen (Uferrückbau) und Reaktivierung von Seitenarmen (rechnerisch um zumindest –10%)
- additive Wirkungen (Geschiebeeinträge aus Uferrückbau und sonstigen Maßnahmen in der Strecke; Zugabeäquivalent aus dem Wiederverklappen von Baggergut aus der Instandhaltung der Fahrrinne) werden für die Erreichung des primären Zieles (Sohlstabilität) voll in Rechnung gestellt;

Dieses Szenario wird wegen des Verzichtes auf Sicherheiten und Wasserspiegelanhebungen nicht empfohlen, es wird aber zwecks Abschätzung des minimalen Aufwandes (für eine Geschiebebewirtschaftung) untersucht.

Tabelle 21a: Zugaben und Maßnahmen im langfristigen Szenario mit Minimierung der Zugabemengen („Sparszenario“)

	Maßnahme:	**Zugabemengen** (im langjährigen Mittel)	**Einbaubereich**	**Anm.:**
1a	Fortführung der VHP-Geschiebezugabe, Zufuhr aus der Oberliegerstrecke	ca. 80‘000 m^3/a	Strom-km 1920 – 1910 (VHP-Erhaltungsstrecke)	in der Zuständigkeit der VHP; Zusammenführung mit dem restlichen Programm zweckmäßig und anzustreben, aber nicht notwendig
1b	Rückführung des Geschiebeaustrages: Baggerung bei bzw. knapp stromab der Marchmündung und Wiedereinbau knapp stromab der VHP-Erhaltungsstrecke	ca. 88‘000 m^3/a		
2c	Grobkornanreicherung, 16/120 mm (oder ähnlich), Kompensation der Abriebverluste und allmähliche Sohlvergröberung	untere Grenze: ca. 22‘000 m^3/a		
2a	Rückführung des Geschiebeaustrages: Baggerung bei bzw. knapp stromab der Marchmündung und Wiedereinbau knapp stromab der VHP-Erhaltungsstrecke	ca. 64‘000 m^3/a	Strom-km 1910 - 1903	vgl. Kap. 6.1.2
2b	Grobkornanreicherung, 16/120 mm (oder ähnlich), Kompensation der Abriebverluste und allmähliche Sohlvergröberung	ca. 16‘000 m^3/a	Strom-km 1910 - 1903	vgl. Kap. 6.1.2
3	Instandhaltungsbaggerungen (bergwärts transportieren und Wiederverklappen; ggf. auch Vergröberung)	Zugabeäquivalent in der Größenordnung zw. 10‘000 und 15‘000 m^3/a	gesamte Strecke mit Ausnahme der VHP-Erhaltungsstrecke	vgl. Kap. 6.1.4
4	Rückführung des Materials aus Kieshalden, weitere Uferrückbauprojekte, Hinterrinner usw.	in der Größenordnung ca. 32‘500 m^3/a		vgl. Kap. 6.1.6

[210] In einer Gesamtbetrachtung ergibt sich somit für dieses modifizierte Langfristszenario (nach Ablauf der ersten 10 Jahre; Minimierung der Zugabemengen) die folgende Kies-Materialbilanz:

Tabelle 21b: Materialbilanz für das Langfristszenario (nach den ersten 10 Jahren) mit Minimierung der Zugabemengen („Sparszenario“)

Geschiebeaus-trag:	**Geschiebeeinträge:**	
ca. **315‘000** m^3/a	Material aus Oberliegerstrecke (aus der Weiterführung der VHP-Geschiebezugabe):	ca. **80‘000** m^3/a
	Rückführungen aus Ablagerungen im Stauraum Gabčikovo (Baggerungen Grenzstrecke), tw. aus der Weiterführung der VHP-Geschiebezugabe, tw. zusätzlich)	ca. **152‘000** m^3/a
	Geschiebezugabe aus Zukauf und Zulieferung gröberen Materials (16/120 mm oder ähnlich)	ca. **38‘000** m^3/a
	Geschiebeeintrag aus der Rückführung der Kieshalden, Uferrückbau / Seitenerosion, Hinterrinnern usw.:	ca. **32‘500** m^3/a
	Zugabeäquivalent aus dem Wiederverklappen von Baggergut aus Instandhaltung der Fahrrinne	ca. **12‘500** m^3/a
Saldo: ≈ **0** m^3/a		

6.5 Adaptive Vorgangsweise

[211] Für umweltrelevante Projekte wird vielfach der Einsatz bzw. die Entwicklung einer adaptiven Vorgangsweise („adaptives Management“) empfohlen, vgl. u.a. Linkov et al. (2006). Mit diesen Konzepten geht man davon aus, dass natürliche Systeme nur mit größeren Unsicherheiten verstanden werden; man versucht nun, diese Unsicherheiten dadurch zu minimieren, dass man über das System nicht nur vor den Eingriffen – also in der Planungsphase – Informationen sammelt, Modelle entwickelt und lernt, sondern eben auch durch die Eingriffe und ihre Wirkungen selbst („learning by doing“ bzw. „adaptive learning“), wodurch eine Rückkopplung entsteht, und dadurch werden laufende Anpassungen der Ziele und eingesetzten Strategien auf Grundlage der gesammelten Erfahrungen möglich. Es handelt sich um einen grundsätzlich kybernetischen bzw. – nach heutiger Terminologie – systemtheoretisch begründeten Ansatz.

[212] Abb. 30 (aus Linkov et al., 2006) zeigt die Unterschiede zwischen traditionellen Ansätzen (a), sogenannten „passiven“ Formen des adaptiven Managements (b) und einem „aktiven“ adaptiven Management; in der zuletzt genannten Form werden gleichzeitig mehrere Alternativen getestet bzw. durchgespielt. Damit wird die Bandbreite der Möglichkeiten vergrößert und damit ein verbessertes Potential für Optimierungen angestrebt.

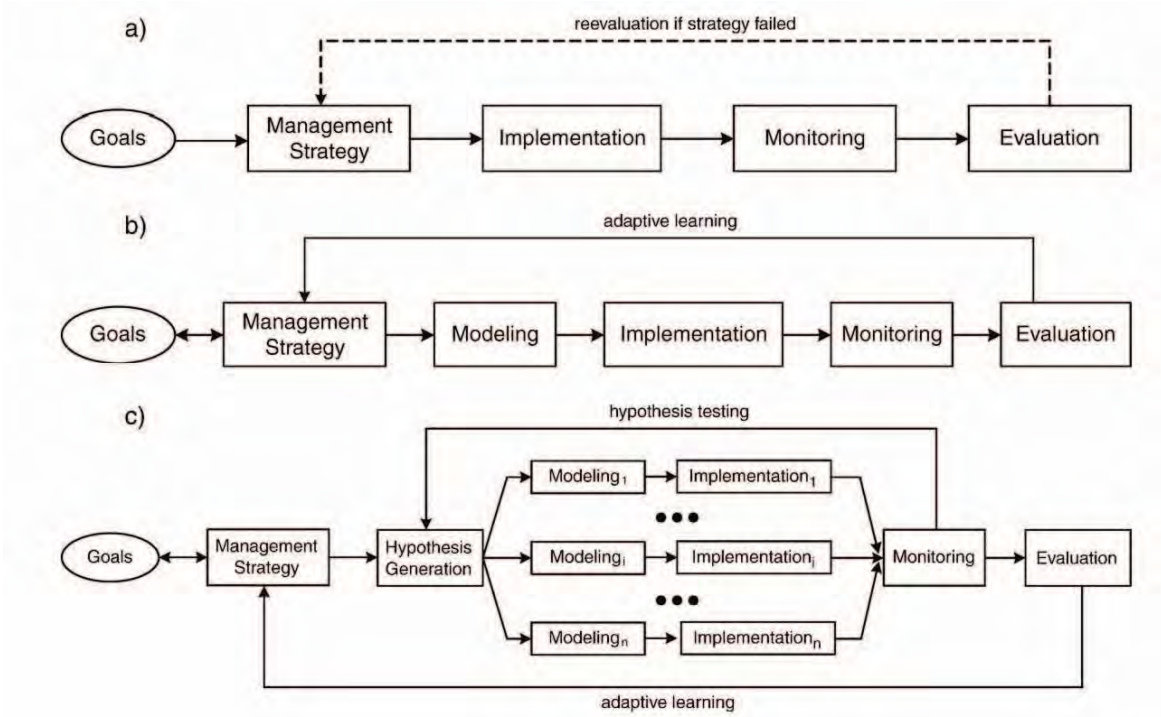


Abb. 30: Unterschiede zwischen (a) traditionellem Management, (b) passivem adaptiven Management und (c) aktivem adaptiven Management; aus Linkov et al. (2006)

[213] Dieser Gedanke einer adaptiven Vorgangsweise ist für den klassischen Flussbau nicht grundsätzlich neu, weil er ohnehin immer nach dem Prinzip „Versuch und Irrtum“ funktioniert hat, zumal sich die betroffenen Systeme wegen ihrer Nichtlinearität und Komplexität häufig einer einfachen Berechenbar- und Planbarkeit entzogen haben.

[214] Man sollte aber darauf achten, dass der Begriff „adaptives Management“ und die damit zusammenhängende Forderung „Lernen vom Fluss“ nicht zu banalen Worthülsen geraten. Das bedeutet: Man sollte klar definieren (und gedanklich durchdringen), was man damit meint.

[215] Im Folgenden (Tab. 22) werden die zentralen Elemente des adaptiven Managements kurz beschrieben und diesbezüglich allgemeine Anforderungen (ohne Anspruch auf Vollständigkeit) formuliert.

Tabelle 22: Elemente des adaptiven Managements und zugehörige Anforderungen

	Allgemeine Anforderungen:	**Anm.:**
Ziele:	• die relevanten Interessensträger (‚Stakeholder') sollten den Projektzielen zustimmen können und die Ziele sollten auf Basis der gesammelten Erfahrungen auch angepasst werden können; • die Zielerreichung sollte quantitativ erfasst werden können; • Vermischungen von Ziel- und Sachebene sollen vermieden werden; • Interessenskonflikte sollten so weit als möglich über Konsensbildung überwunden werden; • es sollte ein Bewusstsein dafür geben, dass nicht alle Interessens- und Zielkonflikte überwunden werden können und es sollte eine geeignete Vorgangsweise für den Umgang mit diesem Problem geben (Berücksichtigung der Schmerzgrenzen der Gegenseite)	in diesem Zusammenhang ist der Einsatz eines ‚Stakeholder-Beteiligungsmodells' zweckmäßig; das bestehende ‚Akteursforum' könnte dafür Muster oder Nukleus sein
Strategien:	geeignete Handlungsoptionen, Entscheidungs- und Wahlmöglichkeiten zur Erreichung der Ziele; • sollten auf Basis laufender Erfahrungen angepasst und weiterentwickelt werden; • sollten soweit als möglich fachlich abgesichert sein; • müssen im gesellschaftlich / rechtlichen / wirtschaftlichen Umfeld eingebettet sein und diesbezüglich „funktionieren"; • sollen Optionen und genug Platz für Optimierungen enthalten; • Blick auf das Wesentliche;	
Modelle:	geeignete Werkzeuge zum Verständnis des Systems und Durchspielen verschiedener Maßnahmen bzw. Entscheidungen (Vorhersage der Wirkungen); • sollten nicht zu eng sein, d.h. alle wesentlichen Aspekte abbilden; sollten sich aber andererseits auf das Wesentliche beschränken; • sollten „funktionieren", d.h. möglichst weitgehend getestet (kalibriert und validiert) sein; • sollten auf Basis laufender Erfahrungen weiter entwickelt werden; • sollten in geeigneter Form mit Unschärfen bzw. Unsicherheiten umgehen können und diesbezüglich möglichst robust sein; • sollten keine Scheingenauigkeiten vortäuschen;	
Maßnahmen:	• geeignete Entscheidungs- bzw. Wahlmöglichkeiten auf der betrieblichen, operativen, technischen Ebene; • primäre Steuergrößen (im vorliegenden Fall): → Zugabemengen → Zugabebereiche → Zugabe-Kornverteilung → begleitende flussbauliche Maßnahmen;	
Monitoring / Evaluierung:	geeignete Werkzeuge zur Erfolgskontrolle bzw. zur Beobachtung der relevanten Prozesse und Einflussgrößen; • Methoden sollten sich auf das Wesentliche beschränken, andererseits aber auch nicht zu eng sein (und wesentliche Aspekte ausblenden); • Methoden sollen „funktionieren", also bewährt und robust sein; • sollen auf Basis laufender Erfahrungen weiter entwickelt werden; • sollen möglichst rasch umsetzbar und auswertbar sein;	

[216] Monitoring und Erfolgskontrolle (Evaluierung) sind zentrale Teile jedes adaptiven Managements. Die wesentlichen Steuergrößen und Einflussgrößen für eine optimierte Geschiebebewirtschaftung werden in Tab. 23 aufgelistet. Diese Aspekte und Parameter sind der primäre Gegenstand eines projektbezogenen Monitorings. Es ist im vorliegenden Fall eine erfreuliche Tatsache, dass fast alle der hier genannten Aspekte bereits heute ziemlich genau bekannt sind. Die Geschiebebewirtschaftung würde diesbezüglich keine besondere Vorbereitungsphase (Prämonitoring) benötigen; im Vordergrund stünden Erfolgskontrolle und Erfahrungsgewinn für den Fall der (gezielten) Veränderung von Randbedingungen (speziell Sohlvergröberung). Es wird auch empfohlen, das projektrelevante Monitoring mit möglichst einfachen, bewährten und robusten Methoden zu betreiben. Neuere („innovative“) und darüber hinausgehende Ansätze können natürlich im Rahmen wissenschaftlicher Programme entwickelt und eingesetzt werden, das hat aber andere Zielsetzungen.

Tabelle 23: Monitoring und Erfolgskontrolle für eine optimierte Geschiebebewirtschaftung

Fragestellung / Aspekt:	**Methode:**	**Anm.:**
Sohlstabilität (Erfolgskontrolle)	Wasserspiegel-Fixierungen (für charakteristische Abflüsse) und deren zeitlicher Vergleich	wird ohnehin bereits durchgeführt (via donau); zeitlich aber zu verdichten (möglichst jährlich, abhängig von den jeweiligen Abflüssen), ggf. Verdichtung des Pegelnetzes;
bzw.: Nachsteuern der Zugabemengen	Stromgrundaufnahmen in bestimmten Zeitabständen (halbjährlich und nach stärkeren HW) und Ermittlung der Differenz-Kubaturen (Auflandungs-/ Eintiefungs-Kubaturen) im Längsverlauf	wird ohnehin bereits durchgeführt (via donau), Methodik vorhanden und bewährt;
Festlegen der Zugabebereiche		primäre Zugabebereiche: langgestreckte Kolke (VHP-Zugaben: Erhaltungsstrecke; zusätzliche Zugaben: Stromkm 1910 bis ca. 1903); darüber hinausgehend identifizierte Erosionszonen
Festlegen der Zugabe-Kornverteilungen (Ausgleich des Verkleinerungsverlustes, Abrieb und Sortierung bei der Geschieberückführung)	Sohlproben in den Zugabebereichen und Baggerbereichen (bzw. Kiesquellen), Vergleich der Kornverteilungen aus Zugabe- und Baggerbereichen	Methodik vorhanden und bewährt; praktische Abwicklung (Entnahme, Siebung, Auswertung) wäre noch zu optimieren; Entnahmen primär mit Greifer, in Einzelfällen Freeze-Cores
Eignung des Zugabematerials aus petrographischer / chemischer / hygienischer Sicht	petrographische und chemische Untersuchungen	Methodik vorhanden und bewährt; primär bei den „von außen“ abgelieferten Zugabemischungen
Sohlvergröberung: Wirkungsgrad (Abnahme der Transportintensität), ggf. auch damit zusammenhängende Aspekte wie z.B. Einmischtiefe	Tracerversuche, vorzugsweise radio-telemetrisch (event. auch petrographisch)	radio-telemetrisch verfolgte Tracer mittlerweile eine bewährte Methodik (Monitoring der BOKU zum Naturversuch Bad Dt. Altenburg, vgl. Liedermann et al., 2012a, 2012b)

6.6 Vorteile und Potentiale einer optimierten Geschiebebewirtschaftung

[217] Insgesamt bestehen für das hier dargestellte Konzept einer optimierten Geschiebebewirtschaftung folgende Vorteile:

- die größere Zahl von Steuermöglichkeiten (neben den Möglichkeiten der Sohlvergröberung auch Geschiebezugabe aus verschiedenen Quellen und diverse unterstützende flussbauliche Maßnahmen);
- die Möglichkeit, die Sohlvergröberung (Granulometrische Sohlverbesserung) und andere Maßnahmen kontinuierlich, auf Basis der gesammelten Erfahrungen und adaptiv zu entwickeln;
- die Anpassung der Korngrößen des Zugabematerials an die jeweilige flussmorphologische (bzw. hydraulische) Situation;
- die Berücksichtigung der bereits genehmigten VHP-Geschiebezugabe auch ohne Notwendigkeit einer (zivilrechtlichen) Einigung mit der VHP-Verbund;
- die Stabilität einer solchen Lösung gegen hydrologisch oder betrieblich bedingte Abweichungen bzw. Störungen (wenn vorübergehend zu wenig Material zugegeben wird, dann ist das nachträglich leicht zu ergänzen; entscheidend ist nur die langfristige Bewirtschaftung des Geschiebespeichers, den die Sohle bildet);
- die Berücksichtigung des Problems der Geschiebeablagerungen im obersten Teil des Stauraumes (Stauwurzel) von Gabčikovo und Verbesserung dieser Situation auch für die Slowakei;
- eine mutmaßlich einfachere und günstigere Genehmigungsfähigkeit (u.a. VHP-Geschiebezugabe als Referenz; keine Notwendigkeit einer UVP, vgl. Kap 8.1);
- alle Optionen für ein allfällig später zu realisierendes FGP bleiben offen bzw. es werden dafür Grundlagen (Erfahrungen) aufbereitet; im weitesten Sinn kann eine solche Form der Geschiebebewirtschaftung mit der adaptiven Vorgangsweise der Kern eines modifizierten FGP's bilden.

6.7 Risiken, Nachteile und Probleme

[218] Die technischen Risiken und die damit verbundenen Risiken von Kostenüberschreitungen sind bei einer Geschiebebewirtschaftung im Sinn dieser Studie grundsätzlich geringer als bei der GSV, weil alle primären Maßnahmen längst ‚Stand der Technik' sind und in ihrer Funktionsweise und Effizienz sicherer einzuschätzen sind als die GSV, während alle unsicheren Einflüsse (Wirkung der allmählichen Sohlvergröberung; Kieseinträge durch Uferrückbau) nur die additiven Schritte betreffen und im Zuge des adaptiven Managements genügend Zeit und Gelegenheit für deren Optimierung besteht.

[219] Mit einer Geschiebebewirtschaftung wird zunächst eine Übergangs- oder Zwischenlösung angestrebt, also ein Provisorium, und solche Provisorien sind mit dem allgemeinen Risiko behaftet, weiter reichende und bessere Lösungen zu behindern. Andererseits wäre mit einer Geschiebebewirtschaftung jedenfalls eine deutliche Verbesserung gegenüber dem Ausgangszustand (also der „Nullvariante") verbunden, und es blieben auch alle Optionen für spätere Optimierungen oder für den Übergang zum FGP aufrecht.

[220] Eine Geschiebebewirtschaftung setzt einen zeitlich unbefristeten Betrieb voraus; sie kann daher grundsätzlich nicht „nachhaltig" sein. Es gibt zwar Möglichkeiten, die Materialeffizienz einer Geschiebebewirtschaftung zu verbessern (vgl. auch Kap. 5.1), aber das Potential für

solche Optimierungen ist geringer als bei einer im großen Maßstab und konsequent durchgeführten Sohlvergröberung, wie sie mit der GSV im FGP vorgesehen wäre.

[221] Für die Schifffahrt hätte eine Geschiebebewirtschaftung ohne begleitende Maßnahmen zur Erhöhung der Fahrwassertiefen keine Vorteile. Es könnte daher nicht weiter von einer „Win-Win-Situation“ ausgegangen werden; Naturschutz und Schifffahrt würden damit, was die Verfolgung ihrer Ziele betrifft, wieder getrennte Wege gehen.

[222] Abweichend von der unter Abs. [221] genannten Überlegung könnte man aber auch argumentieren, dass bei einer erodierenden Flusssohle Baggerungen nicht auf Dauer genehmigungsfähig sein werden. Die Erreichung einer durchgehenden und tatsächlich vorhandenen Fahrwassertiefe („Ist-Fahrwassertiefe“) von 25 dm (unter RNW) würde dann eine (dynamisch) stabile Sohle erfordern (Argumentationslinie Dr. Baumgartner, Nationalpark Donau-Auen). Ob dies tatsächlich auf rechtlicher – und im Besonderen auf naturschutzrechlicher – Ebene so junktimiert werden kann, ist eine juristische Frage, die hier nicht geklärt werden kann.

7 Wirtschaftliche Aspekte: Kostenmodelle für Normalgeschiebezugabe und optimierte Geschiebebewirtschaftung

[223] Im Folgenden werden Kostenmodelle für die wichtigsten Module einer optimierten Geschiebebewirtschaftung entwickelt und beschrieben; Preisbasis ist Dezember 2013; es werden generell Nettopreise (ohne USt.) angegeben.

[224] Die Ermittlung der Kosten erfolgt nach den in der Bauwirtschaft üblichen Elementen und Ansätzen und unter Berücksichtigung bisheriger Erfahrungen, was den Einsatz, die Kosten und die Leistungsfähigkeit der Geräte betrifft.

[225] Es muss auf den grundsätzlichen Unterschied zwischen Kosten und Preisen hingewiesen werden: Kosten ergeben sich scheinbar objektiv als Ergebnis einer Kostenrechnung, bei der alle relevanten Aufwendungen (und ggf. auch Risiken) monetär bewertet werden; Preise werden hingegen durch die Marktverhältnisse und das Verhältnis aus Angebot und Nachfrage bestimmt und können sowohl über als auch unter den Kosten liegen. Der Markt für flussbauliche Arbeiten ist sehr weit davon entfernt, ein „vollkommener Markt“ zu sein; es handelt sich vielmehr, da es sowohl auf Seite der Anbieter als auch auf Seite der Nachfrager nur wenige Akteure gibt, um ein beidseitiges Oligopol. Bei der Preisbildung können daher gegenseitige Beeinflussungen der Anbieter (beispielsweise Verdrängungskämpfe oder – in der anderen Richtung – Kartellbildungen), teilweise auch der Nachfrager, zu größeren Differenzen zu den „objektiven“ Kosten führen. Solche Effekte können praktisch nicht prognostiziert werden.

[226] Grundsätzlich kann aber davon ausgegangen werden, dass eine langfristige und im größeren Rahmen durchgeführte Form der Geschiebebewirtschaftung mit tendenziell günstigeren Preisen als kleinere und kurzfristig abzuwickelnde Projekte realisiert werden kann: Die Geräte und sonstigen Ressourcen können langfristig deutlich günstiger geplant und ausgelastet werden; für organisatorische bzw. betriebliche Optimierungen besteht mehr Platz. Dazu kommt die Möglichkeit, Geräte und Personal über das Jahr besser auszulasten: Die Geschie-

bezugaben fallen speziell in Phasen höherer Basisabflüsse (an der Donau: April bis Juli/August) an, also in der Jahreszeit, in der normalerweise keine Instandhaltungsbaggerungen durchgeführt werden; und umgekehrt können die Geschiebezugaben vorübergehend unterbrochen werden, um die Kapazitäten für Instandhaltungsbaggerungen einzusetzen, solange der Jahreseinbauplan dadurch nicht gefährdet wird.

7.1 Basisdaten und Rechenannahmen

[227] Für schwimmende Geräte, Personal und Sonstiges werden auf Basis vorliegender Erfahrungen und unter Berücksichtigung ergänzender Recherchen folgende kalkulatorische Ansätze (Nettopreise; Preisbasis: Dezember 2013) berücksichtigt:

Tabelle 24a: Kalkulatorische Ansätze für die Geschiebebewirtschaftung

Schwimmender Hydraulikbagger (Stelzenponton), ca. 320 kW (A+V+R)[66]:	ca. 250 €/h
Schubschiff, ca. 1200 kW (A+V+R):	ca. 200 €/h
Schubschiff, ca. 1500 kW (A+V+R):	ca. 250 €/h
Schubleichter, max. ca. 2000 t (A+V+R):	ca. 200 €/d
Hydroklappschuten, 250 bis 400 m^3 (A+V+R):	ca. 600 €/d
Treibstoffverbrauch (Diesel, netto, d.h. ohne USt.) und inkl. Schmierstoff:	ca. 0,11 €/kWh
Personal, Kapitän:	40 €/h
Personal, Baggerfahrer, Matrosen:	35 €/h
Steuerung der Arbeiten (Bauleiter/Techniker): ca. 25% Teilzeit, ca. 7000 €/m (inkl. Lohnnebenkosten und anteilige Sachaufwände), gerundet:	ca. 440 €/w
Messboot (inkl. Bootsführer und Techniker) und Auswertung:	2000 €/d

[228] Für die Grobkornzulieferung (16/120 mm oder ähnlich) und die zugehörigen Transporte und Aufwendungen für den Umschlag werden folgende kalkulatorische Ansätze (Nettopreise; Preisbasis: Dezember 2013) berücksichtigt:

Tabelle 24b: Spezielle Kalkulatorische Ansätze für die Geschiebebewirtschaftung (Grobkiesanreicherung)

Grobkies (16/120 mm oder ähnlich) ab Grube, inkl. Siebung und Prüfnachweise	ca. 10 €/t (*1,7 t/m^3 → 17,0 €/m^3)
Radlader (100 kW) und Kran, inkl. Fahrer und Treibstoffkosten	ca. 190 €/h
LKW, 4-Achser (Nutzlast 29 t), inkl. Fahrer, LKW-Maut und Treibstoffkosten	ca. 80 €/h

Für den Antransport mittels LKW werden, abhängig von der Transportweite, Umlaufzeiten und damit Transportkosten ermittelt; für eine Kiesgrube in der Nähe von Markgrafneusiedl, die als typisches Beispiel für Kiesvorkommen im Wiener Raum angesetzt werden kann, ist die Umlaufzeit (einschließlich Be- und Entladung) bei einer Entfernung von rd. 25 km mit etwa 1,2 bis 1,3 Stunden abzuschätzen; die damit verbundenen Kosten werden dem Kostenmodul für die Grobkornzulieferung zugrunde gelegt.

66 A+V+R: Abschreibung, Verzinsung und Reparaturanteil;

Für die Hafengebühren (und erforderliche Lagerflächen im Hafen) werden 8‘800 €/w angesetzt, also bei einer Umschlagleistung von 8000 m^3/w rund 1,1 €/m^3.

[229] Für Wagnis und Gewinn wird ein genereller Zuschlag von 3% eingerechnet, im Sinn eines Gesamtzuschlages.

7.2 Kosten für die Normalgeschiebezugabe nach VHP-Methode

[230] Die Kosten für diese Form der Geschiebebewirtschaftung werden in Anhang K1 rechnerisch ermittelt; Basis bilden die unter Pkt. 7.1 angegebenen kalkulatorischen Ansätze für Geräte, Personal, Treibstoff und Sonstiges. Der Kies stammt aus Kompensationsbaggerungen (Stauraum Altenwörth, bei Krems) bzw. aus Baggerungen an der Mündung der Traisen[67], also ohne zusätzliche (über das Baggern hinausgehende) Materialkosten.

[231] Einflussfaktoren sind:

- Art und Zahl der verwendeten Geräte,
- Abschreibung, Verzinsung und Reparaturanteile der Geräte,
- Kosten für Treibstoff (Diesel) und Betriebsstoffe (Schmierstoffe),
- Kosten für das Personal,
- Kosten für die Steuerung der Arbeiten und die dazu erforderlichen Stromsohlvermessungen;
- Leistungsansätze für Geräte und Personal;

[232] Im Folgenden wird folgende Bau- und Transportlogistik angenommen: zwei permanent eingesetzte schwimmende Hydraulikbagger (einer für die Materialgewinnung, einer für den Umschlag von den Schubleichtern auf Hydroklappschuten) + sechs Schubleichter (zwei an der Beladestelle; zwei transportiert; zwei an der Umschlagstelle) + zwei Schubschiffe (eines für den Transport von der Baggerstelle zum Umschlag; eines für den Einbau mit Hydroklappschuten) + zwei Hydroklappschuten (eines an der Umschlagstelle, eines auf Einbaufahrt); mit diesen Mitteln ist eine Wochenleistung von 8000 m^3 realistisch möglich.

[233] Auf die Summe der Kosten für Baggern, Transportieren, Umschlag und Einbau wird ein Zuschlag von 5% zur Berücksichtigung von Stillstandzeiten durch Hochwasser und Eis eingerechnet.

[234] Unter den dargestellten Bedingungen fallen Kosten (netto) von etwa 11,8 €/m^3 an; mit diesem kalkulatorischen Einheitspreis und der mittleren Jahreseinbaumenge von 190‘000 m^3 können für diese Form der Geschiebezugabe Jahreskosten (netto, Preisbasis Dezember 2013) von etwa 2,25 Mio. € angenommen werden.

---

67 Das Kiesmaterial aus dem Bereich Traisenmündung ist wahrscheinlich deutlich feiner als erforderlich (Fein- bis Mittelkies statt Grobkies) und, sofern das zutrifft, nur teilweise anrechenbar.

7.3 Kosten für eine Ausweitung der Geschiebezugabe durch Rückführung des Austrages

[235] Im Folgenden wird eine Basis-Zugabe im Sinn der bisher praktizierten VHP-Geschiebezugabe mit mittleren Zugaberaten von 190‘000 m^3/a vorausgesetzt. Zusätzliche Kosten fallen nun durch folgende Leistungen (vgl. auch Kap. 6.1.2) an:

- Rückführung des Geschiebeaustrages (im Ausmaß von rund 130‘000 m^3/a) aus der Unterliegerstrecke und Wiederverklappen knapp stromab der VHP-Erhaltungsstrecke: Baggern bei Strom-km 1879; Schiffstransport bergwärts bis etwa Strom-km 1909 bis 1904 (d.h. über eine Transportweite von rd. 30 km); Verklappen;
- Kompensation des Abriebverlustes und allmähliche Sohlvergröberung (im Ausmaß von rund 32‘000 m^3/a): Lieferung von Grobkies der Fraktion 16/120 mm (oder ähnlich) zum Hafen Freudenau, Schiffstransport (über im Mittel 15 km) und Verklappen;

[236] Die Kosten für diese Form der Geschiebebewirtschaftung werden in Anhang K2 rechnerisch ermittelt; dabei wird, analog zu Pkt. 7.2 (VHP-Geschiebezugabe), von einer Wochenleistung von 8000 m^3 ausgegangen; Geräte (Art und Anzahl), Personaleinsatz, Treibstoffkosten und sonstige kalkulatorische Ansätze sind ähnlich wie bei der VHP-Geschiebezugabe, mit drei Ausnahmen:

- es wird für den Transport wegen des Einsatzes in der freien Fließstrecke ein stärker motorisiertes Schubschiffe (1500 kW statt 1200 kW) angenommen,
- für das (häufigere) Verstellen des Schwimmbaggers wird zeitweise (ca. 20 Std./w) ein zusätzliches (also drittes) Motorschubschiff (1200 kW) angesetzt;
- zur Berücksichtigung von Zeiten mit reduzierter Abladetiefe wegen Niederwasser wird der Zuschlag / für Stillstandzeiten und NW-bedingte Erschwernisse von 5% auf 25% erhöht (Arbeiten in einer freien Fließstrecke);

[237] Für die Transportweite von 25 bis 30 km (bergwärts beladen, Leerfahrt talwärts) kann eine Spieldauer von 8 bis 9,5 Stunden angesetzt werden (Tab. 25); damit und mit dem Einsatz von 2er-Schubverbänden kann die oben genannte Wocheneinbaumenge mit durchschnittlich 5 Fahrten pro Woche bewältigt werden. Zusätzlich erforderliche Fahrten wegen Niederwasser (geringere Abladung) werden über den (oben genannten) Zuschlag von 25% berücksichtigt.

Tabelle 25: Ermittlung der Spieldauer (Umlaufzeit) für die Geschieberückführung

	Transportweite 25 km	**Transportweite 30 km**
Bergfahrt (beladen): Geschwindigkeit über Grund: 4 km/h	6,25 Std	7,50 Std.
Talfahrt (leer): Geschwindigkeit über Grund: 22 km/h	1,14 Std.	1,36 Std.
Manöverzeit (Anlegen und Wenden):	0,5 Std.	0,5 Std.
Gesamte Spieldauer =	7,89 Std.	9,36 Std.

[238] Unter den dargestellten Bedingungen fallen Kosten (netto) von etwa 16,1 €/m^3 an; damit und der mittleren Menge von 130‘000 m^3 können für diese Maßnahme der Geschiebezugabe Jahreskosten (netto) von etwa 2,1 Mio. € angenommen werden.

7.4 Kosten für eine Grobkornanreicherung (16/120 mm oder ähnlich)

[239] Die Kosten für diese Maßnahme werden in Anhang K3 rechnerisch ermittelt; Basis bilden die unter Pkt. 7.1 angegebenen kalkulatorischen Ansätze für Material, Geräte, Personal, Treibstoff und Sonstiges. Es fallen Kosten für den Grobkies (Kauf), den Transport zum Hafen Wien, den Umschlag auf größere Hydroklappschuten, den Schiffstransport und das Verklappen mittels Hydroklappschuten an.

[240] Angenommen wird, dass der Kies aus Kiesgruben im Wiener Becken stammt, beispielsweise aus Kiesgruben bei Markgrafneusiedl (im nördlichen Marchfeld); das Material wird zum Hafen Wien gebracht (rechnerische Transportweite: rund 25 km) und dort mittels Radlader und Kran auf größere Hydroklappschuten (400 m^3) umgeschlagen.

[241] Im Folgenden wird folgende Transport- und Einbaulogistik angenommen: Materiallieferung per Lastkraftwagen; Umschlag per Radlader und Kran (mittlere Leistung: 140 m^3/Std.); zwei Schubschiffe (1500 kW) für Transport und Einbau + vier Hydroklappschuten (zwei an der Umschlagstelle im Hafen, zwei auf Einbaufahrt); mit diesen Mitteln ist eine Wochenleistung von 8000 m^3 realistisch möglich.

[242] Für die Transportweite von 10 bis 15 km (Hafen Wien, Strom-km 1920 bis knapp stromab der VHP-Erhaltungsstrecke, talwärts beladen, Leerfahrt bergwärts) kann eine Spieldauer von 3,5 bis 5,0 Stunden angesetzt werden; damit und mit dem Einsatz von zwei Schubschiffen kann die oben genannte Wocheneinbaumenge mit durchschnittlich 5 Tagen pro Woche (mit jeweils zwei Einbaufahrten) bewältigt werden. Zusätzlich erforderliche Fahrten wegen Niederwasser (geringere Abladung) werden über den (oben genannten) Zuschlag von 25% berücksichtigt.

[243] Unter den dargestellten Bedingungen fallen Kosten (netto) von etwa 35,5 €/m^3 an; damit und der mittleren Menge von 32‘000 m^3 können für diese Maßnahme der Geschiebezugabe Jahreskosten (netto) von etwa 1,14 Mio. € angenommen werden.

7.5 Zusatzkosten für eine Modifikation der Instandhaltungsbaggerungen

[244] Im Folgenden wird vorausgesetzt, dass sich durch die Geschiebebewirtschaftung die gesamte Baggermenge für die Instandhaltung der Fahrrinne nicht erhöht, vgl. Pkt. [183]. Andererseits sollen die durchschnittlichen Transportweiten (bergwärts) zwischen dem Baggern und dem Wiederverklappen vergrößert werden. Zur Abschätzung dieser Aufwendungen werden differenzielle Zusatzkosten [€ pro m^3 und km] ermittelt. Diese ergeben sich (unter Berücksichtigung der unter Kap. 7.1 genannten Randbedingungen) aus den Kosten für das Schubschiff (250 €/h), zwei Schuten (2*55 €/h), Personal (40+2*35=110 €/h) und den für den Transport erforderlichen Treibstoff (1500*0,11=165 €/h). Weitere Rechenannahme sind: mittlere Geschwindigkeiten zu Berg (Lastfahrt) 4 km/h und zu Tal (Leerfahrt) 22 km/h; Nettonutzlast (zwei Schuten) 1300 to (d.h. ca. 765 m^3). Damit erhält man Zusatzkosten (über das Baggern und Wiederverklappen hinausgehend) von rd. 0,29 €/(m^3.km), das entspricht einem Wert von rd. 0,17 €/(to.km).

[245] Für das unter Pkt. [179] beschriebene Szenario, dass pro Jahr 120‘000 m^3 über zusätzlich 3 km bergwärts transportiert werden (mit einem resultierenden Zugabeäquivalent von

12‘000 m^3/a) und den oben genannten Rechenannahmen erhält man Zusatzkosten (über das Baggern und Wiederverklappen hinausgehend) von rd. 104‘000 €/a.

7.6 Zusammenstellung der Kosten

[246] In Tab. 26 werden die Kosten für die unmittelbare Geschiebezugaben (Pos. 1, 2a, 2b und 3) und die zeitlichen Szenarien gem. Kap 6.2 (Anfangs-Szenario), Kap. 6.3 (Langfrist-Szenario) und Kap. 6.4 (Langfrist-/Sparszenario) zusammengefasst. Die Kosten der additiven Maßnahmen gem. Kap. 6.1.5 (Spezielle Sicherungen gegen Sohldurchschlag) und Kap. 6.1.6 (Uferrückbau, Hinterrinner, Kieshaldenrückführung und dgl.) werden hier nicht abgeschätzt, sie haben den Charakter bzw. sind im Kontext konkreter Projekte zu sehen. In der Größenordnung kann man für den damit in den Geschiebehaushalt der Donau rückgeführten Kies einen monetären Aufwand ähnlich wie bei den Pos. 1 bzw. 2a annehmen, also zwischen etwa 12 und 16 €/m^3.

Tabelle 26: Laufende Kosten (netto, pro Jahr) für die Geschiebezugaben und für die verschiedenen Szenarien; Preisbasis: Dezember 2013;

	Anfangsszenario gem. Kap. 6.2	**Lastfristszenario** gem. Kap. 6.3	**Langfrist-Sparszenario** gem. Kap. 6.4
VHP-Geschiebezugabe	$\approx 190'000 \cdot 11{,}82$ ~ 2,25 Mio. €	≥ 2,25 Mio. € je nach Materialquellen	
Geschieberückführung (Pos. 2a)	$\approx 130'000 \cdot 16{,}14 \approx$ 2,10 Mio. €/a		$\approx 64'000 \cdot 16{,}14 \approx$ 1,03 Mio. €
Grobkornanreicherung (Pos. 2b)	$\approx 32'000 \cdot 35{,}52 \approx$ 1,14 Mio. €/a		$\approx 16'000 \cdot 35{,}52 \approx$ 0,57 Mio. €/a
Zusatzkosten zu den Instandhaltungsbaggerungen (Pos. 3)	$\approx 120'000 \cdot 3 \cdot 0{,}29 \approx$ 0,10 Mio. €/a		$\approx 120'000 \cdot 3 \cdot 0{,}29 \approx$ 0,10 Mio. €/a
laufende Kosten, zusätzlich zur VHP-Geschiebezugabe	**≈ 3,34 Mio. €/a**		**≈ 1,70 Mio. €/a**

7.7 Ermittlung des Barwertes für ein langfristiges Szenario (nur Kosten zusätzlich zur VHP-Geschiebezugabe)

[247] Für ein langfristiges Szenario (vgl. auch Abb. 31) mit anfänglichen Kosten von (über die ersten 25 Jahre) konstant 3,34 Mio. €/a (zusätzlich zur VHP-Geschiebezugabe) und einem (linearen) Rückgang der Kosten zwischen dem 26. und dem 40. Jahr auf 1,70 Mio. €/a (Langfrist-Sparszenario) und verschiedene Diskontzinssätze und Betrachtungszeiträume wird im Folgenden der Barwert für die zusätzlich zur VHP-Geschiebezugabe anfallenden Aufwendungen (ohne Planung, Projektsteuerung und Monitoring) angegeben, sh. Tab. 27. Der Diskontzinssatz berücksichtigt, dass alle zukünftige Kosten (aber auch Nutzen) geringer als jene der Gegenwart zu bewerten sind (Zeitpräferenz) und daher nach den Regeln der Finanzmathematik abzuzinsen sind und enthält andererseits auch alle Preisgleitungseffekte (Nominalzinssatz); es werden daher alle Kosten mit derzeitiger Preisbasis angesetzt.

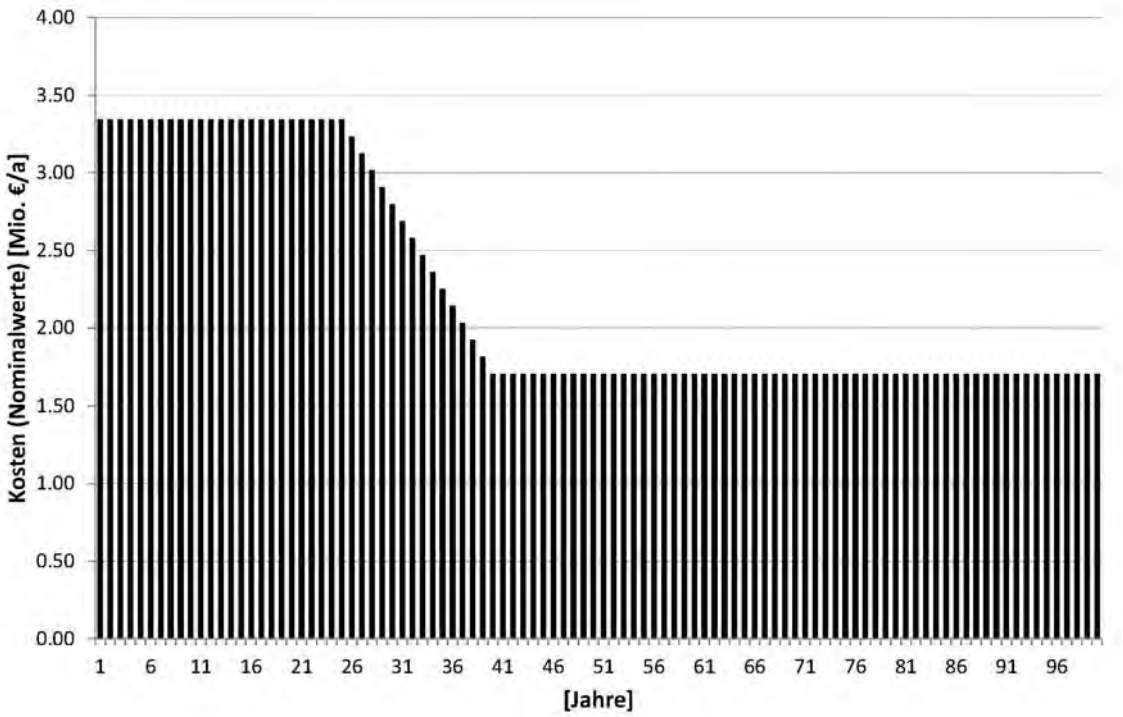


Abb. 31: Angenommene Jahreskosten (Nominalwerte) für die Ermittlung des Barwertes, Geschiebebewirtschaftung zusätzlich zu den VHP-Zugaben

Tabelle 27: Barwerte (verschiedene Diskontzinssätze und Betrachtungszeiträume im Sinn einer Sensitivitätsuntersuchung) für das zu untersuchende Szenario, Geschiebezugaben zusätzlich zu den VHP-Zugaben, angenommene Kostenentwicklung gem. Abb. 31

	Barwert [Mio. €], Betrachtungszeitraum (‚kalkulatorische Lebensdauer'):			
	T=25 a	**T=50 a**	**T=75 a**	**T=100 m**
Diskontzinssatz 3%	58,16	77,01	83,76	86,98
Diskontzinssatz 4%	52,18	65,66	69,40	70,80
Diskontzinssatz 5%	47,07	56,80	58,89	59,50

Die hier angeführten Werte enthalten keine Aufwendungen für Planung, Monitoring und Projektsteuerung und auch keine Kosten für additiven Maßnahmen gem. Kap. 6.1.5 (Spezielle Sicherungen gegen Sohldurchschlag) und Kap. 6.1.6 (Uferrückbau, Hinterrinner, Kieshaldenrückführung und dgl.). Planung, Monitoring und Projektsteuerung können mit etwa 10% dieser Kosten abgeschätzt werden; um dieses Ausmaß würden sich die in Tab. 27 genannten Barwerte erhöhen.

8 Ergänzende Überlegungen

[248] Im Folgenden werden einzelne administrativ, planungsmethodisch oder strategisch relevante Überlegungen kurz dargestellt. Im Zusammenhang mit den juristischen Fragen wird ggf. eine weiter führende Prüfung durch entsprechend erfahrene Umweltjuristen empfohlen.

8.1 Anmerkungen zur UVP-Pflicht

[249] Eine der zentralen Probleme des Flussbaulichen Gesamtprojektes der via donau ist die UVP-Pflicht und die damit verbundenen Verzögerungen, die durch das vom Projektträger beantragte bzw. gewählte zweistufige Verfahren (Trennung zwischen ‚Grundsätzlicher Genehmigung' und ‚Detailgenehmigung' gem. §18 UVP-G 2000) noch weiter verschärft wurden. Umgekehrt formuliert: Für einen raschen Stopp der Sohlerosion scheint eine Vorgangsweise, die nicht der UVP-Pflicht unterliegt, Voraussetzung zu sein.

[250] Relevante Sachverhalte (Vorhabenstypen), die eine UVP-Pflicht begründen, werden in Anlage 1 UVP-G 2000 aufgelistet; im vorliegenden Fall sind dies im Besonderen:

- Z 15 (d.) / Spalte 2: Änderungen von Regulierungsbauten an Wasserstraßen mit einer Baulänge von mehr als 5 km; ausgenommen sind Maßnahmen zur Verbesserung der ökologischen Funktionsfähigkeit der Gewässer (Renaturierungen) sowie Maßnahmen zur Instandhaltung;
- Z 15 (h) / Spalte 3: Änderungen von Regulierungsbauten an Wasserstraßen in schutzwürdigen Gebieten der Kategorie A mit einer Baulänge von mehr als 2,5 km; ausgenommen sind Maßnahmen zur Verbesserung der ökologischen Funktionsfähigkeit der Gewässer (Renaturierungen) sowie Maßnahmen zur Instandhaltung;
- Z. 37 / Spalte 3: Gewinnung von mineralischen Rohstoffen durch Baggerung in einem Fluss in schutzwürdigen Gebieten der Kategorie A mit einer Entnahmemenge von mehr als insgesamt 400 000 m_3 oder mehr als 100 000 m_3/a, ausgenommen flussbauliche Erhaltungsmaßnahmen an diesem Fluss;
- Z 42 (a) / Spalte 2: Neubau von Schutz- und Regulierungsbauten mit einer Baulänge von mehr als 5 km an Fließgewässern mit einem mittleren Durchfluss (MQ) von mehr als 5 m^3/s; ausgenommen sind Maßnahmen zur Verbesserung der ökologischen Funktionsfähigkeit der Gewässer (Renaturierungen) sowie Maßnahmen zur Instandhaltung;
- Z 42 (b) / Spalte 2: Änderung von Schutz- und Regulierungsbauten mit einer Baulänge von mehr als 5 km an Fließgewässern mit einem mittleren Durchfluss (MQ) von mehr als 5 m^3/s, bei denen das Bemessungshochwasser (HQ_n) erhöht wird; ausgenommen sind Maßnahmen zur Verbesserung der ökologischen Funktionsfähigkeit der Gewässer (Renaturierungen) sowie Maßnahmen zur Instandhaltung;
- Z 42 (c) / Spalte 3: Neubau von Schutz- und Regulierungsbauten in schutzwürdigen Gebieten der Kategorie A mit einer Baulänge von mehr als 2,5 km an Fließgewässern mit einem mittleren Durchfluss (MQ) von mehr als 2,5 m^3/s; ausgenommen sind Maßnahmen zur Verbesserung der ökologischen Funktionsfähigkeit der Gewässer (Renaturierungen) sowie Maßnahmen zur Instandhaltung.

- Z 42 (d) / Spalte 3: Änderungen von Schutz- und Regulierungsbauten in schutzwürdigen Gebieten der Kategorie A mit einer Baulänge von mehr als 2,5 km an Fließgewässern mit einem mittleren Durchfluss (MQ) von mehr als 2,5 m³/s, bei denen das Bemessungshochwasser (HQ_n) erhöht wird; ausgenommen sind Maßnahmen zur Verbesserung der ökologischen Funktionsfähigkeit der Gewässer (Renaturierungen) sowie Maßnahmen zur Instandhaltung.

„Spalte 2“ bedeutet in diesem Zusammenhang, dass ein „vereinfachtes“ UVP-Verfahren besteht; „Spalte 3“ umfasst Vorhaben, die nur bei Zutreffen besonderer Voraussetzungen der UVP-Pflicht (nach vereinfachtem Verfahren) unterliegen und diesbezüglich durch die Behörde eine Einzelfallprüfung zu erfolgen hat. Die in einzelnen Absätzen genannten Gebiete der „Kategorie A“ umfassen besondere Schutzgebiete (u.a. nach Vogelschutzrichtlinie, nach Flora-Fauna-Habitat-Richtlinie, nach landesrechtlichen Vorschriften usw.), der Nationalpark Donau-Auen fällt jedenfalls in diese Kategorie.

[251] Unter den in Abs. [250] genannten Bestimmungen bleibt eine Geschiebebewirtschaftung von der UVP-Pflicht ausgenommen, solange es zu keiner „Gewinnung“ von Kies kommt bzw. eine solche Gewinnung lediglich der flussbaulichen Erhaltung dient, was ja bei einer Geschiebebewirtschaftung definitionsgemäß der Fall ist, und solange Schutz- und Regulierungsbauten nicht über die genannten Schwellenwerte hinausgehend umgebaut (geändert) oder gebaut werden oder solche Um- oder Neubauten lediglich der Verbesserung der ökologischen Funktionsfähigkeit der Gewässer (Renaturierungen) oder der Instandhaltung dienen. Die hier genannten Voraussetzungen für den Entfall der UVP-Pflicht sind bei einem Programm (Geschiebebewirtschaftung) im Sinn dieser Studie jedenfalls gegeben.

8.2 Hinweis auf §21a WRG (Abänderung von Bewilligungen), damit zusammenhängende Argumentationslinien

[252] Eine umfassende und optimierte Geschiebebewirtschaftung könnte – ggf. als Zwischenlösung bis zur vollen Realisierung des FGP – durch die Republik Österreich (bzw. die via donau als ausführendes Organ) durchgeführt werden, zumal die Republik sowohl für die Donau als auch (gemeinsam mit den Bundesländern Wien und Niederösterreich) für den Nationalpark Donau-Auen verantwortlich ist. Alternativ – und unter besonderer Berücksichtigung des Verursacherprinzips – könnte geprüft werden, ob nicht speziell die Verbund Hydro Power (in der Rechtsnachfolge der früheren Österreichischen Donaukraft AG), deren Donaukraftwerke das bestehende Geschiebedefizit wesentlich verursacht haben und weiter verursachen, zu einer Ausweitung ihrer Geschiebezugabe verpflichtet werden können. Bestehende wasserrechtliche Genehmigungen können nach §21a WRG abgeändert werden:

Abänderung von Bewilligungen

§ 21a. (1) Ergibt sich nach Erteilung der Bewilligung insbesondere unter Beachtung der Ergebnisse der Bestandsaufnahme (§ 55d), dass öffentliche Interessen (§ 105) trotz Einhaltung der im Bewilligungsbescheid oder in sonstigen Bestimmungen enthaltenen Auflagen und Vorschriften nicht hinreichend geschützt sind, hat die Behörde vorbehaltlich § 52 Abs. 2 zweiter Satz die nach dem nunmehrigen Stand der Technik (§ 12a) zur Erreichung dieses Schutzes erforderlichen anderen oder zusätzliche Auflagen vorzuschreiben, Anpassungsziele festzulegen und die Vorlage entsprechender Projektsunterlagen über die Anpassung aufzutragen. Art und Ausmaß der Wasserbenutzung vorübergehend oder auf Dauer einzuschränken oder die Wasserbenutzung vorübergehend oder auf Dauer zu untersagen.

(2) Für die Erfüllung von Anordnungen nach Abs. 1 sowie für die Planung der erforderlichen Anpassungsmaßnahmen und die Vorlage von diesbezüglichen Projektsunterlagen sind von der Behörde jeweils angemessene Fristen ein-

zuräumen; hinsichtlich des notwendigen Inhalts der Projektsunterlagen gilt § 103. Diese Fristen sind zu verlängern, wenn der Verpflichtete nachweist, daß ihm die Einhaltung der Frist ohne sein Verschulden unmöglich ist. Ein rechtzeitig eingebrachter Verlängerungsantrag hemmt den Ablauf der Frist. Bei fruchtlosem Ablauf der Frist findet § 27 Abs. 4 sinngemäß Anwendung.

(3) Die Behörde darf Maßnahmen nach Abs. 1 nicht vorschreiben, wenn diese Maßnahmen unverhältnismäßig sind. Dabei gelten folgende Grundsätze:

a) der mit der Erfüllung dieser Maßnahmen verbundene Aufwand darf nicht außer Verhältnis zu dem damit angestrebten Erfolg stehen, wobei insbesondere Art, Menge und Gefährlichkeit der von der Wasserbenutzung ausgehenden Auswirkungen und Beeinträchtigungen sowie die Nutzungsdauer, die Wirtschaftlichkeit und die technische Besonderheit der Wasserbenutzung zu berücksichtigen sind;

b) bei Eingriffen in bestehende Rechte ist nur das jeweils gelindeste noch zum Ziele führende Mittel zu wählen;

c) verschiedene Eingriffe können nacheinander vorgeschrieben werden.

d) (Anm.: aufgehoben durch BGBl. I Nr. 82/2003)

(4) Liegt ein genehmigter Sanierungsplan (§ 92) oder ein Sanierungsprogramm (§ 33d) vor, so dürfen Maßnahmen nach Abs. 1 darüber nicht hinausgehen.

(5) Die Abs. 1 bis 4 finden auf sonstige Anlagen und Bewilligungen nach den Bestimmungen dieses Bundesgesetzes sinngemäß Anwendung.

[253] Dies könnte allenfalls auch auf die UW-Sicherung zum Kraftwerk Freudenau angewandt werden, im Sinn einer Erweiterung der Verpflichtungen zur Normalgeschiebezugabe (Vorschreibung anderer oder zusätzlicher Auflagen).

[254] Die Initiative geht in diesem Fall von der zuständigen WR-Behörde aus, also von der Obersten Wasserrechtsbehörde im Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. Das Prädikat „hat […] vorzuschreiben“ in §21a Abs. 1 zeigt jedenfalls, dass dieser Schritt von der Behörde zu erfolgen hat, wenn die genannten Voraussetzungen gegeben sind, es handelt sich nicht um eine „Kann-Bestimmung“ sondern um eine gesetzliche Verpflichtung der Behörde.

[255] Öffentliche Interessen iSv §105 WRG sind durch die fortschreitende Sohlerosion tatsächlich betroffen, und zwar über §105 Abs. 1, lit. a: *„ein schädlicher Einfluss auf den Lauf, die Höhe, das Gefälle oder die Ufer der natürlichen Gewässer“*; weiters §105 Abs. 1, lit. m: *„eine wesentliche Beeinträchtigung des ökologischen Zustandes der Gewässer“*, was u.a. mit der durch die Sohlerosion verbundenen massiven Verlandung und Verbuschung von Seitenarmen und Altarmen begründet werden kann, und auch über §105 WRG Abs. 1, lit. b: *„eine erhebliche Beeinträchtigung […] der Schiff- und Floßfahrt“*, was mit den zu erwartenden Folgen eines Sohldurchschlages (fehlende Fahrwassertiefen bzw. Versteilungen innerhalb der Strecke und ggf. auch fehlende Fahrwassertiefen bei den Schleusen am Kraftwerk Freudenau, in den Einfahrten der Häfen in Wien und bei der Mündung des Donaukanals).

[256] Auf der fachlich / sachlichen Ebene wären folgende Aspekte von Bedeutung:

- die Begründung für eine solche Anpassung <u>dürfte nicht bzw. nicht in erster Linie auf das Kraftwerk Freudenau abzielen</u>, denn für dieses Kraftwerk wurden ja bereits Kompensationen der Verschlechterung des Geschiebehaushaltes (Verhinderung des Geschiebeaustrages aus dem Stauraum) wasserrechtlich vorgeschrieben; vielmehr müssten die Oberlieger-Kraftwerke (KW Greifenstein, KW Altenwörth, KW Melk, …) und deren nachteilige Wirkung (Geschieberückhalt) auf die Strecke östlich von Wien ins Treffen geführt werden;
- entscheidend ist die <u>Neubewertung der Situation unter den nun bestehenden Bedingungen</u>: bei Errichtung der Kraftwerke Greifenstein, Altenwörth, Melk usw. war ja ei-

ne durchgängige Staukette (ggf. mit Lücke in der Wachau; jedenfalls aber in der Strecke östlich von Wien) geplant; aus Sicht der damaligen Genehmigungsbehörde waren somit Maßnahmen gegen eine Sohlerosion irrelevant. Die Entwicklungen seit 1985 (Scheitern des Kraftwerkprojektes Hainburg; Errichtung des Nationalparks Donau-Auen, …) haben zwischenzeitlich völlig neue Voraussetzungen geschaffen. Im Besonderen haben Republik Österreich und der Gesetzgeber mit den legistischen Voraussetzungen zum Nationalpark Donau-Auen[68] eine grundlegende Neubewertung der Strecke vorgenommen: Die wirtschaftliche (im Besonderen: energiewirtschaftliche) Nutzung des Flusses trat hinter der ökologischen Bedeutung des Flussabschnittes und der Donauauen in den Hintergrund.

- bei der Neubewertung der rechtlichen Situation sind auch andere legistische Änderungen zu berücksichtigen, im Besonderen europarechtliche Vorgaben (Vogelschutz-Richtlinie[69]; FFH-Richtlinie[70], Wasserrahmenrichtlinie[71]), die zwischenzeitlich in das österreichische Recht (Naturschutzgesetze der Länder, Bundes-Wasserrechtsgesetz) übernommen wurden.
- gegenüber der Zeit, als die Donaukraftwerke Altenwörth, Melk, Greifenstein usw. genehmigt wurden, also die 1960er-, 1970er- und frühen 1980er-Jahre, hat sich auch der Stand der Technik weiter entwickelt. Im Besonderen wurde in den späten 1970er- und frühen 1980er-Jahren am Oberrhein die Methode der permanenten Geschiebezugabe zur Sicherung der Stabilität einer freien Fließstrecke erprobt und etabliert (vgl. Kap. 4.1) und schließlich auch zur UW-Sicherung am Kraftwerk Freudenau (vgl. Kap. 4.2) eingesetzt;

[257] Der Kraftwerksbetreiber (Verbund-Hydro-Power) könnte zur Abwehr solcher Verpflichtungen verschiedene Argumente bzw. Argumentationsketten vorbringen:

a) zur Lösung des Problems (der Sohlerosion) sei die Republik Österreich aufgerufen; im Besonderen hätte sie über das im Jahr 2006 bei den UVP-Behörden (in Wien und Niederösterreich) zur Grundsatzgenehmigung eingereichte „Flussbauliche Gesamtprojekt“ ja auch entsprechende Schritte gesetzt;

b) die Forderung nach einer vollständigen Kompensation des stromab von Wien gegebenen Geschiebedefizits sei bereits im Rahmen des wasserrechtlichen Verfahrens zur Genehmigung des Kraftwerkes Freudenau von verschiedenen Parteien und Beteiligten erhoben und damals von der Obersten Wasserrechtsbehörde zurückgewiesen worden;

c) die Sohlerosion sei primär durch die Regulierung der Donau und im Übrigen auch durch verschiedene andere Faktoren bestimmt, ein dynamisches Sohlgleichgewicht

---

68 U.a.: Vereinbarung gemäß Artikel 15a B-VG zwischen dem Bund und den Ländern Niederösterreich und Wien zur Errichtung und Erhaltung eines Nationalparks Donau-Auen, BGBl. I Nr. 17/1997; Bundesgesetz über die Gründung und Beteiligung an der Nationalparkgesellschaft Donau-Auen GmbH, BGBl. Nr. 653/1996; Gesetz über den Nationalpark Donau-Auen (Wiener Nationalparkgesetz), LGBl. für Wien Nr. 37/1996 i.d.F. LGBl. für Wien Nr. 18/2006; NÖ Nationalparkgesetz, LGBl. 5505-1.

69 Richtlinie des Rates 79/409/EWG vom 2. April 1979 über die Erhaltung der wildlebenden Vogelarten

70 Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie (Richtlinie 92/43/EWG des Rates vom 21. Mai 1992 zur Erhaltung der natürlichen Lebensräume sowie der wildlebenden Tiere und Pflanzen)

71 Wasserrahmenrichtlinie (WRRL, 2000/60/EG) des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 23. Oktober 2000.

sei auch zum Zeitpunkt kurz vor Errichtung der Donaukraftwerke nicht gegeben gewesen;

d) die Vorschreibung einer vollständigen Deckung des Geschiebedefizits sei unverhältnismäßig iSv §21a Abs. 3 WRG und damit nicht zulässig;

Diese (und allfällige andere) Argumente wären fachlich und in ihrer juristischen Wertung zu entkräften.

[258] In Bezug auf Pkt. (a) wäre relevant, dass eine neue Auflage (zur vollen Deckung des Geschiebedefizits) ja nicht zeitlich unbegrenzt vorgeschrieben müsste, sondern eben nur bis zur tatsächlichen Umsetzung eines umfassenden Sanierungsprojektes. Derzeit ist aber die Zukunft des Flussbaulichen Gesamtprojektes (vgl. Kap. 2.3), das 2006 bei den zugehörigen Behörden eingereicht wurde, völlig ungewiss; im Oktober 2008 kam es zur öffentlichen Erörterung, danach brachen aber alle erkennbaren Aktivitäten der Behörden ab. Ein Devolutionsantrag wurde nicht gestellt. Aber selbst unter der derzeit unrealistisch optimistischen Annahme, dass die Behörden das Genehmigungsverfahren bald wieder in Angriff nehmen, wären doch weitere Verzögerungen (bis zur tatsächlichen Wirkung der Maßnahmen) in der Größenordnung zweier Jahrzehnte zu erwarten: Einerseits wären Einsprüche und die Fortsetzung des Verfahrens im Instanzenzug zu erwarten; zweitens zielte das eingereichte Projekt nur auf eine Grundsatzgenehmigung, es wären also Detailprojekte zu erstellen und ebenfalls bei den Behörden einzureichen, was dann erneut durch Einsprüche verzögert werden könnte; drittens wäre für die tatsächliche Umsetzung, also für Ausschreibung und Vergabe der Bauarbeiten und den Bau mindestens zehn, realistisch gesehen aber fünfzehn Jahre (oder mehr) anzusetzen. Daraus ergibt sich, dass die laufende Sohlerosion selbst unter günstigen Voraussetzungen (d.h. baldige Wiederaufnahme des UVP-Verfahrens) fünfzehn bis zwanzig Jahre weiter ginge. In diesem Zusammenhang ist auch zu bedenken, dass das eingereichte Generelle Projekt (einschließlich der Unterlagen zur Umweltverträglichkeits-Erklärung) im Jahr 2005 erstellt wurde; die flusstopographischen und hydrographischen Basisdaten entsprachen dem Jahr 2003, verschiedene andere Daten und Grundlagen waren notwendigerweise noch älter; das Projekt ist somit gealtert und demnächst auch als veraltet zu bezeichnen. All diese Überlegungen wären im Zuge eines §21a-WRG-Verfahrens zu berücksichtigen, falls die unter Pkt. (a) genannten Argumente geltend gemacht würden; es kann jedenfalls gezeigt werden, dass eine rasche Lösung des Problems der Sohlerosion durch die Republik Österreich praktisch ausgeschlossen ist.

[259] In Bezug auf Pkt. (b) wäre zu antworten, dass die Bestimmung nach §21a WRG damals, also im Zeitpunkt mit der wasserrechtlichen Genehmigung des Kraftwerkes (1991), nicht relevant waren, weil es bei der Notwendigkeit größerer Zugabemengen nicht primär um die Staustufe Wien-Freudenau geht, sondern um die stromauf und früher errichteten Donaukraftwerke (Greifenstein, Altenwörth, Melk, …) und das mit diesen verbundene Geschiebedefizit;

und zweitens, dass es bei einer heutigen Anwendung von §21a WRG ja per Definition nicht um die damaligen Überlegungen und Randbedingungen gehen kann, sondern um den Ist-Zustand, um die derzeitige Beurteilung bzw. Bestandsaufnahme. Eine Argumentation gemäß Pkt. (b) ginge somit völlig an den Voraussetzungen des §21a WRG vorbei.

[260] In Bezug auf Pkt. (c) wären primär die geschiebehydraulischen Wirkungen der bestehenden Staukette an der Donau relevant. Dadurch wird praktisch der gesamte Geschiebetransport in

der Oberliegerstrecke und praktisch der gesamte Geschiebeaustrag aus der Oberliegerstrecke (mit Ausnahme der Wiener Strecke) unterbunden. Es kann gezeigt werden, dass die Strecke östlich von Wien ohne diese Wirkungen in ihrer Sohlhöhe annähernd[72] stabil bleiben könnte und nach vorliegenden hydrographischen Befunden während der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts tatsächlich praktisch stabil geblieben war, während sie sich unmittelbar nach der Donauregulierung sogar deutlich aufgehöht hat (Schmautz et al. 2002; Klasz et al., 2013).

[261] In Bezug auf Pkt. (d) wäre zu berücksichtigen, dass eine vollständige Geschiebezugabe präzise auf das durch die stromauf befindliche Kraftwerkskette verursachte Problem des Geschieberückhalt abzielt, zweitens, dass die Donaukraft AG (nunmehr VHP) im Zusammenhang mit dem KW Freudenau selbst diesen Lösungsweg angestrebt hat. Eine über das bisherige Ausmaß hinaus gehende Geschiebezugabe wäre also lediglich die konsequente und an die heutigen Randbedingungen und den heutigen Kenntnisstand angepasste Strategie zur Reduktion der durch die Kraftwerkskette verursachten negativen Wirkungen.

Im Übrigen scheinen die Kosten zusätzlicher Geschiebezugaben gegenüber den durch die Donaukraftwerke erzielbaren Erlös vernachlässigbar. Mit einem langjährig gemittelten Regelarbeitsvermögen von ca. 13‘280 GWh/a (über alle VHP-Donaukraftwerke) und einem derzeit erzielbaren Marktpreis (Strom Futurekontrakte, Front-Year-Base 2013) von durchschnittlich rd. 49,3 €/MWh (Verbund, 2013) errechnet man kalkulatorische Erlöse in der Größenordnung von etwa 655 Mio. €/a; die Zusatzkosten für eine volle Geschiebebewirtschaftung lägen im Bereich von etwa 0,5% der Jahreserlöse.

[262] Dieses Szenario, die VHP für eine volle Geschiebezugabe verpflichten zu wollen, wäre allerdings mit größter Wahrscheinlichkeit mit weiteren zeitlichen Verzögerungen verbunden, weil sich der Kraftwerksbetreiber auf juristischer Ebene gegen solche Verpflichtungen zur Wehr setzen kann (Rechtsmittel gegen den Bescheid). Im Besonderen muss auch berücksichtigt werden, dass ein Verfahren zur Erlassung eines Bescheides nach §21a WRG ein Einparteienverfahren ist, bei welchem anderen Beteiligten (also etwa auch dem Nationalpark) keine Möglichkeiten (Rechte) einer Mitsprache zukommt.

8.3 Aspekte zum Hochwasserschutz

[263] Am 15. August 2002 erreichte die Donau bei Wien mit knapp über 10.250 m^3/s beinahe ein HQ_{100}. Die damit verbundene Beobachtung, dass die damaligen Höchst-Wasserstände abschnittsweise über dem bisher angenommenen HW_{100}-Spiegel lagen, und zwar um bis zu etwa 0,6 m, muss beunruhigen; ein Indikator für dieses Problem ist das Ausmaß der Anpassungen, die bei den HW_{100}-Werten gem. KWD-2010 gegenüber den KWD-1996-Werten vorgenommen wurde[73], sh. Abb. 32. Zum Hochwasser vom Juni 2013 liegen derzeit noch keine entsprechenden Analysen vor[74]. Die Ursachen für die Abweichungen der HW-Spiegel (gegen-

---

72 Die Einschränkung „annähernd“ bezieht sich hier auf die natürlichen Schwankungen der Sohlhöhe (bzw. der damit verbundenen kennzeichnenden Wasserspiegel), die selbst (und gerade) für natürliche Flüsse charakteristisch sind.

73 Diese Anpassungen wurden bereits nach dem Hochwasser 2002 von der WSD erarbeitet und informell zur Verfügung gestellt („HW100-neu“); mit den KWD-2010 liegen sie in einer zitierfähigen Form vor.

74 Die Scheitelabflüsse dürften nach derzeitigen Kenntnisstand zwischen Wien und Hainburg bei rund 11‘100 m^3/s und damit in der Größenordnung bei einem HQ_{300} gelegen sein; eine Bewertung der damit verbundenen Wasserstände ist derzeit aber nicht bekannt.

über früheren hydrographischen Einschätzungen) dürften bei den flächigen Feinsedimentablagerungen in den Donauvorländern und bei der geänderten forstlichen Bewirtschaftung im Nationalpark mit einem insgesamt dichterer Uferbewuchs zu suchen sein (Klasz et al., 2008, 2009c). Man kann natürlich auch größere Fehler bei den früher gültigen Werten (gem. KWD-1996 und früher) vermuten, allerdings beruhen sie u.a. auf den Erfahrungen vom Hochwasser im Juli 1954, das mit rund 9‘600 m^3/s einem HW_{100} ziemlich nahe kam und hydrographisch recht gut dokumentiert ist, vgl. u.a. Kresser (1957).

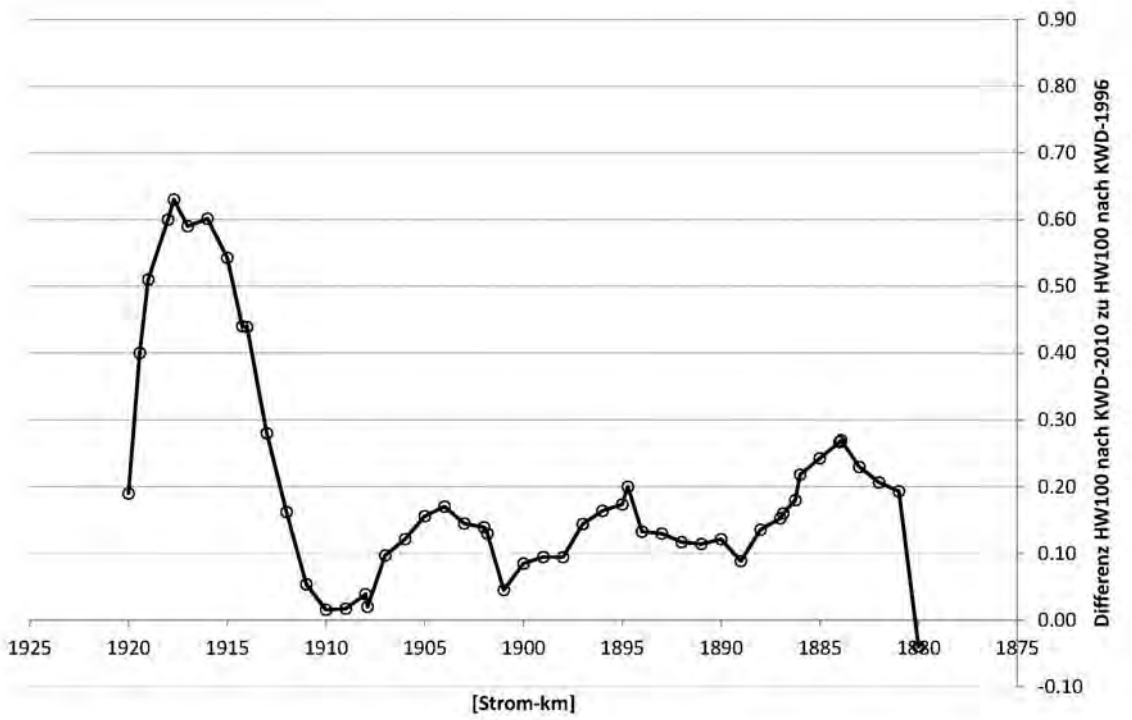


Abb. 32: Änderungen (Anpassungen) der HW_{100}-Werte gem. KWD-2010 gegenüber den KWD-1996-Werten; diese Abweichungen sind besonders stark bei etwa Strom-km 1917 (ca. Mündung der Neuen Donau) und bei Strom-km 1884 (Hainburg).

[264] In einer aktuellen Studie (Klasz et al., 2014), wird für das linke Ufer im Nationalpark Donau-Auen die langjährige (ab Regulierung vor knapp über hundert Jahren) und über die Strecke gemittelte Sedimentationsrate von rund 11 mm/a geschätzt; in Einzeljahren, und speziell als Folge von Extremhochwässern, liegen die ufernahen Sedimentationsraten in vielen Abschnitten im Bereich mehrerer Dezimeter. Im Längsverlauf zeigen sich teilweise bestimmte Muster: Höhere Sedimentationsraten im Zonen, wo es während der Hochwässer zum Einströmen in das Vorland kommt; geringere Sedimentationsraten in Ausströmbereichen.

[265] Ein weiterer wichtiger Aspekt betrifft die Wechselwirkung aus Wasserspiegelabsenkung und Vegetationsentwicklung: Mit den Wasserspiegelabsenkungen ist in den Seitenarmen der Donau eine seltenere und schwächere Durchströmung verbunden. Abb. 33 (aus Klasz et al., 2013) zeigt exemplarisch eine alte (Basis: KWD-1985) und die aktuelle (Basis: KWD-2010) Wasserstanddauerlinien (mit drei Stützstellen: RNW, MW, HSW) für eine Einströmöffnung bei Strom-km 1901,1, die zum „Haslauer-Regelsbrunner-Arm“ gehört. Lag die Anschlussdauer vor knapp dreißig Jahren dort noch bei etwa 216 d/a, so ist sie mittlerweile auf etwa 143 d/a gesunken.

Damit ist in den Seitenarmen zunächst eine Reduktion der hydrologischen und morphologischen Dynamik verbunden, und die Verlandungstendenz wird allmählich immer stärker. Sinkt die Anschluss- bzw. Durchströmhäufigkeit unter einen kritischen Wert, dann bildet sich flächig dichter Bewuchs, der wiederum den Abfluss reduziert und die Ablagerung von Feinsedimenten (Aulehm) fördert. Somit ‚kippen' solche Seitenarme und Flächen rasch in den Zustand einer Weichholzau, mit weiterer Sukzession in die Richtung einer ‚harten' Au (Klasz et al., 2013). All diese Prozesse sind auch für den Hochwasserschutz relevant.

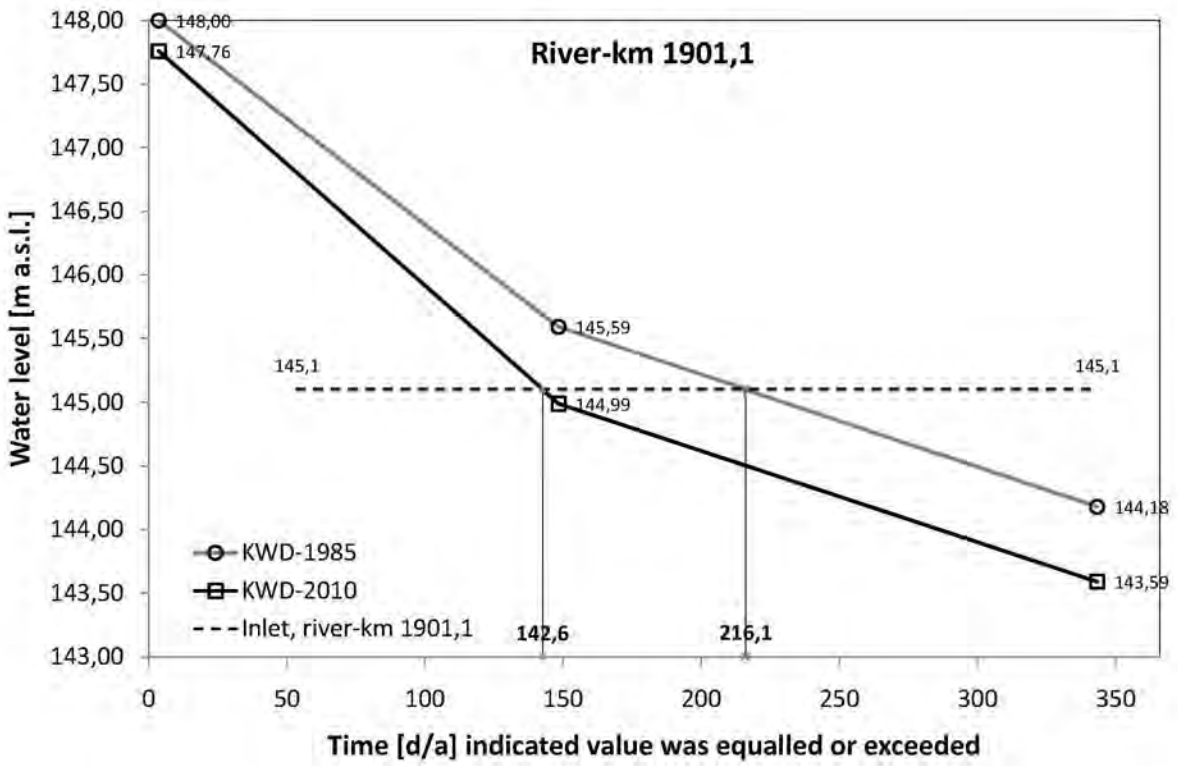


Abb. 33: Wasserstanddauerlinien für Strom-km 1901,1 (Einströmöffnung zum Haslauer-Regelsbrunner-Arm) gem. KWD-1985 und KWD-2010

[266] Dazu käme im Fall flächiger Kiesschüttungen, falls durch eine überschießende Geschiebezugabe die NW- und MW-Spiegel angehoben werden sollen, dass dadurch die Hochwasserspiegel zusätzlich angehoben würden (in der Größenordnung um etwa 1 bis 2 dm). Maßnahmen, mit denen diese Anhebungen der Hochwasserspiegel wieder kompensiert werden können, kommt somit große Bedeutung zu (Klasz et al., 2008, 2009c). Wenn mit dem Uferrückbau über längere Strecken Seitenerosionen verbunden sind, vor allem in der obersten, meist 2 bis 3 m mächtigen Aubodenschichte, und wenn zweitens in solchen Zonen dichter Gehölzbewuchs (Auwald) durch kiesige Uferstreifen ersetzt wird, vgl. Abb. 34, dann kann dadurch die Abflusskapazität günstig beeinflusst werden. Einfache hydraulische Abschätzungen (Klasz et al., 2008) zeigen, dass unter Annahme langfristig für realistisch eingeschätzter Seitenerosionen der HW_{100}-Spiegel um etwa 2 dm abgesenkt werden kann, sofern dies ausreichend lange Strecken umfasst (angenommene Verbreiterung um 30 m; in dieser Zone Erosion der Aubodenauflage im Ausmaß von 2,5 bis 3,0 m; Veränderung des k_{st}-Wertes in diesem Streifen von 10 $m^{1/3}/s$ für dichten Gehölzbewuchs auf etwa 30 $m^{1/3}/s$ für Kies mit Unregelmäßigkeiten).

Abb. 34: (links) Ufer bei Strom-km 1885 (knapp stromauf) vor dem Rückbau, der im Winter 2005/2006 erfolgte, und (rechts) nach Rückbau (etwa ein halbes Jahr nach dem Bauende); Quelle: Klasz et al. (2008).

8.4 Anmerkungen zum Konfliktfeld Schifffahrt (zur Fahrwassertiefen-Diskussion)

[267] Die Verbesserung (Erhöhung) der Fahrwassertiefen war (ist?[75]) eines der primären Ziele des ‚Flussbaulichen Gesamtprojektes'; angestrebt (Soll-Werte) wurden (werden?) 28 dm (unter RNW) über den vergröberten Zonen (Flächen mit GSV-Belegung) bzw. 27 dm (unter RNW) über Flächen mit Normalgeschiebe. Diese Zielsetzung war (ist?) der primäre Hauptangriffspunkt der Projektkritiker:

- ein solches Ausbauziel sei nicht sinnvoll, also eine Form der Verschwendung, da ja stromauf und stromab Flussabschnitte deutlich weniger Fahrwassertiefe haben;
- und umgekehrt: ein solches Ausbauziel würde einen „Ausbaudruck" auf andere Donaustrecken (beispielsweise die bayerische Donau zwischen Straubing und Vilshofen) bewirken;

[268] Der Wert für die Fahrwassertiefe von 28 dm (unter RNW) ist aber nicht nur das Ergebnis wirtschaftlicher Überlegungen und Forderungen (verbesserte Auslastung der Schiffe), sondern ergeben sich auch unter Berücksichtigung des infolge der Vergröberung der Sohle erhöhten Risikos der Beschädigung von Schiffsschrauben unter Bedingungen eines Niederwassers, wenn Schiffe mit nur geringem Flottwasser über die Sohle fahren (vgl. Pkt. [157]). Bleibt die Sohle aber in den seichten Bereichen (Furten und Haufenränder) innerhalb der Fahrrinne unvergröbert, was bei einer Normalgeschiebezugabe jedenfalls der Fall ist, dann kann die Fahrwassertiefe (als Soll-Wert) von vorne herein mit 25 dm (unter RNW) begrenzt werden, was auch unter Kritikern als noch akzeptabel gilt. Das würde somit einerseits ein Einlenken gegenüber Projektkritikern und damit eine Erhöhung der Akzeptanz im gesellschaftlich-politisch Umfeld bewirken, andererseits gehen damit Vorteile und Nutzen für die Schifffahrt verloren. Mit welchen Argumenten könnte dann noch von einer „Win-Win-Situation" zwischen Naturschutz und Schifffahrt gesprochen werden?

---

75 Hier werden Fragezeichen gesetzt, weil die weitere Entwicklung des FGP derzeit nicht absehbar ist, vgl. auch Kap. 2.3 und Kap. 2.4.

[269] Eine nautisch relevante Verbesserung könnte allenfalls durch die Erhöhung der tatsächlichen Fahrwassertiefen (Ist-Werte) zu erreichen, bisher waren ja die 25 dm (unter RNW) praktisch nie gegeben, vielfach sind es in den kritischen Furten oft nur zwischen rund 20 und 22 dm (unter RNW), und in manchen Situationen auch weniger. Eine Verbesserung der Ist-Werte kann aber naturgemäß nicht durch eine intensivierte Geschiebebewirtschaftung erreicht werden, sondern durch eine Intensivierung (Optimierung) der Instandhaltungsbaggerungen und/oder durch den verstärkten Einsatz von Regulierungsbauwerken (Buhnen, ggf. auch Leitwerke) in den kritischen Abschnitten.

[270] Häufige Unklarheiten sind in der bisherigen Diskussion über Fahrwassertiefen (bzw. analog für die Abladetiefen) durch Vermischung von Soll-Werten und Ist-Werten entstanden! Will man „reale“ 25 dm (unter RNW) erreichen (also: ein Ist-Wert), dann wird das letztlich nur mit einem höheren Soll-Wert zu erreichen sein, weil zwischen dem Unterschreiten des Wertes und einer effizienten Gegenmaßnahme (Baggern) eine nicht vernachlässigbare Zeit (für das Erkennen des Problems und die Planung und Vorbereitung der Arbeiten) und ein gewisses Toleranz-Maß (auch unter Berücksichtigung der Baggertoleranz) liegen müssen. Und umgekehrt: geht man von einem Soll-Wert von 25 dm (unter RNW) aus, dann werden in der Realität des Flusses mehr oder weniger häufig auch Fahrwassertiefen darunter, etwa im Bereich zwischen 23 und 25 dm vorliegen, wegen der zeitlich versetzten Reaktionszeit und der Baggertoleranzen. Für eine rasche Erreichung des Zieles „Sohlstabilität“ wäre es hilfreich, sich von diesen Konflikten frei zu halten, und das liefe auf den (vorläufigen?) Verzicht auf ein ‚Gesamtprojekt‘ hinaus.

[271] Unter Berücksichtigung der Beobachtungen zu den Kiesdünen (Transportkörper) beim Naturversuch Bad Dt. Altenburg (vgl. auch Pkt. [88]) zeigt sich, dass die bisherigen Überlegungen und Festlegungen zur Höhenlage der GSV beim FGP (OK nicht höher als RNW-28 dm) nicht grundsätzlich im Widerspruch zur Forderung verschiedener Akteure aus dem Bereich Naturschutz/Ökologie nach Begrenzung der Fahrwassertiefen (auf 25 dm unter RNW) stehen, denn die GSV wird von zumindest 2 bis 3 dm hohen Kiesdünen überwandert und überlagert. Diese Beobachtungen liefern auch (gemeinsam mit der Notwendigkeit von Bau- bzw. Baggertoleranzen) eine theoretische Begründung und Bestätigung für die bisher bei Instandhaltungsbaggerungen geübte Praxis einer Überbaggerung von 2 bis 3 dm. Wer reale 25 dm (unter RNW) erzielen will, muss zunächst auf eine Tiefenlage von 27 oder 28 dm baggern, die untersten 2 bis 3 dm werden dann durch die herein- und durchwandernden Dünen reduziert. Diese Überlegung gilt natürlich nur, solange der Geschiebetrieb eine entsprechende Intensität hat.

[272] In der Gesamtbewertung ist kein grundsätzlicher Widerspruch zwischen einer optimierten Geschiebebewirtschaftung im Sinn dieser Studie und einer Verbesserung der Fahrwassertiefen im Sinn eines ‚optimierten Wasserstraßenmanagements‘ erkennbar. Es ist auch möglich und sinnvoll, Instandhaltungsbaggerungen so durchzuführen, dass damit positive Wirkungen auf die Sohlstabilität verbunden sind (grundsätzlich bergwärtige Transportrichtung zwischen Baggern und Wiederverklappen, Erhöhung der Transportweiten, ggf. auch Beimischen gröberer Kornfraktionen); dies wird im Rahmen dieser Studie empfohlen (vgl. Kap. 6.1.4) und wurde, was den bergwärtigen Transport des Baggergutes betrifft, in den letzten Jahren – wenngleich in eher geringem Ausmaß (Transportweiten) – auch von via donau so betrieben. Ob man sich dabei für eine (dann aber reale, also tatsächlich verfügbare) Fahrwassertiefe

von 25 dm (unter RNW) oder auf etwas andere Werte einigt, ist auf der Zielebene zu klären und keine primär flussmorphologische oder wasserbautechnische Frage.

9 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

- Der langjährig gemittelte Geschiebeaustrag aus der freien Fließstrecke zwischen Wien und Marchmündung liegt bei etwa 350‘000 m^3/a. Davon werden im Mittel rund 190‘000 m^3/a durch die wasserrechtlich vorgeschriebene Geschiebezugaben der VHP (auf den obersten 11 km der Strecke) abgedeckt. Der Rest, also etwa 160‘000 m^3/a wird im derzeitigen Zustand durch die fortschreitende Tiefenerosion aus der Sohle der Donau gedeckt.

- Daraus ergibt sich, dass eine Ausweitung der VHP-Geschiebezugaben von den genannten 190‘000 m^3/a auf zumindest 350‘000 m^3/a erforderlich ist, um die Gesamtstrecke in ihrer mittleren Sohllage stabil zu halten. Durch (etwas) stärkere, also überschießende Geschiebezugaben könnte die Sohle auch allmählich angehoben und dadurch die Sohlerosion der letzten Jahre/Jahrzehnte teilweise kompensiert werden.

- Durch Anhebung der mittleren Sohllage (‚überschießende Geschiebezugaben‘) könnten auch die Wasserspiegel für niedere und mittlere Abflüsse angehoben werden: Pro Zentimeter Wasserspiegelanhebung (über die Gesamtstrecke) müsste man mit einem zusätzlichen Kiesbedarf von etwa 100‘000 Kubikmeter (Größenordnung) rechnen. Unter dem Aspekt des Hochwasserschutzes (HW-Neutralität) käme dann dem weiteren Uferrückbau (Seitenerosion, vor allem in der obersten Feinsediment-Schichte) und einer forcierten Gewässervernetzung (Remobilisierung von Feinsediment und Zurückdrängen von Gehölzbewuchs und sonstigem hydraulisch rauem Bewuchs in den Seitenarmen) besondere Bedeutung zu.

- Die Ausweitung der Geschiebezugabe (im Sinn einer vollen Geschiebebewirtschaftung) kann unter bestimmten rechtlichen Voraussetzungen (zivilrechtliche Einigung mit der VHP und verwaltungsrechtliche Genehmigung) gemeinsam mit den VHP-Geschiebezugaben betrieben und optimiert werden, bis hin zu einer gemeinsamen betrieblichen Durchführung bzw. einer Fusion der beiden Programme. Dies wäre zweckmäßig und sinnvoll, ist aber keine zwingende Voraussetzung für eine erweiterte und umfassende Geschiebebewirtschaftung. Solange es zu keiner Zusammenführung beider Zugabeprogramme käme, wären alle zusätzlichen Geschiebezugaben stromab der VHP-Erhaltungsstrecke durchzuführen, zwischen Strom-km 1910 und etwa 1903 (querab Fischamend bis Ma. Ellend).

- Besondere Bedeutung hat eine (zumindest teilweise) Geschieberückführung aus der Unterliegerstrecke, also aus dem Stauraum der Staustufe Gabčikovo; die zugehörige Menge im Sinn dieser Studie liegt bei etwa 130‘000 m3/a, möglich wäre auch mehr, bis hin zum Doppelten. Einerseits muss das dort abgelagerte Material ohnehin – zumindest langfristig gesehen – gebaggert werden, um die HW-Sicherheit sicherzustellen (Kompensationsbaggerungen), andererseits wäre dies eine vergleichsweise kostengünstige Kiesquelle. Und umgekehrt: eine langfristige Geschiebebewirtschaftung wird ohne diese Kiesquelle kaum durchzuführen sein. Seitens VHP wurden bisher noch günstiger zu erschließende Quellen (Geschiebeaustrag aus der Wachau, Baggerungen im Bereich der Traisenmündung) genutzt;

was das Kiesmaterial aus dem Bereich Traisenmündung betrifft, so ist allerdings auf die Korngrößenverteilung (möglicherweise deutlich zu viel Feinkies) zu achten.

- Durch begleitende (additive) Maßnahmen, wie etwa Sohlvergröberung (primär des Zugabematerials in Kolken), Uferrückbau und die weitere Forcierung von Gewässervernetzungen könnten die Zugabemengen langfristig abgemindert werden.

- Mit einer Sohlvergröberung (Zugabe einer Grobkies-/Grobkornfraktion, etwa 16/120 mm oder ähnlich) werden zwei verschiedene Ansprüche erfüllt: Einerseits werden Verkleinerungsverluste (Abrieb und Sortierung) kompensiert, was speziell bei einer Geschieberückführung aus der Unterliegerstrecke von Bedeutung ist, andererseits können damit Geschiebetransport bzw. Geschiebeaustrag gedämpft und somit die langfristig erforderlichen Zugabemengen reduziert werden. Die zugehörige Menge (16/120 mm oder ähnlich) wird mit etwa 30‘000 bis 35‘000 m^3/a abgeschätzt und kann aus Kiesgruben in der Umgebung (Wiener Becken) problemlos beschafft werden.

- Bei der Vergröberung des Zugabematerials (Zugabe einer Grobkies-/Grobkornfraktion, etwa 16/120 mm oder ähnlich) sollte nach flussmorphologischen Kriterien differenziert vorgegangen werden: in den Kolken gröber, in den Furten feiner bzw. ohne Vergröberung.

- Bezogen auf die für die Strecke relevante mittlere Transportstrecke (zwischen Baggern und Wiederverklappen) von etwa 30 bis 35 km liegen die Verkleinerungsverluste (Abrieb und Sortierung) nach vorliegenden Daten und Erfahrungen bei etwa 20 bis 25% (bezogen auf die Masse).

- Die Instandhaltungsbaggerungen (zur Aufrechterhaltung der für die Schifffahrt erforderlichen Fahrwassertiefen) können und sollten in eine optimierte Geschiebebewirtschaftung einbezogen werden; durch das konsequente Transportieren des Baggergutes in bergwärtige Richtung, was seit einigen Jahren ohnehin bereits so gemacht wird, durch Erhöhung der zugehörigen Transportweiten und durch teilweises Anreichern dieses Kieses mit Grobkies bzw. Grobkorn kann zur Sohlstabilität beigetragen werden. Dafür wird im Rahmen dieser Studie auch ein „Zugabeäquivalent“ eingeführt, welches eine quantitative Erfassung dieses Beitrages zur Geschiebezugabe ermöglicht.

- Aufgrund der geologischen Verhältnisse (tw. leicht erodierbare tertiäre Feinklastika im Liegenden der quartären Kiese und geringe Kiesmächtigkeiten; einzelne Kolke reichen offensichtlich bereits in die tertiären Schichten) besteht das Risiko eines Sohldurchschlages. Zur Abschätzung dieses Risikos ist kein Rechenverfahren und keine Methodik verfügbar, dieses Risiko ist mithin auch nicht nachvollziehbar quantifizierbar. Andererseits ist aber klar, dass mit jedem Jahr, in dem sich die Sohlerosion weiter fortsetzen kann, die Kiesmächtigkeit unter der Sohle weiter abnimmt und damit das Risiko des Sohldurchschlages zunimmt. Mehrere diesbezüglich bereits als gefährdet identifizierte Kolkzonen sollten rasch in Form eines Sohldeckwerks (Steinberollung) oder gleichwertiger Methoden gesichert werden, was im weiteren Sinn auch als Teil einer optimierten Geschiebebewirtschaftung zu sehen ist.

- Die Sohlerosion der Donau kann und soll rasch gestoppt werden! Im ersten Schritt (Anfangsphase) könnte bzw. sollte das Geschiebedefizit durch entsprechend hohe Zugaben (zusätzlich zur VHP-Zugabe zumindest ca. 160‘000 m^3/a) gedeckt werden ohne aber dabei

in den Versuch zu verfallen, Optimierungspotentiale weitgehend oder vollständig zu realisieren, denn dazu benötigt man Zeit. Diese Vorgangsweise kann man als „quick & dirty" bezeichnen. Additive Maßnahmen (z.B. weitere Uferrückbauprojekte; Baggern von Hinterrinnern; weitere Gewässervernetzungen; Sohlvergröberung) können dann Schritt für Schritt, aber konsequent entwickelt und implementiert werden (Langfristszenario), wobei einem adaptiven Management besondere Bedeutung zukommt.

- Eine umfassende und optimierte Geschiebebewirtschaftung im Sinn dieser Studie steht nicht im Gegensatz zum Flussbaulichen Gesamtprojekt der via donau, sie soll vielmehr zusätzliche Handlungsoptionen und Möglichkeiten, die ggf. auch mit dem FGP kombiniert werden können oder als Zwischenlösung oder als „erste Stufe" (der Sohlstabilisierung) bis zu seiner Realisierung durchgeführt werden könnte, bereitstellen. Die Notwendigkeit einer Zwischenlösung ergibt sich bereits dadurch, dass selbst im günstigsten Fall, wenn also die Behörden das Genehmigungsverfahren zum FGP bald wieder in Angriff nähmen (was derzeit nicht erkennbar ist) weitere Verzögerungen bis zur tatsächlichen Wirkung der Maßnahmen in der Größenordnung zweier Jahrzehnte zu erwarten sind (Einsprüche und Fortsetzung des UVP-Grundsatzverfahrens im Instanzenzug; Erstellung und Einreichung von Detailprojekten mit einer zweiten UVP-Genehmigungsstufe; Ausschreibung und Vergabe der Bauarbeiten und Bau bis zur Wirksamkeit der GSV).

- Die technischen Risiken bzw. die damit verbundenen wirtschaftlichen Risiken (speziell bezüglich Kostenüberschreitungen) einer optimierten Geschiebebewirtschaftung sind gering einzuschätzen, weil alle primären Maßnahmen längst ‚Stand der Technik' sind (u.a. Erfahrungen am Oberrhein / Iffezheim und an der Donau / UW-Sicherung KW Freudenau) und in ihrer Funktionsweise und Effizienz sicherer einzuschätzen sind als die GSV, während alle unsicheren Einflüsse (Wirkung der allmählichen Sohlvergröberung; Kieseinträge durch Uferrückbau) nur die additiven Schritte betreffen und im Zuge des adaptiven Managements genügend Zeit und Gelegenheit für deren Optimierung besteht.

- Geschiebezugaben können niemals „nachhaltig" (im klassischen Sinn) sein, sie entsprechen bis zu einem gewissen Grad immer dem ‚Prinzip Sisyphos'. Durch Geschieberückführung aus der Unterliegerstrecke, Sohlvergröberung und additive Maßnahmen kann die Materialeffizienz aber stark verbessert werden, diese Studie gibt darauf erste Antworten, und für das adaptive Management bleibt das die zentrale Herausforderung. Im Rahmen der bisherigen Beurteilungen der ‚Normalgeschiebezugabe' wurden diese Potentiale jedenfalls unterschätzt bzw. vernachlässigt.

- Neben der ‚Hardware' einer Geschiebebewirtschaftung, also den baulichen Maßnahmen, ist die ‚Software' von zentraler Bedeutung, also Planung, Steuerung und Erfolgskontrolle (bzw. Monitoring) und in diesem Zusammenhang ist im Sinn eines adaptiven Managements vorzugehen; dabei versucht man, bestehende Unsicherheiten dadurch zu minimieren, dass man über das System nicht nur vor den Maßnahmen – also in der Planungsphase – Informationen sammelt, Modelle entwickelt und lernt, sondern eben auch durch die Eingriffe und ihre Wirkungen selbst („learning by doing" bzw. „adaptive learning"), wodurch eine Rückkopplung entsteht (kybernetischer Ansatz). Damit sind allerdings aber auch Schwierigkeiten verbunden, beispielsweise laufen die meisten morphologischen Prozesse im Fluss so langsam ab, dass man auf diesem Weg keine raschen Ergebnisse (und Erfolge) erzielt und ganz allgemein für das Nachsteuern und Nachjustieren einen „langen Atem" benötigt.

- Es wird empfohlen, Erfolgskontrolle und Monitoring mit möglichst einfachen, bewährten und robusten Methoden zu betreiben; die dafür benötigten Instrumente (Stromgrundaufnahmen, Wasserspiegel-Fixierungen bzw. –Beobachtungen; Sohlproben mit Siebung) stehen bereits zur Verfügung und werden zum größten Teil von der via donau (Hydrographie) durchgeführt; dazu kommen die – mittlerweile auch schon bewährten – Tracerversuche. Weitere und darüber hinausgehende Ansätze können natürlich im Rahmen wissenschaftlicher Programme entwickelt und eingesetzt werden, das hat aber andere Zielsetzungen. Im Besonderen kann keine Verzögerung des Anlaufens einer Geschiebebewirtschaftung wegen fehlender Monitoringergebnisse argumentiert werden, für eine Initialphase ist der derzeitige Kenntnisstand jedenfalls ausreichend!

- Eine Geschiebebewirtschaftung bleibt von der UVP-Pflicht ausgenommen, solange es zu keiner „Gewinnung“ von Kies kommt bzw. eine solche Gewinnung lediglich der flussbaulichen Erhaltung dient, was ja bei einer Geschiebebewirtschaftung definitionsgemäß der Fall ist, und solange Schutz- und Regulierungsbauten nicht über bestimmte Schwellenwerte hinausgehend umgebaut (geändert) oder gebaut werden oder solche Um- oder Neubauten lediglich der Verbesserung der ökologischen Funktionsfähigkeit der Gewässer (Renaturierungen) oder der Instandhaltung dienen. Diese Voraussetzungen für den Entfall der UVP-Pflicht sind bei einem Programm (Geschiebebewirtschaftung) im Sinn dieser Studie jedenfalls gegeben.

- Im Rahmen dieser Studie wurden Kostenmodelle für die zentralen Maßnahmen der Geschiebebewirtschaftung entwickelt. Damit können für die zusätzlich zur VHP-Geschiebezugabe erforderlichen Maßnahmen (aber ohne additive Maßnahmen, wie etwa Uferrückbau und Gewässervernetzung) Kosten (netto, ohne Planung, Steuerung und Monitoring; Preisbasis Dezember 2013) von rd. 3,34 Mio. €/a abgeschätzt werden. Zusätzlich wurde ein „Sparszenario“ (ohne Reserven und Wasserspiegelanhebungen und mit voller Anrechnung aller mit den additiven Maßnahmen verbundenen Geschiebeeinträgen bzw. der dadurch bewirkten Reduktionen im Geschiebetransportvermögen) entwickelt, mit erwarteten Kosten (netto, ohne Planung, Steuerung und Monitoring; Preisbasis Dezember 2013) von etwa 1,70 Mio. €/a. Für Planung, Monitoring (zusätzlich zu den bereits laufenden Beobachtungen) und Projektsteuerung können etwa 10% der zuvor genannten Kosten angegeben werden.

Verwendete Unterlagen und Fachliteratur:

Bauer, F. (1965): Der Geschiebehaushalt der bayerischen Donau im Wandel wasserbaulicher Maßnahmen, Teil 1 und 2; Die Wasserwirtschaft , 55. Jahrgang, 1965.

BAW (2000): Tätigkeitsbericht der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) 2000; Kapitel 4 (Wasserbau im Binnenbereich).

Bernhart (1990): Maßnahmen gegen die Sohleintiefung der Donau östlich von Wien; Studie des Instituts für Wasserbau und Kulturtechnik der Universität Karlsruhe im Auftrag der Nationalparkplanung Donau-Auen, Wien.

Beckett, S. (1993): Warten auf Godot. suhrkamp taschenbuch, revidierte Übertragung 1993.
Anm.: erste deutschsprachige Ausgabe: 1953 (Suhrkamp Verlag); Orginal: En attendant Godot (1952).

BfG (2004): Feststofftransport und Flussbettentwicklung der Elbe. Bericht BfG-1431, Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz (unveröffentlicht).

Bundesstrombauamt (1951): Die kennzeichnenden Wasserstände der österreichischen Donau – KWD-1949.

Bundesstrombauamt (1959): Die kennzeichnenden Wasserstände der österreichischen Donau – KWD-1956.

Bundesstrombauamt (1970): Die kennzeichnenden Wasserstände der österreichischen Donau – KWD-1970.

Bundesstrombauamt (1978): Die kennzeichnenden Wasserstände der österreichischen Donau – KWD-1976.

Camus, A. (1995): Der Mythos von Sisyphos. Rowolth Taschenbuch
Anm.: erste deutschsprachige Übersetzung: 1956; Orginal: Le mythe de Sisyphe (1942).

DonauConsult (1997): Verbesserung der Schifffahrtsverhältnisse und Granulometrische Sohlverbesserung; Studie im Auftrag der Wasserstraßendirektion.

DonauConsult (2003): Untersuchung zur Nullvariante - Geologische Bearbeitung (Teil der Umweltverträglichkeitserklärung zum Flussbaulichen Gesamtprojekt östlich von Wien); im Auftrag der Wasserstraßendirektion

DonauConsult (2006): Flussbauliches Gesamtprojekt Donau östlich von Wien, UVE-Unterlagen (Einreichprojekt und Umweltverträglichkeitserklärung); im Auftrag der via donau - Österreichische Wasserstraßen-Gesellschaft m.b.H.

DonauConsult (2007): Flussbauliches Gesamtprojekt Donau östlich von Wien, Umweltverträglichkeitserklärung (Ergänzung), Fachbeitrag Geologie - Bericht; im Auftrag der via donau - Österreichische Wasserstraßen-Gesellschaft m.b.H.

DonauConsult (2009): Naturversuch Bad Deutsch Altenburg, Technischer Bericht zum Ausschreibungsprojekt; im Auftrag der via donau - Österreichische Wasserstraßen-Gesellschaft m.b.H.

DonauConsult (2011): Notfallskonzept Sohldurchschlag östlich von Wien – Lageplan Kiesmächtigkeiten im Sohlbereich, im Auftrag der via donau - Österreichische Wasserstraßen-Gesellschaft m.b.H., 1:20‘000; Juli 2011.

DWA (2012): Merkblatt DWA-M 525: Sedimentmanagement in Fließgewässern – Grundlagen, Methoden, Fallbeispiele; Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.; November 2012.

Felkel, K. (1970): Ideenstudie über die Möglichkeit der Verhütung von Sohlenerosion durch Geschiebezufuhr aus der Talaue ins Flussbett, dargestellt am Beispiel des Oberrhein. Mitteilungsblatt der BAW, 1970, H. 30, S. 21 – 29.

Felkel, K. (1972): Das Sohlenkorn des Rheins zwischen Straßburg und Bingen. Mitteilungsblatt der BAW, 1970, H. 32, S. 75–87.

Felkel, K.; Steinweller, H. (1972): Natur- und Modellversuche über die Wirkung der Schiffe auf Flusssohlen aus Grobkies (Breisacher Versuche), Wasserwirtschaft 62, 1972, H. 8, S. 243-249.

Felkel, K.; Kuhl, D.; Steitz, K. (1977): Naturversuche mit künstlicher Geschiebezuführung zwecks Verhütung der Sohleintiefung des Oberrheins (Freistetter Versuche), Wasserwirtschaft, 67, 1977, S. 119-125.

Felkel, K. (1980): Die Geschiebezugabe als flussbauliche Lösung des Erosionsproblems des Oberrheins. Mitteilungsblatt der BAW, 1980, Nr. 47,.54 S.

Felkel, K. (1987): Acht Jahre Geschiebezugabe am Oberrhein. Wasserwirtschaft, 77. Jahrgang, Heft 4 – 1987.

forum wissenschaft & umwelt, (2011): Die Zukunft der Donau im Nationalpark. 25.11.2011.

Ferguson, R. I. (1986): Hydraulics and hydraulic geometry, Prog. Phys. Geogr., 10, 1 – 31, 1986.

Garber, B. (2002): Entwicklung eines Sandhobels; Mitteilungsblätter der Bundesanstalt für Wasserbau Nr. 85 - 2002.

Gölz, E. (2002): Iffezheim field test – three years experience with a petrographic tracer. Proceedings of an international symposium held at Alice Springs, Australia, September 2002. IAHS Publ. no 276 – 2002.

Gruber, O. (1969): Gewässerkunde und Hydrografie im Bundesstrombauamt; Österreichische Wasserwirtschaft, Jahrgang 21 – Heft 1/2 – 1969, S. 27-34.

Gruss (1996): Donaukraftwerk Freudenau. Unterwasserbereich – Geschiebezugabe in der Erhaltungsstrecke bis Strom-km 1910; aus: „Das Donaukraftwerk Freudenau und seine Rolle in der Wasserwirtschaft des Wiener Donauraumes“, Unterlagen zu einem Workshop, herausgegeben von der Donaukraft AG und vom Österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsverband.

Günter (1971): Die kritische mittlere Sohlenschubspannung bei Geschiebemischungen unter Berücksichtigung der Deckschichtbildung und der turbulenzbedingten Sohlenschubspannungsschwankungen; Mitteilungen VAW Zürich.

Habersack, H.; Klösch, M. (2012): Monitoring und Modellierung von eigendynamischen Aufweitungen an Drau, Mur und Donau. Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft, H. 7-8/2012; S. 363-378.

Hydrographisches Zentralbüro im Bundesministerium f. Land- und Forstwirtschaft 1976-2010. Hydrographische Jahrbücher von Österreich

Hunziker (1995): Fraktionsweiser Geschiebetransport; Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich, Band 138.

Jäggi (1992): Sedimenthaushalt und Stabilität von Flussbauten; Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich, Band 119.

Kern, K. (1994): Grundlagen naturnaher Gewässergestaltung – Geomorphologische Entwicklung von Fließgewässern. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Klasz, G. (2002): Ein Beitrag zur flussmorphologisch orientierten Untersuchung der Sohlstabilität der Donau zwischen Wien und Marchmündung. Diplomarbeit an der Technischen Universität Wien, Institut für Hydraulik, Gewässerkunde und Wasserwirtschaft.

Klasz, G., Schmalfuß, R., Schlögl, R. (2008): Uferrückbau und Buhnenoptimierung an der Donau östlich von Wien; Internationales Symposium 2008 Zürich; VAW Mitteilungen 207, Band 1 (Herausgeber: Prof. H. E. Minor).

Klasz, G.; Schmalfuß, R.; Zottl, H.; Reckendorfer, W. (2009a): Das Flussbauliche Gesamtprojekt für die österreichische Donau östlich von Wien; Österreichische Ingenieur- und Architekten-Zeitschrift (ÖIAZ) 154, Heft 1-6/2009.

Klasz, G; Zottl, H; Habersack, H; Schmalfuss, R. (2009b): Die granulometrische Sohlverbesserung für die Donau östlich von Wien als spezielle Form der Geschiebebewirtschaftung ; Österreichische Ingenieur- und Architekten-Zeitschrift (ÖIAZ) 154, Heft 1-6/2009.

Klasz, G.; Krouzecky, N.; Reckendorfer, W.; Schmalfuß, R.; Schlögl, R. (2009c): Neue wasserbauliche Wege: Uferrückbau und Buhnenumgestaltung an der Donau östlich von Wien. Österreichische Ingenieur- und Architekten-Zeitschrift (ÖIAZ) 154, Heft 1-6/2009.

Klasz, G. (2011): Studie zur Flussmorphologie der frei fließenden Donau, Wien bis Marchmündung. Wissenschaftliche Reihe des Nationalparks Donau-Auen, Heft 26/2011.

Klasz (2012): Referat „Zum erforderlichen Sicherheitsabstand über Flächen mit GSV“ vor dem Zweiten ‚Integrierten Projekttreffen‘ am 07.09.2012; Power-Point-Folien dazu (10 S.).

Klasz, G.; Reckendorfer, W.; Gutknecht, D. 2012. Morphological aspects of bankfull and effective discharge of gravel-bed rivers and changes due to channelization. 9th International Symposium on Ecohydraulics 2012, Proceedings.

Klasz, G.; Reckendorfer, W.; Baumgartner, C.; Gabriel, H.; Gutknecht, D. (2013): River-bed degradation and overbank deposition: A human induced geomorphic disequilibrium in the Donau-Auen National Park. 5th Symposium for Research in Protected Areas, 10 to 12 June 2013, Mittersill.

Klasz, G.; Reckendorfer, W.; Gabriel, H..; Baumgartner, C.; Schmalfuss, R.; Gutknecht, D. (2014): Natural levee formation along a large and regulated river: The Danube in the National Park Donau-Auen, Austria. Geomorphology (2014), http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2013.12.023

Knighton, A.D. (1998): Fluvial Forms and Processes. A new Perspective. Edward Arnold, New York.

Kresser, W. (1957): Die Hochwässer der Donau, Schriftenreihe des Österreichischen Wasserwirtschaftsverbandes, Heft 32/33, Springer Verlag Wien.

Kresser, W. (1984): Donaukraftwerk Hainburg, Eintiefungstendenzen der Donau im Bereich von Greifenstein bis zur Staatsgrenze; Gutachten; Wien.

Kresser, W. (1987): Auswirkungen des geplanten KW Wien auf den Geschiebetrieb und die Sohlstabilität der Donau im Bereich stromab von Greifenstein; Gutachten im Auftrag des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Wien.

Kresser (1988): Die Eintiefung der Donau unterhalb von Wien; Perspektiven, Heft 9/10 – 1988.

Krouzecky, N.; Hengl, M.; Huber, B. (2009): Schnittmodellversuche betreffend die grundsätzliche Umsetzbarkeit der granulometrischen Sohlverbesserung. Österreichische Ingenieur- und Architekten-Zeitschrift (ÖIAZ) 154, Heft 1-6/2009; S: 157-163.

Kuhl, D. (1993): Die Geschiebezugabe unterhalb der Staustufe Iffezheim von 1978 – 1993. Mitteilungsblatt der BAW, 1993, Nr. 70,.S 63-76.

Leopold L.B. & Maddock T. 1953. The hydraulic geometry of stream channels and some physiographic implications. U.S. Geological Survey Prof. Pap., 252, pp. 1-57.

Liedermann, M-; Gmeiner, P.; Niederreiter, R.; Tritthart, M.; Habersack, H. (2012a): Innovative Methoden zum Geschiebemonitoring am Beispiel der Donau. Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft, H. 11-12/2012; S. 527-534.

Liedermann, M.; Tritthart, M.; Habersack, H. (2012b): Particle path characteristics at the large gravel-bed river Danube: results from a tracer study and numerical modelling. Earth Surface Processes and Landform 38, 512-522.

Linkov, I.; Satterstrom, F.K., Kiker, G.; Batchelok, C.; Bridges, T.; Ferguson, E. (2006): From comparative risk assessment to multi-criteria decision analysis and adaptive management: Recent developments and applications. Environment International, Vol. 32 (2006), p. 1072 – 1093.

Mayrhofer, A. (1964): Normalprofil und Ausgleichsgefälle geschiebeführender Flüsse; Österreichische Wasserwirtschaft, Heft 7/8 – 1964.

Manzano, C. (2009): Das Flussbauliche Gesamtprojekt aus Sicht des Nationalparks Donau-Auen. Österreichische Ingenieur- und Architekten-Zeitschrift (ÖIAZ) 154, Heft 1-6/2009, S. 225-229.

Mikos (1996): Geschiebesortierung und Abrieb entlang eines Flusses; erschienen in: Schriftenreihe des Österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsverbandes, Heft 105 (Seminar „Natürliche Deckschichtbildung in Fließgewässern“, Oktober 1995 in Innsbruck).

Musil, R., (1978): Mann ohne Eigenschaften. Rowohlt Verlag. Neu durchgesehene und verbesserte Ausgabe 1978.

Nachtnebel, H.P. (2009): Studienblätter Hydrologie und Wasserwirtschaftliche Planung. Sommersemester 2009. Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiven Wasserbau.

Nationalparkplanung Donau-Auen (1987): Nationalpark Donau-March-Thaya-Auen – Die Empfehlungen der Ökologiekommission; Herausgeber, Verleger: Verein zur Förderung und Planung des Nationalparks Donau-Auen (Nationalparkplanung Donau-Auen).

Nestmann, F. (1993): Oberrheinausbau, Wassermodell mit beweglicher Sohle des UW Iffezheim. Mitteilungsblatt der BAW, 1993, Nr. 70,.S 97-132.

Nestmann, F. (1996): Eigenschaften und Nutzungen von Fließgewässern; Wasserwirtschaft, 86. Jahrgang, Heft 7/8 – 1996.

Oberste Wasserrechtsbehörde, Bundesministerium f. Land- und Forstwirtschaft (1991): Bescheid Zl. 14.570/182-I 4/91 vom 31.07.1991 zum Donaukraftwerk Freudenau – Wasserrechtliche Grundsatzgenehmigung;

Ogris, Zottl & Erber (1988): Donau im Raum Wien - Bad Deutsch-Altenburg, Sohlstabilisierung durch Grobmaterialzugabe zur Deckschichtbildung; Studie im Auftrag der Stadt Wien - MA 45 (Wasserbau).

Ökologiekommission der österreichischen Bundesregierung (1985): Arbeitspapier Nr. 11.

Planungsgruppe Wasserbau - Auenökologie (Experten: Grabherr, Janauer, Schacht, Schiemer, Winkler, Wösendorfer, Zottl), (1991): Wasserbauliche Szenarien und Ökologie der Donau-Auen östlich von Wien; Studie im Auftrag der Betriebsgesellschaft Marchfeldkanal.

profil, 27. November 2004: „Zeitgeschichte. An der schönen blauen Donau“.

Projektgruppe Erosionsstrecke Elbe (2009): Sohlstabilisierungskonzept für die Elbe von Mühlberg bis zur Saalemündung. Bericht Wasser- und Schifffahrtsdirektion Ost, Wasser- und Schifffahrtsamt Dresden, Bundesanstalt für Gewässerkunde und Bundesanstalt für Wasserbau, Magdeburg, Dresden, Koblenz und Karlsruhe, März 2009.

Reckendorfer W. Baumgartner C., Hein T., Kum G., Raab R., Schagerl M., Steel A. & I. Zweimüller (2004): Ecological effects of the Danube-Restoration-Program: Summary. Abhandlungen der Zoologisch-Botanischen Gesellschaft in Österreich 34, 173-185.

Reckendorfer, W.; Klasz, G.; Korner, I.; Mühlbauer, M.; Ratschan, Cl.; Zauner, G. (2009): Zur Optimierung von Gewässervernetzungen am Beispiel der Donau. Österreichische Ingenieur- und Architekten-Zeitschrift (ÖIAZ) 154, Heft 1-6/2009; S: 139-146.

Scheuerlein, H. (2003): Endbericht Wasserbau - Allgemeiner Teil; Flussbauliches Gesamtprojekt östlich von Wien - Umweltverträglichkeitserklärung; im Auftrag der Wasserstraßendirektion und des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie.

Schiemer, Reckendorfer (2000): Das Donau-Restaurierungsprojekt, Gewässervernetzung Regelsbrunn (mit Beiträgen von Schiemer, Trockner, Baumgartner, Hein, Pennetzdorfer, Heiler, Schagerl, Riedler, Kum, Gätz, Wintersberger, Weigand, Raab, Chwala, Zweimüller); Verlag der Zoologisch-Botanischen Gesellschaft in Österreich.

Schimpf, H., Harreiter, H., Ziss, H. (2009): Zehn Jahre Erfahrungen mit der Unterwassersicherung zum Kraftwerk Freudenau; Österreichische Ingenieur- und Architekten-Zeitschrift (ÖIAZ) 154, Heft 1-6/2009.

Schmalfuss, R. (2013): Referat „Donaukraftwerk Freudenau – Unterwassersicherung, Geschiebezugabe 1996-2013“ vor dem Akteursforum am 12.12.2013; Power-Point-Folien dazu (17 S.).

Schmautz, M., Aufleger, M. & Strobl, Th. (2000): Wissenschaftliche Untersuchung der Geschiebe- und Eintiefungsproblematik der österreichischen Donau. Endbericht; im Auftrag der Verbund – Austrian Hydro Power AG.

Schmautz, M.; Aufleger, M; Strobl, T. 2002. Anthropogene Einflussnahme auf die Flussmorphologie der Donau in Österreich. Österreichische Ingenieur- und Architekten-Zeitschrift, Heft 5-6/2002.

Schöberl (1981): Abpflasterungs- und Selbststabilisierungsvermögen erodierender Gerinne; Österreichische Wasserwirtschaft, Jahrgang 33, Heft 7/8-1981.

Schröder, W.; Römisch, K. (2001): Gewässerregelung – Binnenverkehrswasserbau. Werner Verlag GmbH & Co.KG.

Stenglein, J. (2002): Unterhaltungskonzept für den freifließenden Rhein. Mitteilungsblatt der BAW, Nr. 84,.2002; S 187-204.

Strasser, G. (2003): Schifffahrtstechnisches Gutachten zum Flussbaulichen Gesamtprojekt östlich von Wien; Gutachten im Auftrag des BMVIT und der Wasserstraßendirektion Wien.

Strobl (1999): Steinschlaguntersuchungen zur Ermittlung vertikaler Sicherheitsabstände in der Schifffahrt; Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau Nr. 80.

Strobl, Th. & Schmautz, M. (2001): Einfluss des Wasserkraftausbaus auf die Flussmorphologie der Donau in Österreich; erschienen in: Beiträge des internationalen Symposiums „Wasserkraft – die erneuerbare Energie“ vom 18. und 19. Oktober 2001, Verbandsschrift 65 des Schweizerischen Wasserwirtschaftsverbandes.

Strobl (2002): Einfluss der Granulometrischen Sohlverbesserung auf Steinschlagschäden an Propeller und Düse eines Schiffes an der Donau östlich von Wien, Privatgutachten (unveröffentlicht).

Verbund AG (2013): Zwischenbericht, Quartal 1 /2013

via donau (2011): Stromgrundaufnahmen (Querprofile und Querprofildaten), Strom-km 1921 bis 1873.

via donau (2012): Die kennzeichnenden Wasserstände der österreichischen Donau – KWD-2010.

Wasserstraßendirektion (1986): Die kennzeichnenden Wasserstände der österreichischen Donau – KWD-1985.

Wasserstraßendirektion (1996): Stromgrundaufnahmen (Querprofile und Querprofildaten), Strom-km 1921 bis 1873.

Wasserstraßendirektion (1998): Die kennzeichnenden Wasserstände der österreichischen Donau – KWD-1996.

Weizsäcker; Lovins, A.H.; Lovins, H. (1995): Faktor Vier, Doppelter Wohlstand – halbierter Naturverbrauch; Droemer Knaur Verlag, München.

Wolman M.G., Miller J.P., (1960): Magnitude and frequency of forces in geomorphic processes. Journal of Geology 68, pp. 54-74.

WWF (2002): Waterway Transport on Europe’s Lifeline, the Danube: Impacts, Threats and Opportunities. Part A: River Ecosystem (coordinated by Alexander Zinke); Part B: Waterway Transport Needs (coordinated by Helmut Hiess).

Zanke (1982): Grundlagen der Sedimentbewegung; Springer Verlag.

Zottl & Erber-Zivilingenieurbüro (1987): Donau im Raum Wien - Bad Deutsch-Altenburg, Untersuchung der Sohlstabilität im Zusammenhang mit der Staustufe Wien. Studie im Auftrag der Stadt Wien – MA 45 (Wasserbau).

Zottl, H. (1998): The Danube River East of Vienna – Stabilization of the River Bed; International Conference on European

River Development ICERD, Budapest April 16 – 18, 1998.

Zottl, H., Scheuerlein, H. (2009): Der Weg zum Flussbaulichen Gesamtprojekt unter Berücksichtigung der wasserbaulichen Möglichkeiten; Österreichische Ingenieur- und Architekten-Zeitschrift (ÖIAZ) 154, Heft 1-6/2009.

Anhänge

K1	Kostenmodell: Antransport und Einbau von Kies aus dem Bereich Krems iSd. VHP-Geschiebezugabe
K2	Kostenmodell: Antransport und Einbau von Kies aus der Unterliegerstrecke (österreichisch-slowakische Grenzstrecke)
K3	Kostenmodell: Grobkies- / Grobkornanreicherung, Material, Anlieferung und Einbau
K4	Kostenmodell: Rückführung aus Kies aus Instandhaltungsbaggerungen (bergwärts)

Verwendete Abkürzungen

BMVIT	Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
FGP	Flussbauliches Gesamtprojekt
GSV	Granulometrische Sohlverbesserung
GV	Gewässervernetzung
HSW	Höchster Schifffahrtswasserspiegel; zugehöriger Abfluss: HSQ
HW	Hochwasser
KW	Kraftwerk (hier iSv. Flusskraftwerk bzw. Donaukraftwerk)
KWD	Kennzeichnende Wasserstände der österreichischen Donau
MW	Mittelwasser; zugehöriger Abfluss: MQ
RNW	Regulierungsniederwasser; zugehöriger Abfluss: RNQ
UVE	Umweltverträglichkeitserklärung
UVP	Umweltverträglichkeitsprüfung
UW	Unterwasser
VHP	Verbund Hydro Power (früher: Austrian Hydro Power; noch früher: Donaukraftwerke AG)

Antransport und Einbau von 200'000 m3 Kies pro Jahr (annähernd dzt. VHP-Einbau)

Kiesgewinnung und Antransport			
Schw. Hydraulikbagger, mind. 320 kW; (Stelze), A+V+Rep.	11250 €/w		*250 €/Std; 45 Std./w*
Motorschubschiff, ca. 1200 kW, A+V+Rep.	10000 €/w		*200 €/Std; 50 Std./w*
Schubleichter, 1000 m3; (6 Stk)	6000 €/w		*6 * 200 €/d; 5 d/w*
Mannschaft (1 Kapitän, 1 Baggerführer, 3 Mann)	8325 €/w		*(2*40+3*35) €/h; 45 h/w*
Kraftstoffverbrauch Schwimmbagger (320 kW)	1580 €/w		*320 kW; 45 Std/w; 0.11 €/kWh (inkl 10% Schmierstoffzulage)*
Kraftstoffverbrauch Schubschiff (1200 kW)	6860 €/w		*1200 kW; 52 Std./w; 0.11 €/kWh (inkl. 10% Schmierstoffzulage)*
Zuschlag, Stillstandszeiten Hochwasser, Eis	5.0%		*5% auf die Summe der Kosten für Kiesgewinnung und Transport*
Leistung (Gewinnung und Transport)	8000 m3/w		
kalkulatorische Kosten (Gewinnung und Transport) =		5.78 €/m3	
Umschlag auf Hydroklappschuten und Einbau			
Schw. Hydraulikbagger, mind. 320 kW; (Stelze), A+V+Rep.	11250 €/w		*250 €/Std; 45 Std./w*
Motorschubschiff, ca. 1200 kW, A+V+Rep	9000 €/w		*200 €/Std; 45 Std./w*
Klappschuten, 250 m3; (2 Stk)	6000 €/w		*2 * 600 €/d; 5 d/w*
Mannschaft (1 Kapitän, 1 Baggerführer, 3 Mann)	8325 €/w		*(2*40+3*35) €/h; 45 h/w*
Kraftstoffverbrauch Schwimmbagger (320 kW)	1580 €/w		*320 kW; 45 Std/w; 0.11 €/kWh (inkl 10% Schmierstoffzulage)*
Kraftstoffverbrauch Schubschiff (1200 kW)	5940 €/w		*1200 kW; 45 Std./w; 0.11 €/kWh (inkl. 10% Schmierstoffzulage)*
Zuschlag, Stillstandszeiten Hochwasser, Eis	5.0%		*5% auf die Summe der Kosten für Umschlag und Einbau*
Leistung (Umschlag und Einbau)	8000 m3/w		
kalkulatorische Kosten (Umschlag und Einbau) =		5.52 €/m3	
Sonstiges			
Messboot (inkl. Vermessungstechniker)	1000 €/w		*2000 €/d (inkl. Techniker und Auswertung); 0.5 d/w*
Bauleiter (Techniker), Organisation	440 €/w		*7000 €/m; Teilzeit: 25%*
Leistung (Einbau)	8000 m3/w		
kalkulatorische Kosten (Sonstiges) =		0.18 €/m3	
Wagnis und Gewinn			
Zuschlag: 3% auf die Summe aller Kosten		0.34 €/m3	
Gesamt		**11.82 €/m3**	

Rückführung von 130'000 bis 170'000 m3 Kies pro Jahr (von etwa Strom-km 1879 bis Strom-km 1909)

Kiesgewinnung und Antransport				
Schw. Hydraulikbagger, mind. 320 kW; (Stelze), A+V+Rep.	11250	€/w		*250 €/Std; 45 Std./w*
Motorschubschiff 1 (für Transport), ca. 1500 kW, A+V+Rep.	10000	€/w		*250 €/Std; 40 Std./w*
Motorschubschiff 2 (für Schwimmbagger), ca. 1500 kW, A+V+Rep.	5000	€/w		*250 €/Std; 20 Std./w (nur zeitweise)*
Schubleichter, 1000 m3; (6 Stk)	6000	€/w		*6 * 200 €/d; 5 d/w*
Mannschaft (1 Kapitän, 1 Baggerführer, 3 Mann)	7550	€/w		*(40+2*35) €/h * 45 h/w + (40+2*35) €/h * 40 h/w*
Mannschaft für MSS 2 (1 Kapitän, 2 Mann)	2200	€/w		*(1*40+2*35) €/h; 20 h/w (nur zeitweise)*
Kraftstoffverbrauch Schwimmbagger (320 kW)	1580	€/w		*320 kW; 45 Std/w; 0.11 €/kWh (inkl 10% Schmierstoffzulage)*
Kraftstoffverbrauch MSS 1 (1500 kW)	6600	€/w		*1500 kW; 40 Std./w; 0.11 €/kWh (inkl. 10% Schmierstoffzulage)*
Kraftstoffverbrauch MSS 2 (1500 kW)	3300	€/w		*1200 kW; 20 Std./w; 0.11 €/kWh (inkl. 10% Schmierstoffzulage)*
Zuschlag, Stillstandszeiten Hochwasser, Eis	25.0%			*25% auf die Summe der Kosten für Kiesgewinnung und Transport*
Leistung (Gewinnung und Transport)	8000	m3/w		
kalkulatorische Kosten (Gewinnung und Transport) =			8.36 €/m3	
Umschlag auf Hydroklappschuten und Einbau				
Schw. Hydraulikbagger, mind. 320 kW; (Stelze), A+V+Rep.	11250	€/w		*250 €/Std; 45 Std./w*
Motorschubschiff 3, ca. 1500 kW, A+V+Rep	11250	€/w		*250 €/Std; 45 Std./w*
Klappschuten, 250 m3; (2 Stk)	6000	€/w		*2 * 600 €/d; 5 d/w*
Mannschaft (1 Kapitän, 1 Baggerführer, 3 Mann)	8100	€/w		*(2*40+3*35) €/h; 45 h/w*
Kraftstoffverbrauch Schwimmbagger (320 kW)	1580	€/w		*320 kW; 45 Std/w; 0.11 €/kWh (inkl 10% Schmierstoffzulage)*
Kraftstoffverbrauch MSS 3 (1500 kW)	7430	€/w		*1500 kW; 45 Std./w; 0.11 €/kWh (inkl. 10% Schmierstoffzulage)*
Zuschlag, Stillstandszeiten Hochwasser, Eis, Niederwasser	25.0%			*25% auf die Summe der Kosten für Umschlag und Einbau*
Leistung (Umschlag und Einbau)	8000	m3/w		
kalkulatorische Kosten (Umschlag und Einbau) =			7.13 €/m3	
Sonstiges				
Messboot (inkl. Vermessungstechniker)	1000	€/w		*2000 €/d (inkl. Techniker und Auswertung); 0.5 d/w*
Bauleiter (Techniker), Organisation	440	€/w		*7000 €/m; Teilzeit: 25%*
Leistung (Einbau)	8000	m3/w		
kalkulatorische Kosten (Sonstiges) =			0.18 €/m3	
Wagnis und Gewinn				
Zuschlag: 3% auf die Summe aller Kosten			0.47 €/m3	
Gesamt			**16.14 €/m3**	

Grobkiesanreicherung, 30'000 bis 40'000 m3 pro Jahr

Material (Grobkies, 16/120 mm od. dgl.) bis Schiff			
Grobkies (32/120 mm od, dgl.) ab Grube, inkl. Siebung und Prüfkosten:		17.00 €/m3	*Material: 10 €/t; Lagerungsdichte 1,7 t/m3*
LKW-Transport Grube - Hafen Wien:		5.70 €/m3	*80 €/Std; Transportweite 25 km; Umlaufzeit ca. 1.22 Std; Nutzlast 29 t*
Umschlag im Hafen, Radlader und Kran (inkl. Personal u. Treibstoff)		2.50 €/m3	*(90+100) €/Std; Leistung ca. 140 m3/h; Hafengebühren ca. 1.1 €/m3*
Schiffstransport (10 bis 15 km talwärts) und Einbau			
Motorschubschiff 1, ca. 1500 kW, A+V+Rep	10000 €/w		*250 €/Std; 40 Std./w*
Motorschubschiff 2, ca. 1500 kW, A+V+Rep	10000 €/w		*250 €/Std; 40 Std./w*
Klappschuten, 400 m3; (4 Stk)	12000 €/w		*4 * 600 €/d; 5 d/w*
Mannschaft (2 Kapitän2, 6 Mann)	13050 €/w		*2*(40+3*35) €/h; 45 h/w*
Kraftstoffverbrauch 2*Schubschiff (1500 kW)	13200 €/w		*2*1500 kW; 40 Std./w; 0.11 €/kWh (inkl. 10% Schmierstoffzulage)*
Zuschlag, Stillstandszeiten Hochwasser, Eis	25.0%		*25% auf die Summe der Kosten für Kiesgewinnung und Transport*
Leistung (Gewinnung und Transport)	8000 m3/w		
kalkulatorische Kosten (Schiffstransport und Einbau) =		9.10 €/m3	
Sonstiges			
Messboot (inkl. Vermessungstechniker)	1000 €/w		*2000 €/d (inkl. Techniker und Auswertung); 0.5 d/w*
Bauleiter (Techniker), Organisation	440 €/w		*7000 €/m; Teilzeit: 25%*
Leistung (Einbau)	8000 m3/w		
kalkulatorische Kosten (Sonstiges) =		0.18 €/m3	
Wagnis und Gewinn			
Zuschlag: 3% auf die Summe aller Kosten		1.03 €/m3	
Gesamt		**35.52 €/m3**	

Rückführung von Baggergut aus Instandhaltungsbaggerungen, 8000 m3/w, ca. 2-3 km bergwärts

Baggerung und Transport (2-3 km bergwärts)			
Schw. Hydraulikbagger, mind. 320 kW; (Stelze), A+V+Rep.	10000 €/w		*250 €/Std; 40 Std./w*
Motorschubschiff 1 (für Transport), ca. 1500 kW, A+V+Rep.	10000 €/w		*250 €/Std; 40 Std./w*
Motorschubschiff 2 (für Schwimmbagger), ca. 1200 kW, A+V+Rep.	4000 €/w		*200 €/Std; 20 Std./w (nur zeitweise)*
Klappschuten, 400 m3; (2 Stk)	6000 €/w		*2 * 600 €/d; 5 d/w*
Mannschaft (1 Kapitän, 1 Baggerführer, 4 Mann)	8800 €/w		*(2*40+4*35) €/h; 40 h/w*
Mannschaft für MSS 2 (1 Kapitän, 2 Mann)	2200 €/w		*(1*40+2*35) €/h; 20 h/w (nur zeitweise)*
Kraftstoffverbrauch Schwimmbagger (320 kW)	1760 €/w		*320 kW; 50 Std/w; 0.11 €/kWh (inkl 10% Schmierstoffzulage)*
Kraftstoffverbrauch MSS 1 (1500 kW)	6600 €/w		*1500 kW; 40 Std./w; 0.11 €/kWh (inkl. 10% Schmierstoffzulage)*
Kraftstoffverbrauch MSS 2 (1200 kW)	2640 €/w		*1200 kW; 20 Std./w; 0.11 €/kWh (inkl. 10% Schmierstoffzulage)*
Zuschlag, Stillstandszeiten Hochwasser, Eis	25.0%		*25% auf die Summe der Kosten für Baggerung und Transport*
Leistung (Gewinnung und Transport)	8000 m3/w		
kalkulatorische Kosten (Gewinnung und Transport) =		8.13 €/m3	
Sonstiges			
Messboot (inkl. Vermessungstechniker)	1000 €/w		*2000 €/d (inkl. Techniker und Auswertung); 0.5 d/w*
Bauleiter (Techniker), Organisation	440 €/w		*7000 €/m; Teilzeit: 25%*
Leistung (Einbau)	8000 m3/w		
kalkulatorische Kosten (Sonstiges) =		0.18 €/m3	
Wagnis und Gewinn			
Zuschlag: 3% auf die Summe aller Kosten		0.25 €/m3	
Gesamt		**8.56 €/m3**	

Anm.:

Gerätewahl und Kapazitäten so, dass eine mittlere Wochenleistung von 8000 m3/w erzielbar;

Transportweite zwischen Gewinnung und Umschlag ca 30 km (ca. Strom-km 1879 bis 1909),

Spieldauer (Lastfahrt + Manövrieren + Leerfahrt + Manövrieren) ca. 5 Std,

zwei Klappschuten bei Einbaustelle, zwei auf Transportweg

Rückführung von Baggergut aus Instandhaltungsbaggerungen, 8000 m3/w, ca. 15 km bergwärts

Baggerung und Transport (15 km bergwärts)			
Schw. Hydraulikbagger, mind. 320 kW; (Stelze), A+V+Rep.	12500 €/w		*250 €/Std; 50 Std./w*
Motorschubschiff 1 (für Transport), ca. 1500 kW, A+V+Rep.	13750 €/w		*250 €/Std; 55 Std./w*
Motorschubschiff 2 (für Schwimmbagger), ca. 1200 kW, A+V+Rep.	5000 €/w		*200 €/Std; 25 Std./w (nur zeitweise)*
Klappschuten, 400 m3; (4 Stk)	12000 €/w		*4 * 600 €/d; 5 d/w*
Mannschaft (1 Kapitän, 1 Baggerführer, 4 Mann)	11550 €/w		*(40+2*35) €/h * 50 h/w + (40+2*35) €/h * 55 h/w*
Mannschaft für MSS 2 (1 Kapitän, 2 Mann)	2200 €/w		*(1*40+2*35) €/h; 20 h/w (nur zeitweise)*
Kraftstoffverbrauch Schwimmbagger (320 kW)	1760 €/w		*320 kW; 50 Std/w; 0.11 €/kWh (inkl 10% Schmierstoffzulage)*
Kraftstoffverbrauch MSS 1 (1500 kW)	9080 €/w		*1500 kW; 55 Std./w; 0.11 €/kWh (inkl. 10% Schmierstoffzulage)*
Kraftstoffverbrauch MSS 2 (1200 kW)	3300 €/w		*1200 kW; 20 Std./w; 0.11 €/kWh (inkl. 10% Schmierstoffzulage)*
Zuschlag, Stillstandszeiten Hochwasser, Eis	25.0%		*25% auf die Summe der Kosten für Baggerung und Transport*
Leistung (Gewinnung und Transport)	8000 m3/w		
kalkulatorische Kosten (Gewinnung und Transport) =		11.12 €/m3	
Sonstiges			
Messboot (inkl. Vermessungstechniker)	1000 €/w		*2000 €/d (inkl. Techniker und Auswertung); 0.5 d/w*
Bauleiter (Techniker), Organisation	440 €/w		*7000 €/m; Teilzeit: 25%*
Leistung (Einbau)	8000 m3/w		
kalkulatorische Kosten (Sonstiges) =		0.18 €/m3	
Wagnis und Gewinn			
Zuschlag: 3% auf die Summe aller Kosten		0.34 €/m3	
Gesamt		**11.64 €/m3**	

Anm.:

Gerätewahl und Kapazitäten so, dass eine mittlere Wochenleistung von 8000 m3/w erzielbar;

Transportweite zwischen Gewinnung und Umschlag ca 30 km (ca. Strom-km 1879 bis 1909),

Spieldauer (Lastfahrt + Manövrieren + Leerfahrt + Manövrieren) ca. 5 Std,

zwei Klappschuten bei Einbaustelle, zwei auf Transportweg

ESTRAGON: Didi.

WLADIMIR: Ja.

ESTRAGON: Ich kann nicht mehr so weitermachen.

WLADIMIR: Das sagt man so.

ESTRAGON: Sollen wir auseinandergehen? Es wäre vielleicht besser.

WLADIMIR: Morgen hängen wir uns auf. (Pause). Es sei denn, dass Godot käme.

ESTRAGON: Und wenn er kommt?

WLADIMIR: Sind wir gerettet.

Samuel Beckett:
Warten auf Godot

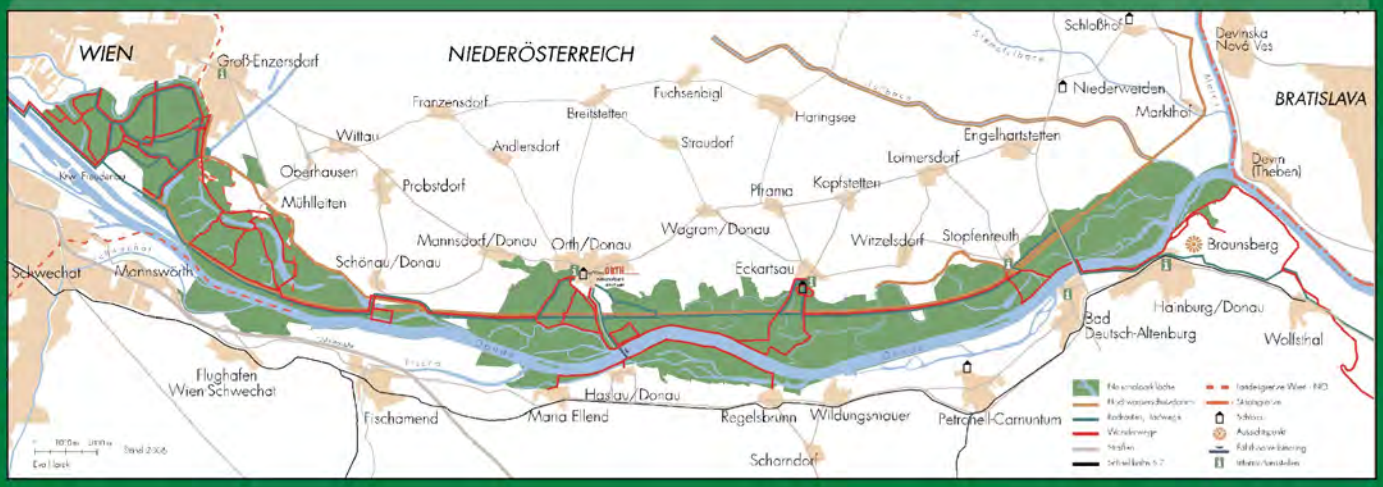
- Herausgeber: Nationalpark Donau-Auen GmbH
- Titelbild: Baumgartner
- Für den Inhalt sind die Autoren verantwortlich

- Für den privaten Gebrauch beliebig zu vervielfältigen
- Nutzungsrechte der wissenschaftlichen Daten verbleiben beim Rechtsinhaber

- Als pdf-Datei direkt zu beziehen unter www.donauauen.at

- Bei Vervielfältigung sind Titel und Herausgeber zu nennen / any reproduction in full or part of this publication must mention the title and credit the publisher as the copyright owner:
  © Nationalpark Donau-Auen GmbH

- Zitiervorschlag: KLASZ, G. (2015) Zu den Möglichkeiten einer Geschiebebewirtschaftung und den zugehörigen Optimierungspotentialen für die Donau östlich von Wien.
  Wissenschaftliche Reihe Nationalpark Donau-Auen, Heft 37



Nationalpark Donau-Auen GmbH
A-2304 Orth/Donau, Schloss Orth
Tel. 02212/3450, Fax DW 17
nationalpark@donauauen.at, www.donauauen.at

KOSTBARE NATUR FÜR GENERATIONEN