



BUNDESANSTALT FÜR WASSERBAU

Karlsruhe · Hamburg · Ilmenau

BAW



**Untersuchung der Auswirkung von Maßnahmen
im Elbevorland auf die Strömungssituation
und die Flussmorphologie am Beispiel der
Erosionsstrecke und der Rückdeichungsbereiche
zwischen Wittenberge und Lenzen**

- Schlussbericht -

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1	Zielstellung und Untersuchungsmethodik 1
2	Struktur des Forschungsprojektes, Veröffentlichungen und Berichte, Bearbeiter und Zusammenarbeit mit anderen Stellen 5
3	Voraussetzungen 9
3.1	Erosionsstrecke der Elbe 9
3.2	Deichrückverlegung bei Lenzen 10
3.3	Charakterisierung der zu untersuchenden Grundszenarien 12
4	Allgemeine Fragestellungen 14
4.1	Entwicklungsziele 14
4.2	Untersuchungsrelevante Durchflüsse 15
4.3	Vergleich von ausufernden Durchflüssen in unterschiedlichen Untersuchungsräumen 20
4.4	Alternative Formen der Ergebnisdarstellung 23
5	Eindimensionale Modelle am Beispiel der Feststofftransportmodelle der Erosionsstrecke der Elbe 27
5.1	Allgemeines 27
5.2	Modelltopografie 27
5.3	Hydrologische Daten 29
5.4	Morphologische Daten 30
5.4.1	<i>Eigenschaften des Sohlenmaterials</i> 30
5.4.2	<i>Eintrag von Geschiebe- und Schwebstoffmengen</i> 31
5.5	Modellkalibrierung 33
5.5.1	<i>Hydraulische Kalibrierung</i> 33
5.5.2	<i>Sedimentologische Kalibrierung</i> 34
5.6	Ausblick 40
6	Zweidimensionale Modelle 41
6.1	Modell in der Erosionsstrecke bei Klöden 41
6.1.1	<i>Modellbeschreibung</i> 41
6.1.2	<i>Untersuchte Varianten</i> 43
6.1.3	<i>Ergebnisse</i> 45
6.1.4	<i>Schlussfolgerungen</i> 48
6.2	Modell der Rückdeichung bei Lenzen 50
6.2.1	<i>Modellbeschreibung</i> 50
6.2.2	<i>Untersuchte Varianten</i> 52

6.2.3	<i>Ergebnisse</i>	53
6.2.4	<i>Zusammenfassung</i>	59
7	Aerodynamische Modelle	60
7.1	Aerodynamische Modelle mit variabler Überhöhung	60
7.2	Aerodynamisches Modell in der Erosionsstrecke bei Klöden	65
7.3	Aerodynamisches Modell bei Lenzen	71
8	Hydraulisches Modell bei Mockritz/Döbern	78
8.1	Modellbeschreibung	78
8.2	Varianten	79
8.3	Ergebnisse	81
8.4	Schlussfolgerungen	85
9	Modellvergleiche	86
9.1	Vergleich von Modellen im Bereich Klöden	87
9.2	Vergleich von Modellen im Bereich der Rückdeichung Lenzen	91
9.3	Vergleich von Modellen mit Vorlandrinnen und Deichrückverlegung	94
10	Schlussfolgerungen aus den Untersuchungen im Forschungsprojekt	97
10.1	Erosionsstrecke	97
10.2	Deichrückverlegung	99
10.3	Erfahrungen bei der interdisziplinären Zusammenarbeit und beim Einsatz verschiedener Modellarten	100
11	Bibliografie	101
12	Glossar (Endnoten)	106

Abbildungsverzeichnis

	Seite
Abb. 1.1: Übersicht der Untersuchungsgebiete	2
Abb. 1.2: Lage der kleinen und mittelgroßen Modelle in der Erosionsstrecke	4
Abb. 1.3: Modelle mit mittelgroßem Untersuchungsbereich zur Rückdeichung Lenzen	5
Abb. 3.1: Analyse der Sohleneintiefung an Hand von Geometriepeilungen und von auf Q_{GIW} normierten Wasserspiegelfixierungen (Darstellung der Differenzen bezogen auf 1961-65 bzw. 1959)	9
Abb. 4.1: Ermittlung des „bettbildenden Durchflusses“ für Torgau (BfG, Außenstelle Berlin)	17
Abb. 4.2: Ermittlung des „bettbildenden Durchflusses“ für Wittenberg (BfG, Außenstelle Berlin)	18

Abb. 4.3:	Vergleich der Anteile der Vorländer am Gesamtdurchfluss im Querschnitt	20
Abb. 4.4:	Veränderung der Vorlandanteile am Gesamtdurchfluss zwischen 60er und 90er Jahren (El-km 163-197)	21
Abb. 4.5:	Veränderung der mittleren Durchflussanteile für El-km 163 bis 197 von Flussbett und Vorländern zwischen 1960er und 1990er Jahren (60er Jahre = 100%)	22
Abb. 4.6:	Beispielhafte Darstellung des Strömungscharakters eines Gebietes: Summe der Teilflächen im Untersuchungsgebiet, die bei definierter Wassertiefe mit einer bestimmten Geschwindigkeit überströmt werden)	23
Abb. 4.7:	Bühnenvarianten im Bereich des zweiseitigen Ausbaus, Elbe-km 162,0 bis 162,4	25
Abb. 4.8:	Veränderung der Oberflächengeschwindigkeit durch Bühnenabsenkung (Modell Mockritz-Döbern)	26
Abb. 4.9:	Häufigkeit der Geschwindigkeitsklassen bei ausgewählten Varianten des hydraulischen Modells Mockritz-Döbern	26
Abb. 5.1:	Im Modell angesetzte und aus Geschiebemessungen ermittelte geschiebeführende Sohlenbreiten	29
Abb. 5.2:	Ganglinien, bestehend aus täglichen Abflusswerten und aus über verschieden lange Zeiträume gemittelten Abflüssen	30
Abb. 5.3:	Im Modell verwendete charakteristische Kornverteilungen	31
Abb. 5.4:	Geschiebetransport-Abfluss-Beziehung an der Messstelle Mühlberg	32
Abb. 5.5:	Schwebstofftransport-Abfluss-Beziehung an der Messstelle Mühlberg	32
Abb. 5.6:	Im Modell vorgegebene abflussabhängige Kornverteilungskurven des eingetragenen Geschiebematerials	33
Abb. 5.7:	Differenz zwischen den zu verschiedenen Zeitpunkten fixierten und den für die 1960er-Flussbettgeometrie berechneten Wasserspiegelhöhen	34
Abb. 5.8:	Gleitende Schnitte der beobachteten und berechneten Änderungen der mittleren Sohlenhöhe in der Erosionsstrecke der Elbe zwischen 1961 und 1993	38
Abb. 5.9:	Beobachtete und berechnete Wasserspiegeldifferenzen (um 130 m ³ /s)	39
Abb. 5.10:	Jährliche Frachten an Geschiebe, suspendiertem Sand und Feinschwebstoffen in der Erosionsstrecke der Elbe	39
Abb. 6.1:	Vergleich der Modellausdehnungen des 2D-HN- und des AD-Modells	43
Abb. 6.2:	Vergleich der Wasserspiegeldifferenzen in der Flussachse	47
Abb. 6.3:	Differenz der Strömungsgeschwindigkeiten bei Rückdeichung und Istzustand	48
Abb. 6.4:	Differenz der Strömungsgeschwindigkeiten im Flussschlauch bezogen auf den Istzustand	49
Abb. 6.5:	Untersuchte Linienführungen der Deichrückverlegung bei Lenzen	51
Abb. 6.6:	Modellnetz, Bewuchszonen und Rauheitsbereiche	52
Abb. 6.7:	Berechnete Geschwindigkeitsverteilung für HQ _{3,5} bei großer Rückdeichung	54
Abb. 6.8:	Fließgeschwindigkeiten im Bereich zwischen den bestehenden Deichen bei HQ _{3,5}	55
Abb. 6.9:	Anteil der Schlitze am Vorlandabfluss bei großer Rückdeichung	57
Abb. 6.10:	Wasserspiegel in Flussachse und Rückdeichungsbereich bei Variante 33	57
Abb. 6.11:	Flächenanteile der Geschwindigkeits- und Wassertiefenklassen im Rückdeichungsbereich bei mittlerer Rückdeichung, HQ _{3,5}	58
Abb. 6.12:	Uferlinien bei mittlerer Rückdeichung	59
Abb. 7.1:	Nebelfluidinjektion bei El-km 481,9 zur Strömungssichtbarmachung im Luftmodell	62

Abb. 7.2:	Vertikale Geschwindigkeitsverteilung in Natur und im Luftmodell	63
Abb. 7.3:	Querschnittsdarstellung bei variabler zusätzlicher Überhöhung	63
Abb. 7.4:	Blick auf das Luftmodell „Klöden“	65
Abb. 7.5:	Foto des Luftmodells „Erosionsstrecke“ (Gipsoberfläche, ohne Farbanstrich)	67
Abb. 7.6:	Sichtbarmachung der Sohlstromlinien mit Anstrichverfahren für Variante 1A – Deichrückverlegung (oben) und Istzustand (unten)	68
Abb. 7.7:	Linien gleicher Geschwindigkeiten für Variante 6 (Buhnenabsenkung) und Variante 5 (Buhnenabsenkung und kleine Uferabgrabung) sowie Nullzustand	70
Abb. 7.8:	Vergleich Variante 3 (große Uferabgrabung) und Nullzustand	71
Abb. 7.9:	Luftmodell Lenzen mit eingeebneter Geschiebesohle	72
Abb. 7.10:	Geländemodell des Luftmodells Lenzen für den Nullzustand (aus Laserabstandsmessung)	73
Abb. 7.11:	Sohle des Geschiebekoffers nach dem Langzeitversuch für den Nullzustand	74
Abb. 7.12:	Sohle des Geschiebekoffers nach dem Versuch mit geschlitztem Deich	75
Abb. 7.13:	Sohle des Geschiebekoffers nach dem Versuch ohne Deich	75
Abb. 7.14:	Vergleich der mittleren Sohle im bereich der beweglichen Sohlenbreite im AD-Modell Lenzen	76
Abb. 7.15:	Vergleich der Entwicklung der mittleren Sohlen bezogen auf die Prognose für 15 Jahre im Nullzustand bei feuchter Ganglinie	77
Abb. 8.1:	Hydraulisches Modell mit eingebauten Flutrinnen	78
Abb. 8.2:	Grundriss des Modells mit Lage der Untersuchungsvarianten	79
Abb. 8.3:	Untersuchte Maßnahmen im Querschnitt	80
Abb. 8.4:	Ausschnitt der verzweigten Rinne des rechten Vorlandes	82
Abb. 8.5:	Isotachenpläne für Istzustand und Varianten mit Buhnenmodifikation	83
Abb. 8.6:	Vertikale Geschwindigkeitsverteilung bei $Q = 580 \text{ m}^3/\text{s}$	84
Abb. 9.1:	Vergleich der Wasserspiegel in der Flussachse bei Klöden	88
Abb. 9.2:	Vergleich von 2D- und AD-Modell	89
Abb. 9.3:	Fließgeschwindigkeiten für den Nullzustand aus 2D-HN-Modell bei $1800 \text{ m}^3/\text{s}$	90
Abb. 9.4:	Wasserspiegeldifferenzen im Flussbett zwischen großer Deichvariante und Nullzustand aus langen 1D- und 2D-HN-Modellen bei HQ_{20-25}	92
Abb. 9.5:	Anteile des rechten Vorlandes am Gesamtdurchfluss für El-km 481,9 im Vergleich verschiedener Modelle und Varianten	93
Abb. 9.6:	Vergleich des ermittelten Wasserspiegelabsunks für verschiedene Modelle bei großer Rückdeichung	94

Tabellenverzeichnis

	Seite
Tab. 1.1: Im Forschungsprojekt eingesetzte Modellarten	3
Tab. 1.2: Eingesetzte Modelle in den zwei Untersuchungsgebieten	4
Tab. 2.1: Modelle für die Untersuchungen in der Erosionsstrecke der Elbe	6
Tab. 2.2: Modelle für die Untersuchungen im Rückdeichungsbereich	6
Tab. 4.1: Untersuchungsrelevante Durchflüsse	16
Tab. 4.2: Durchfluss bei Geschiebepositionsbeginn in den Untersuchungsräumen	19
Tab. 4.3: Vergleich von Wasserspiegel und mittleren Geschwindigkeiten im Flussschlauch	22
Tab. 4.4: Liste der jeweiligen Anteile an der Gesamtfläche (12,3 km ²), die bei definierter Fließtiefe mit bestimmter Geschwindigkeit überströmt werden	24
Tab. 6.1: Durchflüsse am Bezugspegel Torgau	44
Tab. 6.2: Durchfluss und Geschwindigkeit im Referenzprofil b (Abb. 6.3) bei El-km 190	45
Tab. 6.3: Maximaler Wasserspiegelabsenk in der Flussachse	46
Tab. 6.4: Durchfluss und Geschwindigkeit im Referenzprofil c) bei El-km 188,5	47
Tab. 6.5: Parameter der untersuchten Rückdeichungsgebiete	50
Tab. 6.6: Modellnetze	51
Tab. 6.7: Anteile des Gesamtabflusses für das Rückdeichungsgebiet	54
Tab. 6.8: Mittlere und maximale tiefengemittelte Geschwindigkeiten in den Schlitten	56
Tab. 7.1: Vergleich von aerodynamischem und hydraulischem Modell	61
Tab. 7.2: Besonderheiten aerodynamischer Modelle im Vergleich mit hydraulischen Modellen	61
Tab. 7.3: Parameter der im Forschungsprojekt eingesetzten Luftmodelle	64
Tab. 8.1: Im hydraulischen Modell untersuchte Durchflüsse	79
Tab. 9.1: Nutzung verschiedener Modellarten bei Klöden	87
Tab. 9.2: Tabellarischer Vergleich der mittelgroßen Modelle mit Rückdeichung	96
Tab. 9.3: Tabellarischer Vergleich der mittelgroßen Modelle mit Vorlandrinnen	97

5 Eindimensionale Modelle am Beispiel der Feststofftransportmodelle der Erosionsstrecke der Elbe

5.1 Allgemeines

Wie Tab. 1.1 bis Tab. 2.2 verdeutlichen, kamen in allen Untersuchungsgebieten zum Teil mehrere eindimensionale hydronumerische Modelle zum Einsatz. Es wurden die Rechenprogramme HEC-2, HEC-6 und CASCADE genutzt. Kurze Erläuterungen zu den Programmen sind dem Forschungsantrag [BAW, 1996b] und den Zwischenberichten [BAW, 1998c und 1999a] zu entnehmen. Die Ergebnisse der eindimensionalen Modelle werden nicht gesondert vorgestellt, sondern sind in die Ausführungen unter allen anderen Gliederungspunkten des Berichtes integriert. Detaillierte Vorstellungen von eindimensionalen Modellen finden sich auch in studentischen Arbeiten, die in Tab. 2.1 und Tab. 2.2 aufgeführt sind. Am Beispiel eines Feststofftransportmodells in der Erosionsstrecke wird dieses Modellverfahren anschließend kurz vorgestellt.

Im Rahmen des Forschungsprojektes wurde das mittelfristige Ziel verfolgt, ein Feststofftransportmodell für die gesamte Erosionsstrecke einschließlich unterstromig anschließendem Abschnitt zwischen Mühlberg und Roßlau (El-km 120-250) zu erstellen. Für Teiluntersuchungen standen bereits in ausgewählten Abschnitten eindimensionale Feststofftransportmodelle (FTM) zur Verfügung bzw. wurden im Forschungsprojekt erarbeitet. Im Auftrag der WSV wurden im Abschnitt El-km 140-163 Untersuchungen zur Geschiebeabgabe und zu wasserbaulichen Maßnahmen im Flussschlauch durchgeführt ([BAW, 1997b], [BAW, 1998b], [ALEXY, 1998]). Begleitend zu den Untersuchungen am hydraulischen Modell El-km 160-164 wurde ein FTM El-km 154-173 betrieben (s. Kap. 8 sowie [HIRSCHAUER, 1999 und 2000]). Für den Teilabschnitt der Erosionsstrecke, in dem eine Rückdeichung im 2D-HN-Modell (s. Kap. 6.1) und im Luftmodell (s. Kap. 7) untersucht wird, wurde ein eindimensionales FTM erstellt (El-km 163-197 [BONNY, 1997]). Die Modellierung der hydraulischen und morphologischen Entwicklung der Flussabschnitte erfolgte mit dem Programm HEC-6, „Scour and Deposition in Rivers and Reservoirs“. Im Verlaufe der Bearbeitung wurden auch Änderungen am Programm vorgenommen. So entfiel mittlerweile die Beschränkung auf maximal 500 Querprofile (statt dessen „gekoppelte“ Beschränkung bei Wahl der Profil- und Zeitschrittzahl). Wegen der ursprünglichen Beschränkung wurden verschieden Teilmodelle erstellt. Mittlerweile wird am Gesamtmodell km 120-250 mit durchgängig 100 m Querprofilabstand gearbeitet. Am Beispiel des in der Profilanzahl noch beschränkten Modells km 121,2-235,6 wird der Stand zum Abschluss des Forschungsprojektes dokumentiert (siehe auch [ALEXY, 2000]).

5.2 Modelltopografie

Die Querprofildaten stützten sich auf eine Peilung in den 1990er-Jahren. Der Querprofilabstand betrug in der Regel 100 m, im Bereich des Torgauer Felsens 10 bis 50 m. Die Vorlandgeometrien wurden im Abstand von 200 m aufgenommen, die dazwischenliegenden Profile interpoliert. Für breite Vorlandgebiete (z.B. mit Altarmen) lagen oft nur mangelhafte Daten vor, die ggf. nur aus topografischen Kar-

ten ergänzt werden konnten. Wegen der vom Programm HEC-6 vorgegebenen Beschränkung auf maximal 500 Querprofile wurden in Abschnitten ohne wesentliche Querschnitts- und Sohlgefälleänderungen und damit vernachlässigbarem Einfluss auf die eindimensionalen Wasserspiegellagenberechnung (Proberechnungen) jeweils zwei oder drei Profile entfernt. In dem so entstandenen Modell mit 498 Querprofilen (vorher 1226) beträgt der Querprofilabstand 200 m bzw. 300 m, im Bereich des Torgauer Felsens 30 bis 60 m. Die in den Jahren 1992 bis 1996 in der Torgauer Felsenstrecke durchgeführten Strombaumaßnahmen (Felsabmeißelung, Sohlschwelleinbau, Abriss und Neubau der Straßenbrücke) sind in der Modellgeometrie vorerst nicht berücksichtigt worden.

Den Kernpunkt der sedimentologischen Eichung bildet der Versuch, die beobachtete Entwicklung der mittleren Sohlenlagen über einen möglichst langen Zeitraum nachzuvollziehen. Dazu standen eine Streichlinienpeilung^B aus dem Jahre 1961/62 und sog. Hochwasserprofile von 1965 zur Verfügung. Wegen des Fehlens eines Festpunktsystems ergaben sich Probleme bei der lagemäßigen Einordnung der 1961-65 aufgenommenen Profile und damit bei der Bestimmung und dem Vergleich der mittleren Sohlenhöhen in den Grenzen der Fahrrinne. So mussten die 1960er-Querprofile in der Regel quer zur Stromachse verschoben und damit in die 1990er-Profile "eingepasst" werden. Da die Profile nicht immer an derselben Station aufgemessen wurden, war es in einigen Fällen erforderlich, die Profile auch in Stromrichtung zu verschieben und so der aktuellen Peilung zuzuordnen. Die zwischen Anfang der 1960er und Anfang der 1990er-Jahre ermittelte Differenz der mittleren Sohlenhöhen in den Grenzen der Fahrrinne im Bereich der Erosionsstrecke zeigt Abb. 3.1. Infolge der o.g. Unsicherheiten bei der Feststellung der Sohlenhöhenveränderung, zu vermutender Abweichungen bei der höhenmäßigen Einbindung der Peilungen und um die Kalibrierung des Modells zu vereinfachen und übersichtlicher zu gestalten, wurde bei den weiteren Betrachtungen immer vom gleitenden arithmetischen Mittel (über 500 m) der Sohlendifferenzen ausgegangen (Abb. 3.1).

Als Ausgangspunkt für die Kalibrier^C-(Eich-) Rechnungen wurde eine Geometriedatei erzeugt, welche den Zustand der Flusssohle im Jahr 1961 widerspiegelt. Grundlage dafür war die Querprofilpeilung aus den 1990er-Jahren, die im Bereich der beweglichen Sohle um die festgestellten Sohlhöhendifferenzen zu verschieben war. Es wurde davon ausgegangen, dass es im Untersuchungszeitraum keine wesentlichen Veränderungen in der Vorlandtopografie gab.

Die seitlichen Grenzen der beweglichen Sohle wurden an den Fußpunkten der Bühnen festgelegt. Die sich so ergebende Breite des als veränderlich angenommenen Flussbettes vergrößert sich damit von ca. 60 m am oberen auf ca. 90 m am unteren Modellrand (Abb. 5.1). Zum Vergleich sind die bei den Geschiebemessungen der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) ermittelten Breiten der geschiebeführende Sohle an den Messstellen Mühlberg bis Wittenberg in die Grafik eingetragen. Wie zu erkennen ist, variiert der Anteil des am Geschiebetransport beteiligten Gewässerbettes in Abhängigkeit von den hydrologischen und sedimentologischen Randbedingungen beträchtlich. Die sich aus der Lage der Bühnenfußpunkte ergebenden Breiten der geschiebeführenden Sohle liegen im Wesentlichen im Bereich der bei größeren Abflüssen festgestellten Werte (Abb. 5.1) und bilden damit einen tauglichen Ansatz für die Simulationsrechnungen. Während des Programmablaufes können die Grenzen des als veränderlich angenommenen Teiles des Flussbettes nicht verändert werden.

Abgesehen von der Torgauer Felsenstrecke weist die bewegliche Flusssohle aus rolligem Material (Kiese und Sande) entsprechend den Angaben eines hydrogeologischen Gutachtens [BfG, 1994a] stets eine Dicke von mehr als 5 m auf.

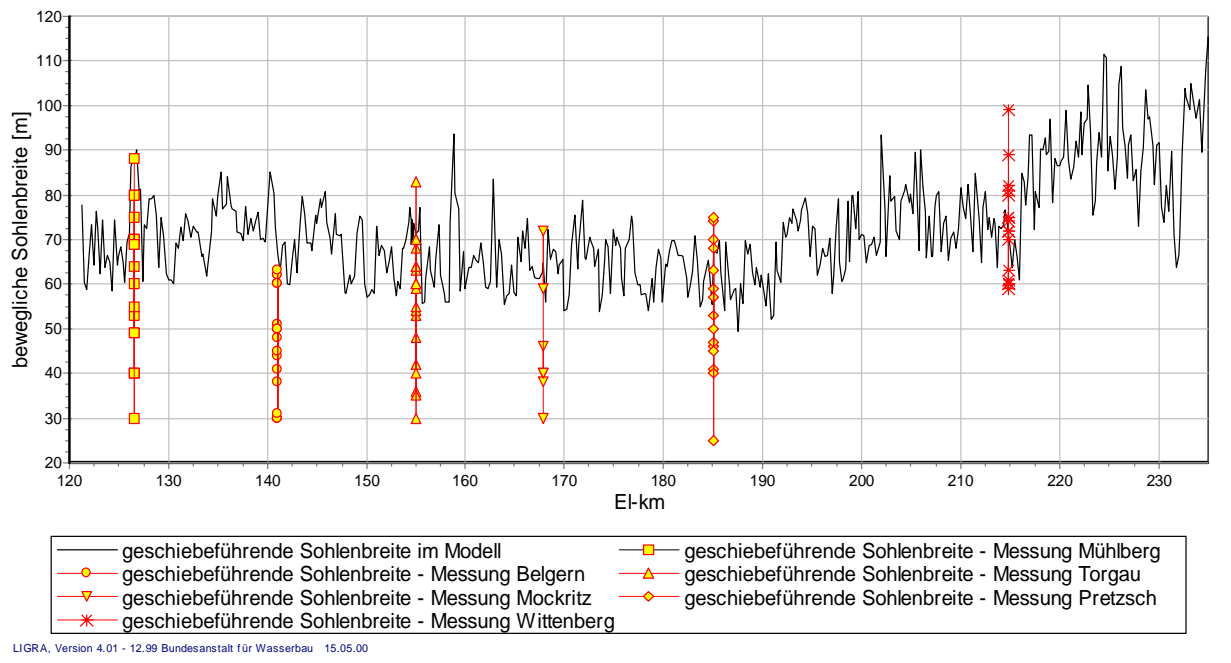


Abb. 5.1: Im Modell angesetzte und aus Geschiebemessungen ermittelte geschiebeführende Sohlenbreiten

5.3 Hydrologische Daten

Die verfügbaren Wasserspiegelfixierungen^D sind [ALEXY, 2000] zu entnehmen.

Für die sedimentologische Eichung mussten die hydrologischen Verhältnisse in der Untersuchungsstrecke im Zeitraum zwischen den beiden verfügbaren Peilungen (Annahme: 1961-1993) als Randbedingung vorgegeben werden. Es fanden die am Pegel Wittenberg (El-km 214,1) zwischen dem 1.1.1961 und dem 31.10.1993 beobachteten täglichen Abflusswerte Verwendung.

Eine direkte Umsetzung dieser Ganglinie würde zu einem Modell mit über 12000 Zeitschritten und damit langen Rechenzeiten führen. Deshalb wurden Perioden mit relativ konstantem Abfluss zusammengefasst (Abb. 5.2). Da die Berechnung der hydraulischen Randbedingungen und der sich daraus ergebenden morphologischen Veränderungen nacheinander erfolgen, ist darauf zu achten, dass die Zeitschritte nicht zu lang sind und damit die hydraulischen Parameter ständig an die sich ändernde Flussbettgeometrie angepasst werden können. Um möglichst effektiv zu arbeiten, wurde durch Testrechnungen festgestellt, wie "grob" die im Modell verwendete Treppenfunktion sein darf, ohne dass signifikante Auswirkungen auf die Rechenergebnisse zu verzeichnen sind. Abb. 5.2 zeigt einen Ausschnitt aus der ursprünglichen Pegelzeitreihe und verschieden "grob" aufgelöste Ganglinien, welche für die Modellrechnungen getestet wurden.

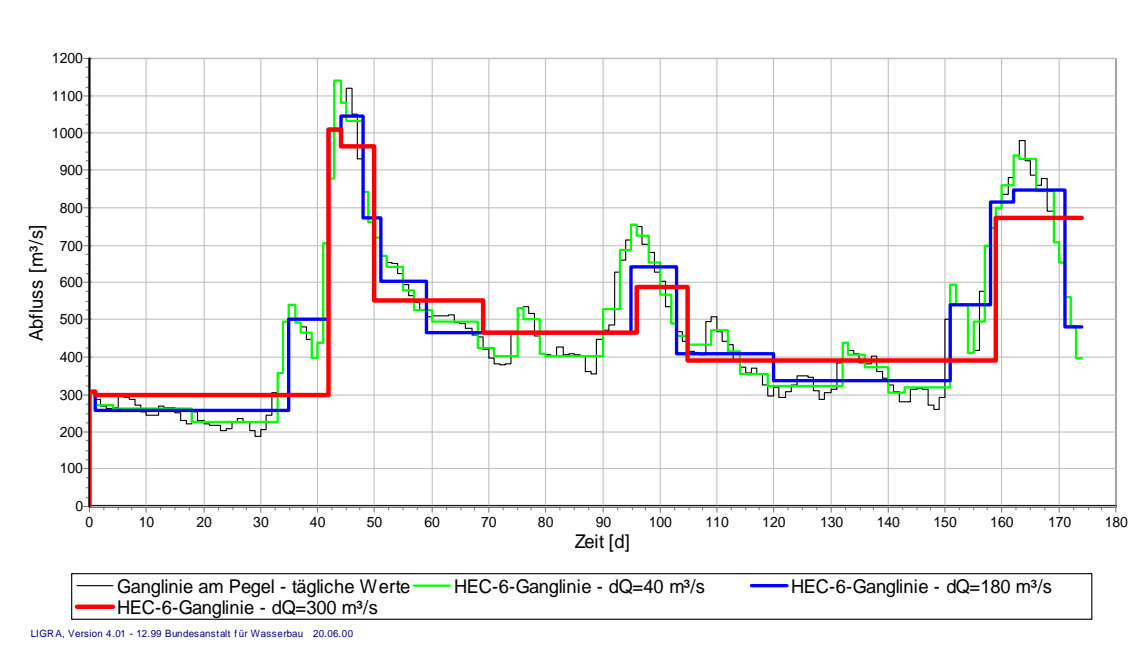


Abb. 5.2: Ganglinien, bestehend aus täglichen Abflusswerten und aus über verschiedenen lange Zeiträume gemittelten Abflüssen

Zur Durchführung der hydraulischen Berechnungen ist es erforderlich, über den für jeden Zeitschritt aus der vorgegebenen Ganglinie erhaltenen Abfluss einen Startwasserstand am unteren Modellrand (El-km 235,6) zu ermitteln. Da sich die Sohle auch in diesem Bereich zwischen den 1960er und 1990er Jahren um ca. 0,4 m eingetieft hat, wurde mit fünf zeitlich begrenzt gültigen Schlüsselkurven gerechnet.

5.4 Morphologische Daten

5.4.1 Eigenschaften des Sohlenmaterials

Eine wichtige Randbedingung für das Betreiben eines Feststofftransportmodells ist die Vorgabe der Eigenschaften des Sohlenmaterials. Dabei sind neben der Dichte und Kornform insbesondere die Kornverteilung von Interesse. Die Grundlage für die im Modell vorzugebenen Sieblinien bilden die von der BfG in der Erosionstrecke der Elbe durchgeführten Untersuchungen zur Kornzusammensetzung des Sohlenmaterials [BfG, 1994]. Die Proben wurden im Kilometerabstand an jeweils drei Stellen im Profil (links, Mitte, rechts) entnommen. Das Korngrößenspektrum der Elbe reicht im untersuchten Abschnitt von Mittelsand bis zu Steinen mit Kantenlängen bis etwa 125 mm. Eingang in das Modell fanden die aus den Proben an den verschiedenen Entnahmestellen ermittelten charakteristischen Korngrößenverteilungen. Obwohl das verwendete Programmsystem die Möglichkeit bietet, für jedes Querprofil eine andere Kornverteilung vorzugeben, sind ähnliche Sieblinien zusammengefasst worden (Abb. 5.3), so dass letztlich mit neun verschiedenen Kurven gerechnet wurde.

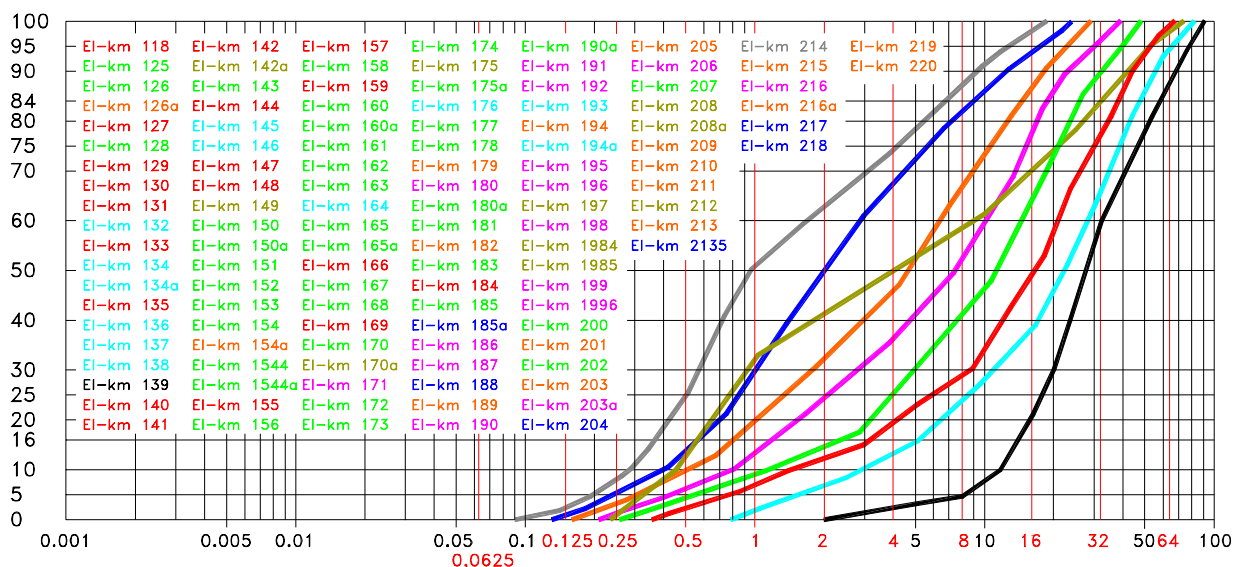


Abb. 5.3: Im Modell verwendete charakteristische Kornverteilungen

Die Begründung für dieses Vorgehen ergibt sich aus der Ähnlichkeit der Kornverteilungen in verschiedenen Abschnitten und insbesondere aus der zu beobachtenden zeitlichen Veränderung der Sieblinien. So zeigen an der gleiche Stelle zu verschiedenen Zeitpunkten durchgeführte Analysen, dass die Korngrößenverteilungen erheblich voneinander abweichen können. Dabei sind sowohl die aktuellen als auch die vorhergehenden Abflussverhältnisse von besonderer Bedeutung. Treten Transportkörpern auf, so spielt es z.B. auch eine Rolle, ob die Probe zufällig an der Luv- oder Leeseite entnommen wurde.

5.4.2 Eintrag von Geschiebe- und Schwebstoffmengen

Zu Ermittlung der Feststofffracht in der Erosionsstrecke der Elbe werden von der BfG seit 1993 systematisch Geschiebe- und Schwebstoffvielpunktmessungen an verschiedenen Messstellen durchgeführt (siehe auch Abb. 4.1 und Abb. 4.2). Im Bereich der Erosionsstrecke liegen dabei die Messstellen Mühlberg (El-km 126,6), Belgern (El-km 141,0), Torgau (El-km 155,0), Mockritz (El-km 167,85), Pretzsch/Mauken (El-km 185,0) sowie Wittenberg (El-km 214,8).

Als eine wesentliche Randbedingung für das Betreiben des Feststofftransportmodells ist der Feststoffeintrag am oberstromigen Modellrand vorzugeben, so dass zunächst die an der Messstelle Mühlberg erhobenen Daten von Interesse sind. Die Abb. 5.4 zeigt die Ergebnisse der bisher in Mühlberg durchgeführten Geschiebemessungen. Abgesehen davon, dass z.Z. noch relativ wenig Daten vorliegen, fällt die starke Streuung und das Fehlen von Messwerten für höhere Abflüsse auf. Die bisher durchgeführten Transportmessungen in Mühlberg bestätigen aber bereits die Annahme, dass dieser Bereich mit Recht als Beginn der Erosionsstrecke anzusehen ist. Von Oberstrom, aus dem sächsischen Elbeabschnitt wird kaum Geschiebe geliefert, so dass die Sohle erst bei Abflüssen über MHQ in nennenswerter Größenordnung in Bewegung gerät.

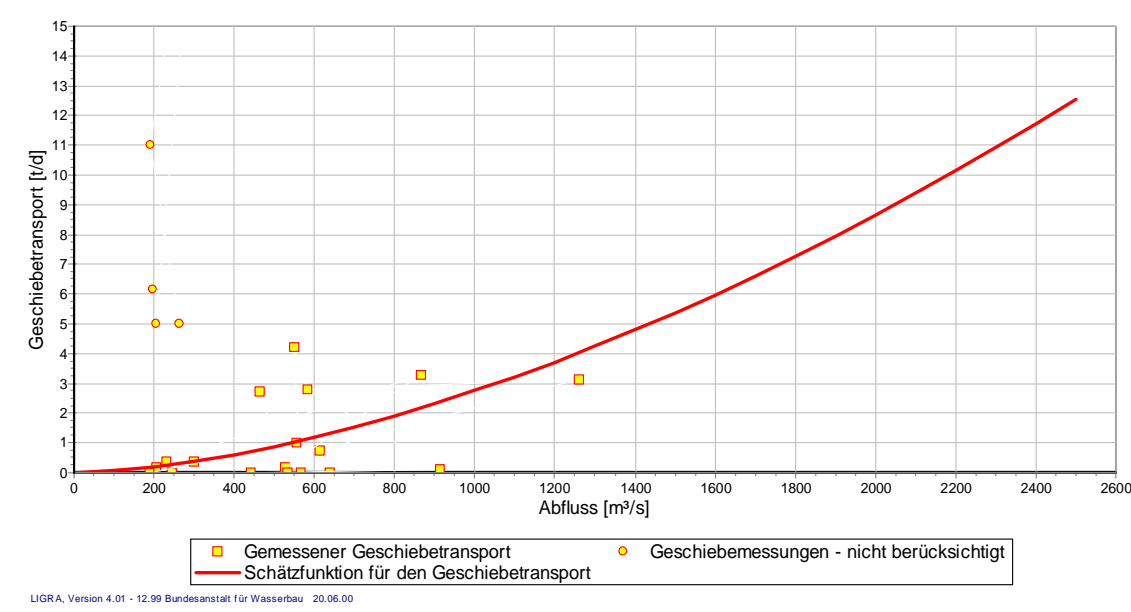


Abb. 5.4: Geschiebetransport-Abfluss-Beziehung an der Messstelle Mühlberg

Die Ergebnisse der bisher an der Messstelle Mühlberg durchgeführten Schwebstoff-Vollprofilmessungen zeigt Abb. 5.5, wobei auch hier der Bereich der höheren Abflüsse noch nicht mit Messwerten belegt ist. Es wurden sowohl die Gesamtschwebstofffrachten als auch die Anteile an Feinschwebstoffen (<63µm) und suspendiertem Sand dargestellt.

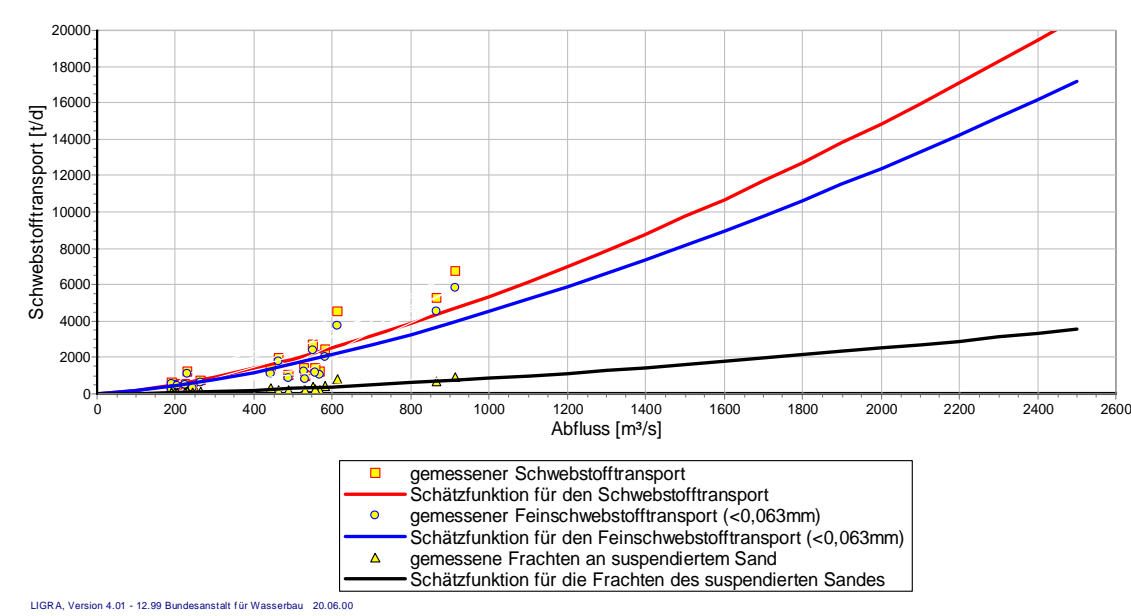


Abb. 5.5: Schwebstofftransport-Abfluss-Beziehung an der Messstelle Mühlberg

Zur Festlegung der ebenfalls abflussabhängig vorzugebenden Kornverteilung der eingetragenen Feststoffe wurde das an den Messstellen Belgern und Mühlberg ermittelte Sieblinienspektrum des Elbe- geschiebes herangezogen. Entsprechend dem bei den Messungen erfassten Abflussspektrum wurden

danach die Kornverteilungskurven für die Abflüsse von 300, 500 und 1000 m³/s festgelegt. Für den nicht mit Messungen belegten Bereich oberhalb 1000 m³/s sind die Sieblinien extrapoliert worden (Abb. 5.6).

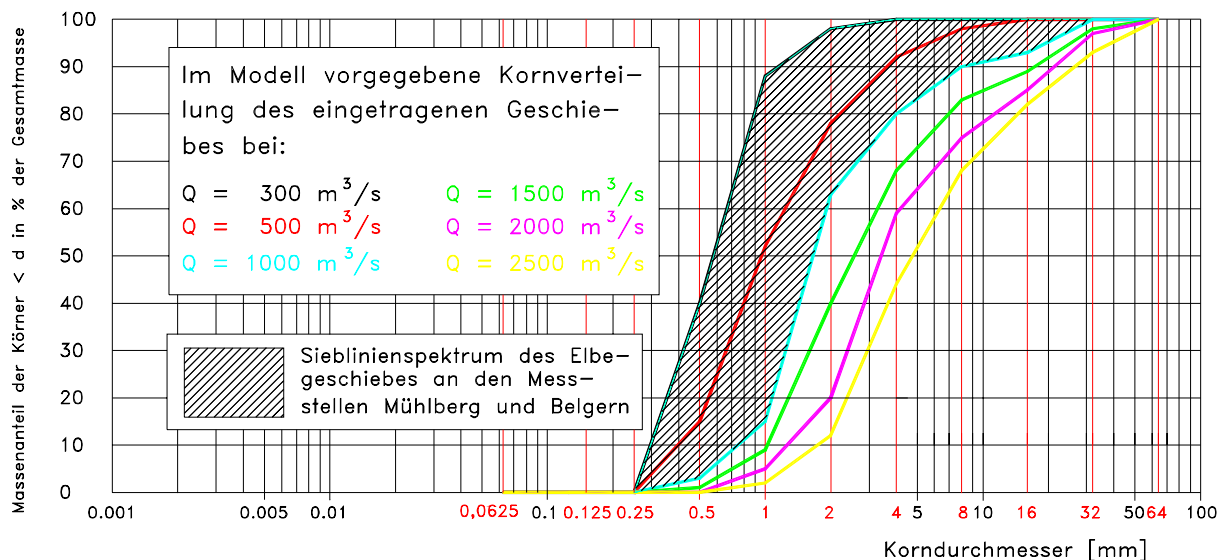


Abb. 5.6: Im Modell vorgegebene abflussabhängige Kornverteilungskurven des eingetragenen Geschiebematerials

5.5 Modellkalibrierung

5.5.1 Hydraulische Kalibrierung

Zur hydraulischen Kalibrierung des Modells standen jeweils insgesamt fünf Fixierungen im Abflussbereich zwischen 128 und 2990 m³/s zur Verfügung. Die Wasserspiegellagenberechnungen erfolgten auf der Grundlage der Geometrie der 1960er-Jahre (Ausgangszustand) und der 1990er-Gewässergeometrie (Endzustand).

Im Ergebnis der Kalibrierung wurde ein eindimensionales stationäres Modell erhalten, das durch die Vorgabe wasserstandsabhängiger Rauheiten die Wasserspiegellagen über den gesamten Abflussbereich gut reproduzierte (für die 1990er-Jahre mit ± 15 cm). Während die auf der Grundlage der 1960er-Geometrie berechneten Wasserspiegel gut mit der 1959 durchgeführten Fixierung übereinstimmen (Abb. 5.7), zeigt ein Vergleich mit den 1947 und 1942 durchgeführten Messungen, dass die berechneten Wasserspiegel deutlich niedriger liegen. Die Ursache dürfte in der Sohlenerosion zu suchen sein, die im Zeitraum zwischen den Fixierungen und der Peilung stattgefunden hat. Während die 1959 durchgeführte Fixierung noch recht gut mit den berechneten Werten übereinstimmt, zeigen sich deutliche Differenzen zwischen den 1942 und 1947 fixierten und den für die 1960er-Geometrie berechneten Wasserspiegellagen. Außerdem wird bei diesem Vergleich deutlich, dass der Schwerpunkt der Erosion im Laufe der Jahre immer weiter nach Unterstrom gewandert ist. So hat offensichtlich zwi-

schen 1940er- und 1960er-Jahren am oberstromigen Rand der Erosionsstrecke noch eine starke Sohle-erosion (0,45 bzw. 0,20 m Wasserspiegeldifferenz) stattgefunden. Dabei lag der Schwerpunkt der Erosion zwischen 1942 und 1961 im Bereich El-km 160 mit etwa 0,65 m und zwischen 1947 und 1961 im Bereich El-km 170 mit etwa 0,5 m Wasserspiegelverfall. Im anschließenden Zeitraum zwischen den 1960er und 1990er Jahren (Abb. 3.1) wurde am oberstromigen Rand der Erosionsstrecke nur eine sehr geringe Sohleintiefung festgestellt und der Schwerpunkt der Erosion verlagerte sich weiter nach Unterstrom in den Bereich El-km 180 bis 200.

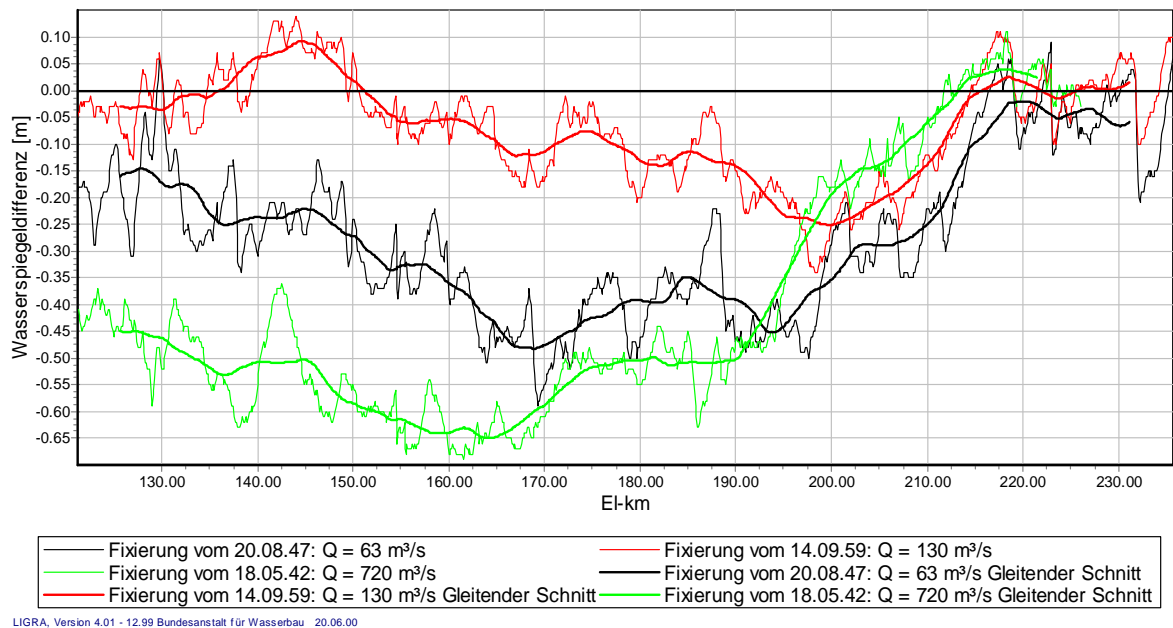


Abb. 5.7: Differenz zwischen den zu verschiedenen Zeitpunkten fixierten und den für die 1960er-Flussbettgeometrie berechneten Wasserspiegeln

5.5.2 Sedimentologische Kalibrierung

5.5.2.1 Wahl einer geeigneten Transportformel

Die Güte eines Feststofftransportmodells hängt in einem ganz entscheidenden Maße von der Wahl einer geeigneten Geschiebetransportformel ab. Es existiert eine Reihe von empirischen Verfahren zur Ermittlung des Sedimenttransportes, welche zum Teil zu erheblich voneinander abweichende Ergebnisse führen (bis in den Bereich von 10er-Potenzen). Das Grundproblem bei der Vorhersage der morphologischen Entwicklung von Fließgewässern ist also das Fehlen von allgemeingültigen Formeln zur quantitativen Bestimmung des Geschiebetriebs. Die Ursachen hierfür liegen in der Vielzahl der den Sedimenttransport und sich auch gegenseitig beeinflussenden physikalischen Größen:

- Gerinnegeometrie,
- Strömungsverhältnisse (Fließgeschwindigkeit, Geschwindigkeitsverteilung, Turbulenz, Wassertiefe, Gefälle, Instationarität),

- Korngröße, -form, -lage und -verteilung,
- Entwicklung von Transportkörpern an der Flusssohle,

Da sich sowohl die Wasserteilchen als auch die Sedimentpartikel chaotisch bewegen, müsste versucht werden, die Bewegung jedes einzelnen Teilchen und die Wechselwirkung mit den anderen Partikeln sowie der Strömung zu erfassen. Hochauflösende mehrdimensionale Modelle sind für örtlich begrenzte, sehr stark vereinfachte Geometrien in der Entwicklung. Wegen des enormen Aufwandes zur Erfassung der erforderlichen Eingangsdaten ist diese Vorgehensweise für die hier geforderte Untersuchung realer, relativ großer Flussabschnitte über einen langen Zeitraum nach dem jetzigen Stand der Technik nicht praktikabel.

Für praktische Anwendungen bleibt nach dem heutigen Stand der Wissenschaft und Technik nur die Möglichkeit das mittlere Verhalten aller Partikel über statistische Auswertungen zu erfassen. Dabei wird in dem eingesetzten Verfahren HEC-6 von folgenden Vereinfachungen ausgegangen:

- Transportformeln gelten bei Gleichgewichtstransport, d.h. erstellt an Hand von Messungen in Rinnen bzw. Naturstrecken ohne Tendenz zur Ablagerung oder Erosion an der Flusssohle,
- gerade Gerinne,
- stationär-gleichförmiger Strömungszustand,
- Zusammenfassung unbekannter oder sehr schwer zu ermittelnder Einflussgrößen in verschiedenen Koeffizienten, die auf der Grundlage meist relativ weniger und oft stark streuender Messwerte bestimmt wurden.

Bei der Anwendung des Programmsystems HEC-6 kann zwischen elf Verfahren zur Berechnung des Feststofftransportes gewählt werden [ALEXY, 2000]. Außerdem bietet das Programm die Möglichkeit, eine benutzerdefinierte Geschiebetransportgleichung, z.B. auf der Grundlage von Naturmessungen, zu verwenden.

Wie bereits erwähnt, stehen keine allgemeingültigen Ansätze zur Ermittlung Feststofftransportes in offenen Gerinnen zur Verfügung. Die vorhandenen empirischen Gleichungen liefern i.d.R. nur einigermaßen brauchbare Ergebnisse, wenn die Randbedingungen (die eigentlich gleich den Gültigkeitsgrenzen sind), unter denen sie entwickelt wurden, eingehalten werden [VETTER, 1988].

Ein zentrales Problem bei der Ermittlung des Geschiebetransports ist die Feststellung des Bewegungsbeginns der Sedimente. Dieser Zustand wird durch die kritische Geschwindigkeit oder die kritische Schubspannung beschrieben. Da sowohl der Strömungsangriff örtlich und zeitlich infolge der Turbulenz schwankt als auch die Größe, Form sowie Lagerung des einzelnen Partikels zufällig sind, kann das Phänomen des Geschiebebewegungsbeginns auch als wahrscheinlichkeitstheoretisches Problem aufgefasst werden. Im Programm HEC-6 erfolgen basierend auf einem stochastischen Ansatz die Berechnungen für jede Kornfraktion getrennt. Weisen die kritische und die aktuelle Sohlschubspannung die gleiche Größe auf, so ergibt sich nach [GESSLER, 1970] die Wahrscheinlichkeit dafür, dass ein Korn bewegt wird, zu 50%. Mit größeren oder geringeren Schubspannungen erhöht oder verringert sich dieser Wert. Auf der Grundlage dieser Wahrscheinlichkeitsbetrachtungen wird ein sogenannten

Sohlstabilitätsfaktor berechnet, dessen Größe auch zur Beurteilung der Lagestabilität einer abgepflasterten Sohle herangezogen wird [HEC, 1991]. Damit erfahren auch die in HEC-6 implementierten Transportformeln mit einem festen Grenzwert für den Bewegungsbeginn (z.B. nach MEYER-PETER/MÜLLER) eine probabilistische Erweiterung, so dass die "harte Schwelle" in diesen Gleichungen praktisch aufgehoben wird. Das hat eine besondere Bedeutung für den Bereich geringer Überschussschubspannungen, in dem bei Transportformeln mit fester Grenze i.d.R. die größten Abweichungen auftreten.

Nach der Auswertung verschiedener Literaturquellen [VETTER, 1988]; [BAW, 1988]; [ZANKE, 1987 und 1989], in denen sich intensiv mit der Problematik des Feststofftransports in offenen Gerinnen auseinandergesetzt wird, kann hinsichtlich der praktische Anwendung von Verfahren zur Berechnung des Feststofftransportes (Gesamttransport- und Geschiebetriebformeln) die Schlussfolgerung gezogen werden, dass es eine allgemeingültige Geschiebeformel nicht gibt. Das gleiche Resultat ergab auch die Überprüfung der verschiedenen, im Modellsystem HEC-6 implementierten Transportformeln hinsichtlich ihrer Eignung für die Erfassung des Feststofftransports in der untersuchten Elbestrecke.

So wurde im Rahmen der wissenschaftlich-technischen Zusammenarbeit mit der TU München eine spezielle Geschiebeformel in das Programm HEC-6 implementiert. Die Grundlage für die Entwicklung der verwendeten Transportgleichung bildeten umfangreiche flussbauliche Untersuchungen an verschiedenen Elbestrecken durch die damalige Forschungsanstalt für Schifffahrt, Wasser- und Grundbau Berlin (FAS). Dazu wurden sowohl die Ergebnisse von großmaßstäblichen Modelluntersuchungen als auch von Laboruntersuchungen in Versuchsrinnen einbezogen [GLAZIK, 1993]. Ausgangspunkt ist die Geschiebeformel von [SCHOKLITSCH, 1960]² siehe Seite 18.

Allgemein ausgedrückt lassen sich alle Geschiebeformeln vom SCHOKLITSCH-Typ in folgende Form bringen [BOLLRICH, 1989]:

$$M_G = K \cdot l^m \cdot (q - q_{\text{crit}})^n \quad [\text{m}^3/\text{s} \cdot \text{m}] \quad (1)$$

Der Koeffizient K sowie die Exponenten m und n sind dabei von den verschiedenen Autoren über Natur- oder Labormessungen an die jeweiligen im untersuchten Fluss herrschenden sedimentologischen und hydraulischen Bedingungen angepasst worden. Auf der Grundlage der o.g. von der FAS durchgeführten Untersuchungen wurde die folgende Geschiebetriebformel gefunden [GLAZIK, 1971]:

$$M_G = 15 \cdot l^{1/2} \cdot (q - q_{\text{crit}}) \quad [\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{m}] \quad (2)$$

Umgerechnet auf die täglich transportierte Geschiebemasse ergibt sich mit den im Programm HEC-6 verwendeten Maßeinheiten:

$$m_G^* = 199,5 \cdot l^{1/2} \cdot (q - q_{\text{crit}}) \quad [\text{tons}/\text{d} \cdot \text{ft}] \quad (3)$$

Eine zentrale Rolle bei der Ermittlung des Geschiebetriebs spielt die Feststellung des Grenzwertes für den Sedimenttransportbeginn. In den Formeln vom SCHOKLITSCH-Typ ist der spezifische Abfluss beim Sedimenttransportbeginn zu berechnen. Mit dem auf der Grundlage von früheren Untersuchun-

gen [BAW, 1990] für die kritische Geschwindigkeit erarbeiteten Ansatz und der mittleren Wassertiefe ergibt er sich näherungsweise zu:

$$q_{\text{crit}} = v_{h_m \text{ crit}} \cdot h_m = \left[0,3608 \cdot \ln \left(\frac{h_m}{d_{\text{crit}}} \right) + 0,9843 \right] \dots \quad (4)$$

$$\dots \cdot \sqrt{\rho' \cdot g \cdot d_{\text{crit}}} \cdot h_m \quad [\text{m}^3/\text{s} \cdot \text{m}]$$

Setzt man diesen Ansatz zur Bestimmung des Bewegungsbeginns in die für den Mittellauf der Elbe entwickelte Geschiebtriebleichung (3) ein, so errechnet sich die transportierte Geschiebemasse zu:

$$m_g = \frac{1}{n} \cdot 199,5 \cdot I_e \cdot h_m^{5/3} - 199,5 \cdot I_e^{1/2} \cdot h_m \cdot \dots \quad (5)$$

$$\dots \left[0,98 + 0,36 \cdot \ln \left(\frac{h_m}{d} \right) \right] \cdot \sqrt{\rho' \cdot g \cdot d} \quad [\text{tons}/(\text{d} \cdot \text{ft})]$$

- mit:
- m_g - täglich je ft Breite transportierte Geschiebemasse [tons/(d ft)]
 - n - MANNING-Wert [s/m^{1/3}]
 - I_e - Energieliniengefälle [-]
 - h_m - mittlere Wassertiefe im Flußschlauch [m]
 - d - geometrisches Mittel des Korndurchmessers der jeweiligen Korngrößenklasse [m]
 - ρ' - relative Feststoffdichte $\rho' = (\rho_F - \rho_W) / \rho_W$ [-]
 - g - Erdbeschleunigung [m/s²]

Diese Gleichung (5) wurde direkt in den Programmcode von HEC-6 implementiert und für die Prognosesrechnungen in den „Gesamtmodellen der Erosionsstrecke“ verwendet. In den Teilmodellen kamen andere Transportformeln zum Einsatz (siehe jeweilige Detailberichte).

5.5.2.2 Simulation der Sohlhöhenänderung

Das zentrale Problem bei der sedimentologischen Kalibrierung des Feststofftransportmodells ist der Versuch, durch das "Nachfahren" der für den Eichzeitraum bekannten Abflussganglinie die Entwicklung der Sohlenlagen im untersuchten Flussabschnitt möglichst genau nachzuvollziehen. Grundlage für die Simulationsrechnungen waren dabei die Differenzen der im Bereich des Fahrrinnenkastens ermittelten mittleren Sohlenlagen zwischen den Peilungen der 1960er- und 1990er-Jahre. Die Ergebnisse der Modellrechnungen über den Zeitraum von 33 Jahren zeigt Abb. 5.8. Abgesehen vom oberstromigen Abschnitt (El-km 120-140), der allerdings Widersprüche hinsichtlich der beobachteten Sohlen- und Wasserspiegellagenentwicklung aufweist, gibt das Feststofftransportmodell die differenzierte Entwicklung der Sohlenlagen in der Erosionsstrecke auch im Detail recht gut wieder.

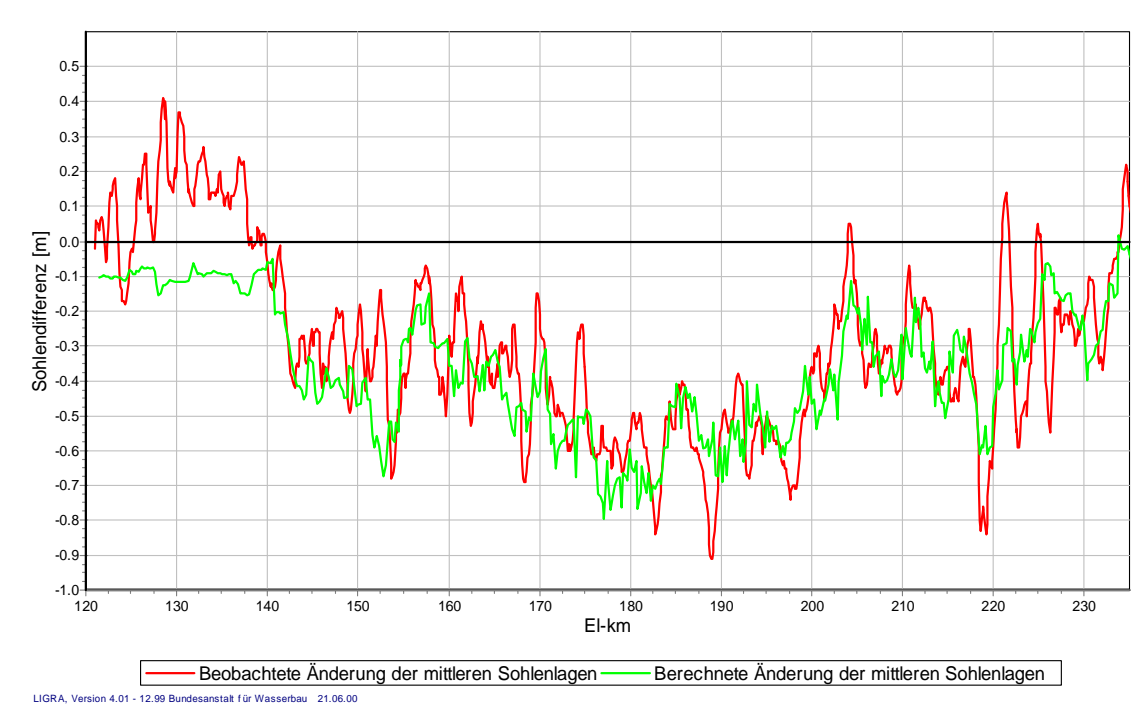


Abb. 5.8: Gleitende Schnitte der beobachteten und berechneten Änderungen der mittleren Sohlenhöhe in der Erosionsstrecke der Elbe zwischen 1961 und 1993

Die der Simulation zu Grunde liegende Ganglinie ist mit einer Abflussdifferenz von $190 \text{ m}^3/\text{s}$ gebildet worden, wobei die maximale Zeitschrittlänge auf 30 Tage begrenzt wurde.

5.5.2.3 Simulation der Wasserspiegellagenänderungen

Auf Grund der guten Übereinstimmung zwischen den beobachteten und den berechneten Veränderungen der mittleren Sohlenhöhe wird auch die zwischen 1961 und 1993 eingetretene Wasserspiegelabsenkung im Modell gut wiedergegeben. Abb. 5.9 zeigt die zwischen 1959 und 1998 beobachtete und die zwischen 1961 und 1993 berechnete Wasserspiegeldifferenz bei einem Abfluss von ca. $130 \text{ m}^3/\text{s}$ a.P. Torgau.

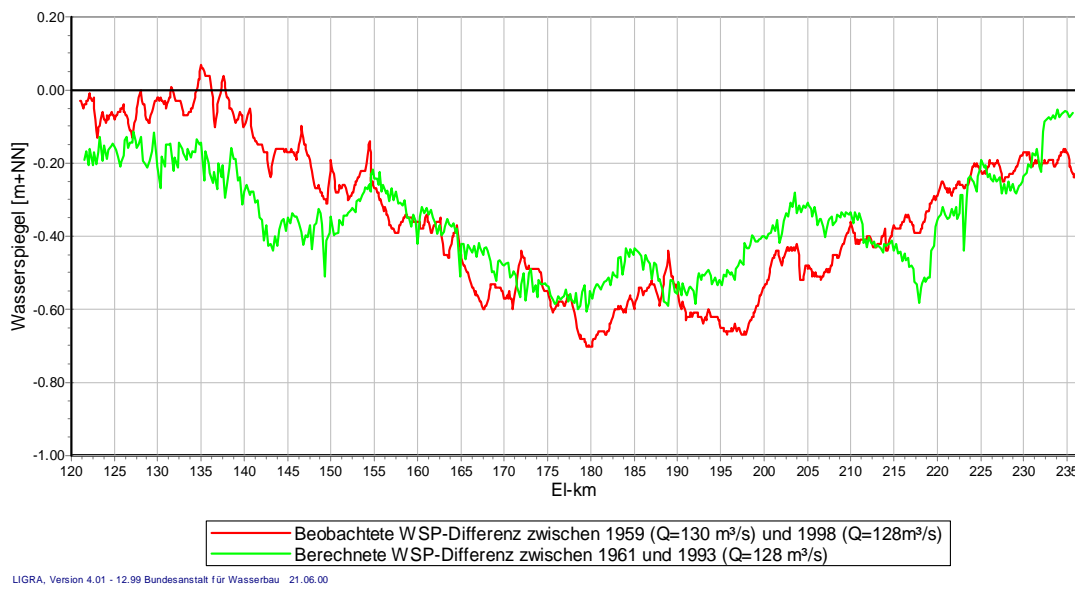


Abb. 5.9: Beobachtete und berechnete Wasserspiegeldifferenzen (um 130 m³/s)

Für die Modellvalidierung^E konnten derzeit nur weitere (bei der Kalibrierung nicht genutzte) Wasserspiegelfixierungen aber keine zusätzlichen Geometriepeilungen anderer Stromzustände zur Anwendung kommen.

5.5.2.4 Transportierte Feststoffmengen

Die im Modell berechneten durchschnittlichen Jahresfrachten an Feinschwebstoff ($d < 63 \mu\text{m}$) sowie an Geschiebe und suspendiertem Sand ($d > 63 \mu\text{m}$) zeigt Abb. 5.10.

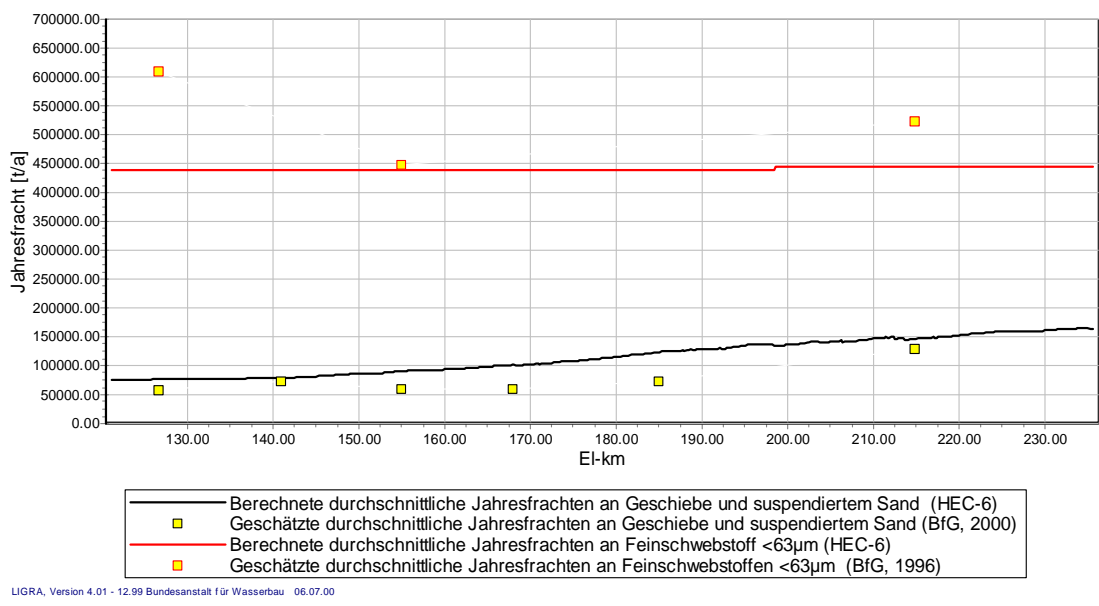


Abb. 5.10: Jährliche Frachten an Geschiebe, suspendiertem Sand und Feinschwebstoffen in der Erosionsstrecke der Elbe

Auf der Grundlage von aus Messungen abgeleiteten Transportfunktionen und den Tagesmittelwerten des Abflusses wurden durch die BfG jährliche Feststofffrachten berechnet. Die so ermittelten mittleren Jahresfrachten an Feinschwebstoffen für die Jahresreihe 1980-1994 bzw. an Geschiebe und suspendiertem Sand für die Jahresreihe 1987-1998 sind zum Vergleich ebenfalls in Abb. 5.10 dargestellt worden. Während die auf der Grundlage von Messungen geschätzten und die mit dem Modell berechneten Frachtraten für das Geschiebe und den suspendierten Sand gut übereinstimmen, kann die beobachtete Verringerung der Feinschwebstofffracht um 25% zwischen dem oberstromigen Rand der Erosionsstrecke (Messstelle Mühlberg, El-km 126,6) und der Messstelle Torgau (El-km 155,0) im Modell so nicht nachvollzogen werden. Da es sich hierbei um Feststoffe handelt, die ausschließlich als Spülfracht (wash load) durch die Strecke transportiert werden, kann die Differenz nur dadurch entstehen, dass sich nach Hochwasserereignissen Schwebstoffe auf den Vorländern ablagern. Dieser Prozess der Schwebstoffablagerung in den Vorlandbereichen kann durch das verwendete Feststofftransportmodell aber nicht simuliert werden. Da der Einfluss der Schwebstoffkonzentration auf die Berechnung der Transportraten des Geschiebes bzw. des bettbildenden Anteiles des suspendierten Sandes aber gering ist, sind die Auswirkungen auf die berechneten Veränderungen der Sohlenlagen vernachlässigbar.

Wesentlich interessanter hinsichtlich der Prognose von Sohlveränderungen ist die Ermittlung des Anteiles am suspendierten Sand, der neben dem Geschiebe ebenfalls in einem erheblichen Maße zur Sohlbildung beiträgt, in Abhängigkeit von den Abflussverhältnissen aber nur zeitweise im Austausch mit der Sohle steht. Auf der Grundlage von Schwebstoffvielpunktmessungen wurden dazu von der BfG getrennte Transportfunktionen für die Sand-Spülfracht und das suspendierte Bettmaterial aufgestellt [BfG, 1999], die in der Summe die in Abb. 5.10 dargestellte Gesamtfracht an suspendiertem Sand ($d > 63 \mu\text{m}$) ergeben. Nach diesen Untersuchungen beträgt der Anteil des suspendierten Sandes, der zeitweise mit der Sohle im Austausch steht und damit zur Bettbildung beiträgt, zwischen 14% bei Torgau und etwa 40% bei Wittenberg. Das Programm HEC-6 bietet prinzipiell ebenfalls die Möglichkeit, die Kornverteilung der transportierten Feststoffe für jeden Zeitschritt auszugeben und so nach einem entsprechendem Kriterium eine abflussabhängige Trennung zwischen den bettbildenden Feststoffanteilen (Geschiebe sowie suspendiertes Bettmaterial) und der Spülfracht (Feinschwebstoffe $< 63 \mu\text{m}$ sowie Sand-Spülfracht $> 63 \mu\text{m}$) vorzunehmen. Problematisch sind dabei die extrem großen Ergebnisdateien im Giga-Byte-Bereich, so dass bei größeren Modellen und längeren Simulationszeiträumen die detaillierte Ergebnisausgabe auf wenige Zeitschritte beschränkt bleiben muss. Deshalb ist die Ermittlung von Jahresfrachten für den bettbildenden Anteil am Gesamtfeststofftransport und eine Vergleich mit den entsprechenden Schätzungen der BfG z.Z. noch nicht möglich.

5.6 Ausblick

Mit dem hier entwickelten eindimensionalen Feststofftransportmodell ist ein leistungsfähiges Werkzeug zur Untersuchung flussbaulicher Problemstellungen unter Berücksichtigung der morphologischen Entwicklung entstanden. Die wesentlichen physikalischen Prozesse werden durch das kalibrierte Modell mit ausreichender Genauigkeit wiedergegeben, durch:

1. Das an Hand von Wasserspiegelfixierungen geeichte stationäre 1D-Strömungsmodell zur Ermittlung der hydraulische Größen (Wassertiefe, Fließgeschwindigkeit, Wasserspiegelgefälle) für die aktuelle Flussgeometrie mit einem aus der Ganglinie vorgegebenen Abfluss.
2. Das an Hand der zwischen 1961 und 1993 eingetretenen Sohlenlagenentwicklung geeichte Transportmodell zur Ermittlung der Feststofffrachten unter Berücksichtigung des oberstromigen Sedi-
menteintrages (Menge und Kornverteilung) und der Eigenschaften des Sohlenmaterials. Dabei kommt eine speziell für den Mittellauf der Elbe entwickelte Geschiebetriebformel zum Einsatz.
3. Die Ermittlung der Veränderung der mittleren Sohlenlagen für jedes Querprofil auf der Grundlage der Sediment-Kontinuitätsgleichung.

Auf Grund des eindimensionalen Berechnungsansatzes eignet sich das Modell insbesondere zur Erstellung von Langzeitprognosen für die Entwicklung der Sohlenhöhen und sich daraus ableitender Änderungen der Wasserspiegelhöhen in ausgedehnten Flussabschnitten, wobei die Auswirkungen von Eingriffen verschiedenster Art simuliert werden können. So konnten mit einem 23 km langen Teilmodell der Elbe-Erosionsstrecke [BAW, 1997b] die Auswirkungen von 1996 durchgeführte Geschiebezugaben mit guter Übereinstimmung nachvollzogen und verschiedene Prognoserechnungen durchgeführt werden.

Die vorgesehene Weiterentwicklung des Modells beinhaltet neben einer Erweiterung des Modells bis El-km 250 in erster Linie die Verdichtung der Querprofilabstände auf 100m. Außerdem wird eine neue sedimentologische Eichung auf der Grundlage aktueller Schwebstoff- und Geschiebemessungen erfolgen, wobei das Hauptaugenmerk auf einer tiefergehenden Analyse der vom Programm ausgegebenen morphologischen Parameter liegen soll. Weiterhin ist die Validierung des Modells an Hand neuer Geometriepeilungen und der bisher durchgeführten Geschiebezugaben vorgesehen. Damit wird schließlich ein Feststofftransportmodell zur Verfügung stehen, mit dem die Auswirkungen längerfristiger Geschiebezugaben als Mittel zur dynamischen Sohlstabilisierung untersucht werden können und das so eine wertvolle Hilfe bei der Auswahl geeigneter Standorte sowie erforderlicher Mengen und Kornzusammensetzungen des Zugabematerials darstellt.