

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Article, Published Version

Glazik, Günther

Flußmorphologische Bewertung der Erosionsstrecke der Elbe unterhalb von Mühlberg

Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/102757>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Glazik, Günther (1995): Flußmorphologische Bewertung der Erosionsstrecke der Elbe unterhalb von Mühlberg. In: Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau 74. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau. S. 13-32.

Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



Flußmorphologische Bewertung der Erosionsstrecke der Elbe unterhalb von Mühlberg

Dr.-Ing. Günther Glazik
Wustrow/Niedersachsen

Inhalt

- 1 Die Wasserspiegel- und Sohlensenkungen der Elbe
- 2 Der Verlauf der Sohlenerosion an den Pegeln Torgau und Dresden
- 3 Stabilitätsbetrachtungen
- 4 Geschiebefrachtverhältnisse
- 5 Geomorphologische Einordnung der Erosionsstrecke unterhalb von Mühlberg
- 6 Fazit
- 7 Literatur

1 Die Wasserspiegel- und Sohlensenkungen der Elbe

Betrachtet man die Wasserspiegel- und Sohlenhöhenveränderungen längs der Elbe, so lassen sich deutlich Abschnitte unterschiedlichen Verhaltens erkennen. Auf den Bildern 1, 2 und 3 werden hier in verschiedenartiger Form diesbezügliche Ergebnisse dargestellt, die auf bereits Anfang der sechziger Jahre im Rahmen von einschlägigen Arbeiten der seinerzeitigen Forschungsanstalt für Schifffahrt, Wasser- und Grundbau (FAS) durchgeführte Untersuchungen des Verfassers zurückgehen [1], [2] und welche, auch unter Einbeziehung von neueren Publikationen anderer Autoren [3], [4], bis in die neuere Zeit "fortgeschrieben" wurden [5]. Auf Einzelheiten dieser Ermittlungen wird hier nicht näher eingegangen, sondern dazu auf die angeführten Veröffentlichungen verwiesen. Nur zwei diesbezügliche Aspekte seien hier herausgestellt:

- Nach kritischer Bewertung verschiedener Verfahren zur Ermittlung von Flußbettveränderungen wurden den in den sechziger Jahren durchgeführten Untersuchungen, welche sich auf fast den gesamten freifließenden Elbeabschnitt erstreckten und entsprechend den dafür verfügbaren Unterlagen, speziell Abfluß- und Pegelbezugskurven zu Grunde gelegt. Dabei wird angenommen, daß die Veränderungen des Sohlenniveaus näherungsweise denen niedriger Wasserstände entsprechen.

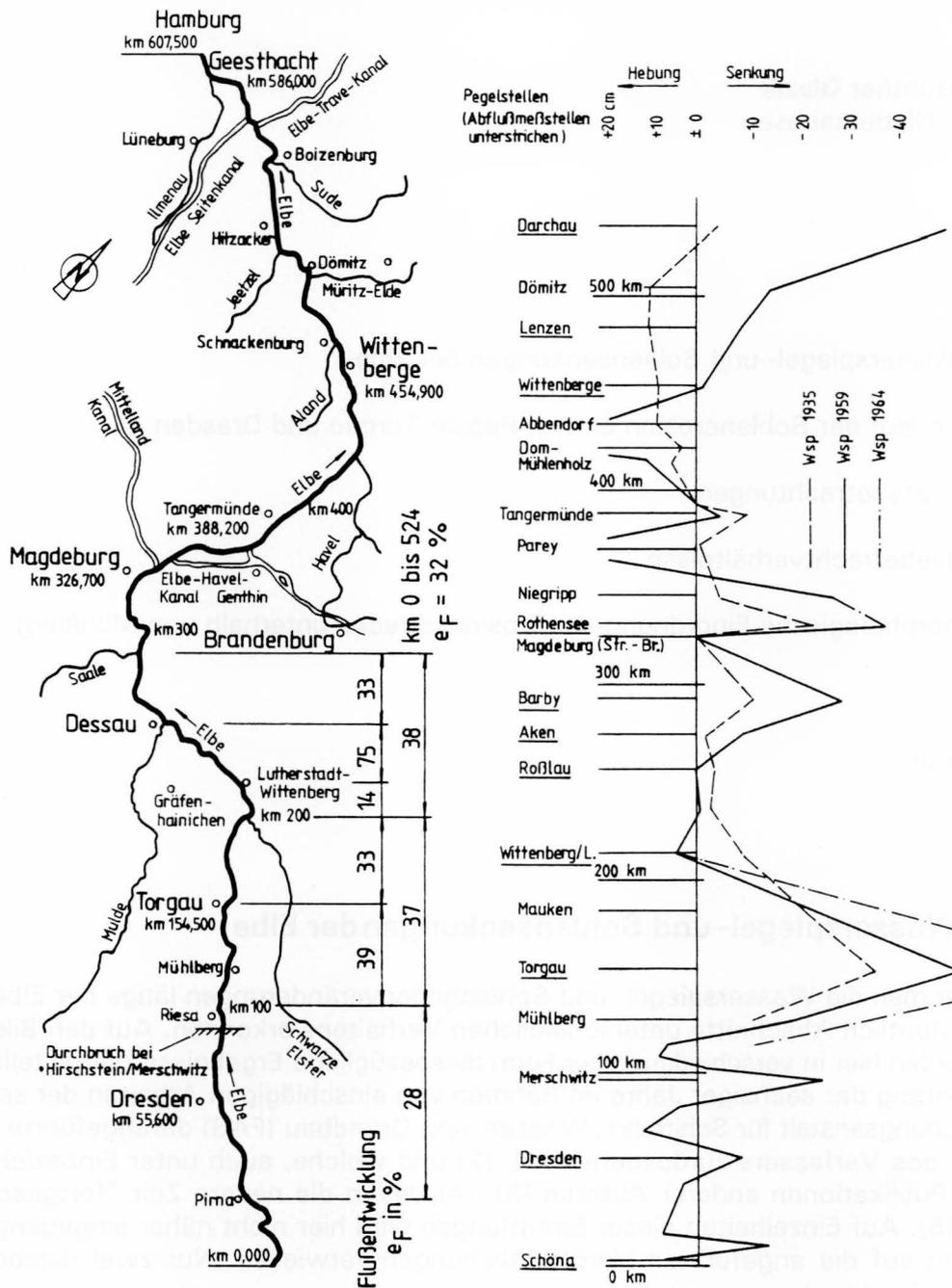


Bild 1 Wasserspiegel- (und Sohlen-) Höhenänderungen der Elbe im Zeitraum von 1929 bis 1959 bzw. 1964

- Vergleiche der seinerzeitigen Ergebnisse mit den in neueren Publikationen, insbesondere von FAIST [4], dargestellten zeigen - unter Berücksichtigung der bei dieser Materie unvermeidbaren Streuungen - praktisch Übereinstimmung (siehe z. B. Bild 2). Sie bestätigen sich also gegenseitig.

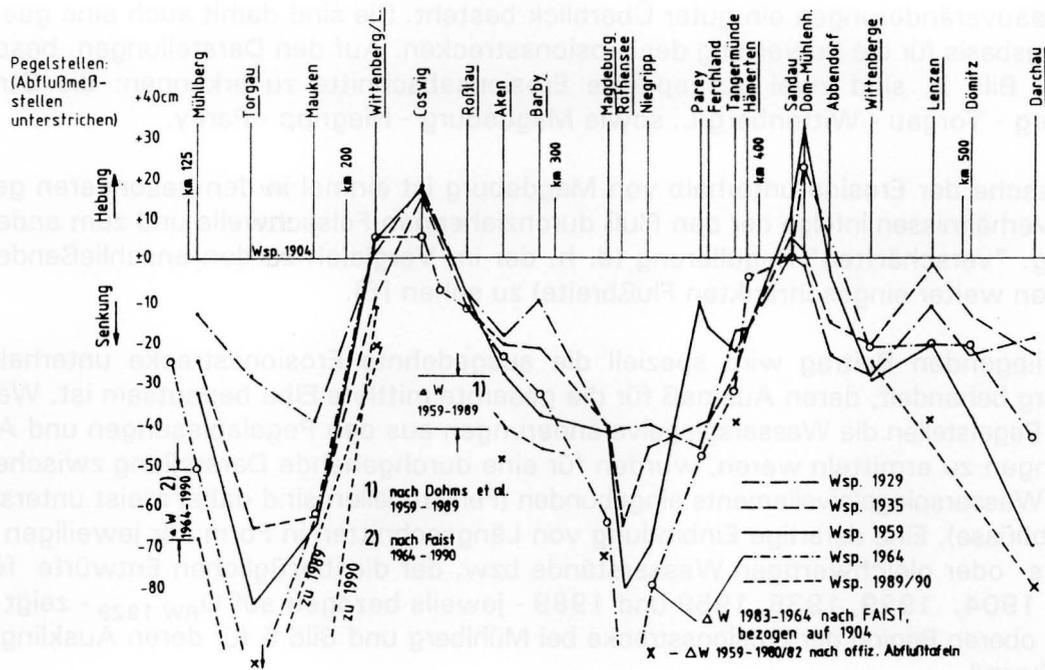


Bild 2 Längsprofil der Wasserspiegel- (und Sohlen-) Änderungen an den Pegelstellen der Elbe im Zeitraum von 1904 bis 1990

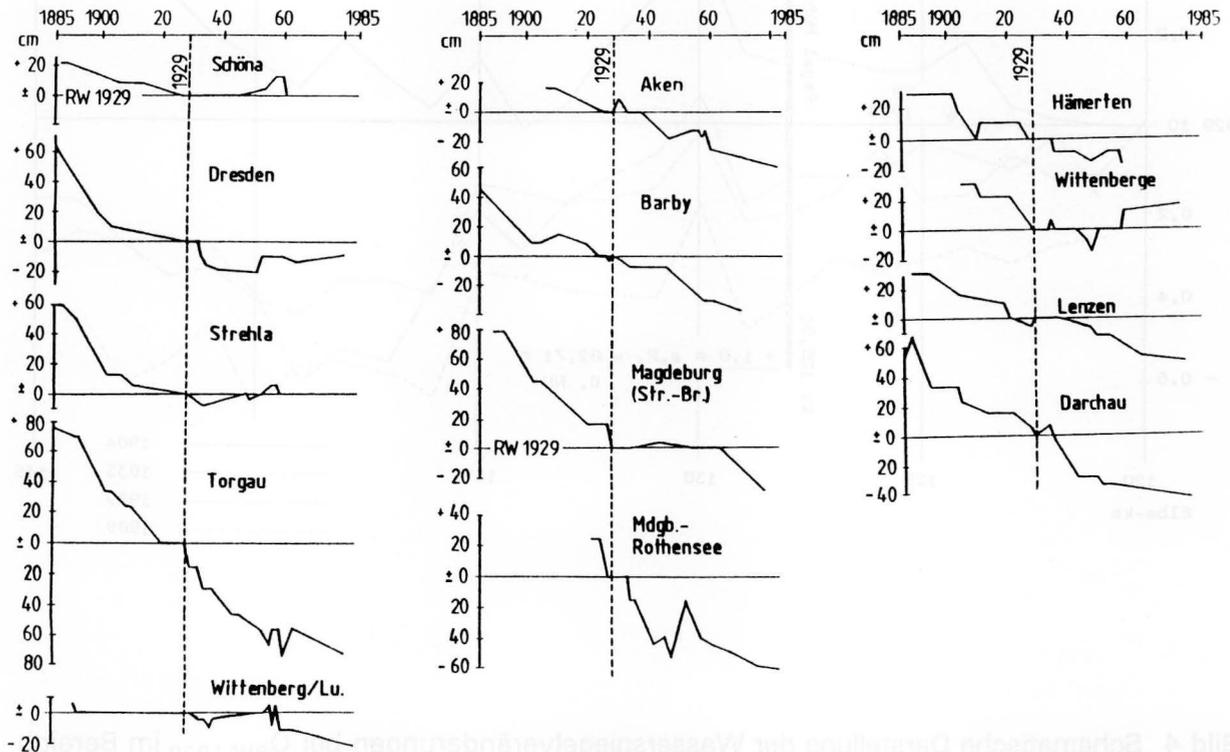


Bild 3 Ganglinien der Wasserspiegeländerungen an Pegelstellen der Elbe

Die angeführten Aussagen zur Tiefenerosion der Elbe sind allgemein als gesicherte Erkenntnisse anzusehen, und es kann daher festgestellt werden, daß über das bisherige Ausmaß der Niveauveränderungen ein guter Überblick besteht. Sie sind damit auch eine geeignete Ausgangsbasis für die Bewertung der Erosionsstrecken. Auf den Darstellungen, besonders gut auf Bild 2, sind zwei ausgeprägte Erosionsabschnitte zu erkennen: die Strecken Mühlberg - Torgau - Wittenberg/L. sowie Magdeburg - Niegripp - Parey.

Die Ursache der Erosion unterhalb von Magdeburg ist einmal in den besonderen geologischen Verhältnissen infolge der den Fluß durchziehenden Felsschwelle und zum anderen in der sog. "verschärften" Regulierung (d. h. der im Vergleich zu den anschließenden Abschnitten weiter eingeschränkten Flußbreite) zu sehen [6].

Im vorliegenden Beitrag wird speziell die ausgedehnte Erosionsstrecke unterhalb von Mühlberg behandelt, deren Ausmaß für die gesamte mittlere Elbe bedeutsam ist. Während an den Pegelstellen die Wasserspiegelveränderungen aus den Pegelablesungen und Abflußmessungen zu ermitteln waren, wurden für eine durchgehende Darstellung zwischen den Pegeln Wasserspiegelnivellements eingebunden (Fehlerquellen sind dabei meist unterschiedliche Abflüsse). Eine derartige Einbindung von Längsschnitten in Form der jeweiligen Regulierungs- oder gleichwertigen Wasserstände bzw. der diesbezüglichen Entwürfe für die Jahre 1904, 1929, 1935, 1959 und 1989 - jeweils bezogen auf Q_{RW} 1929 - zeigt Bild 4 für den oberen Beginn der Erosionsstrecke bei Mühlberg und Bild 5 für deren Ausklingen bei Wittenberg/L.

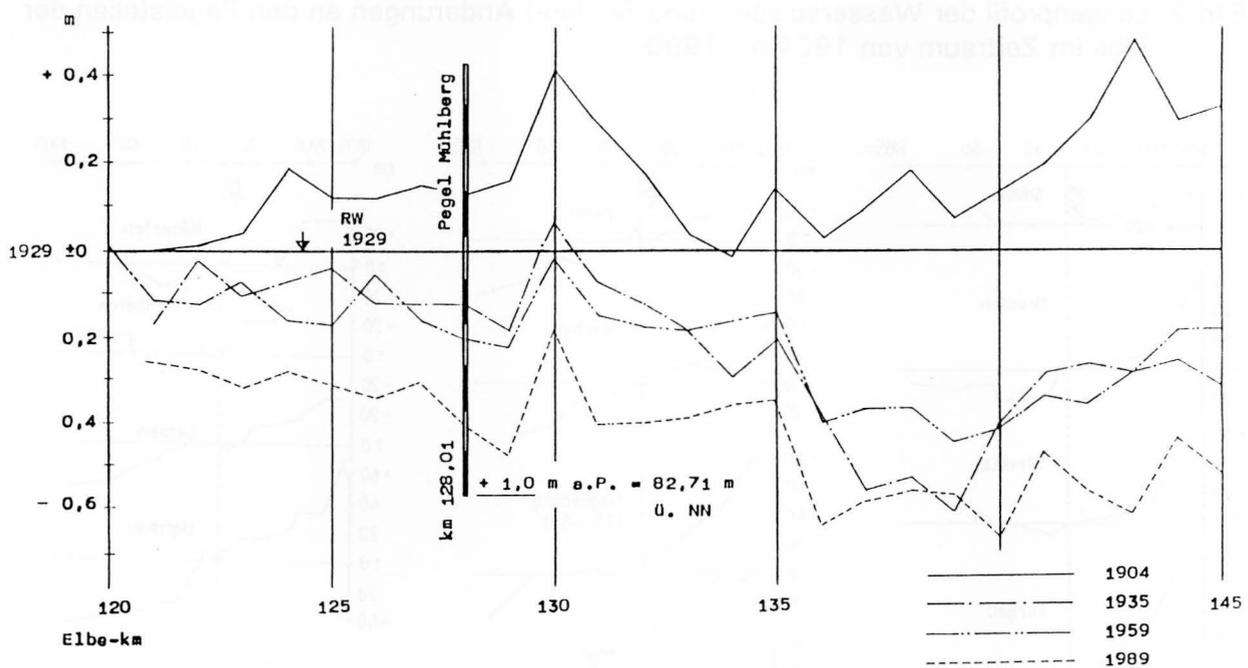


Bild 4 Schematische Darstellung der Wasserspiegelveränderungen bei Q_{RW} 1929 im Bereich Mühlberg

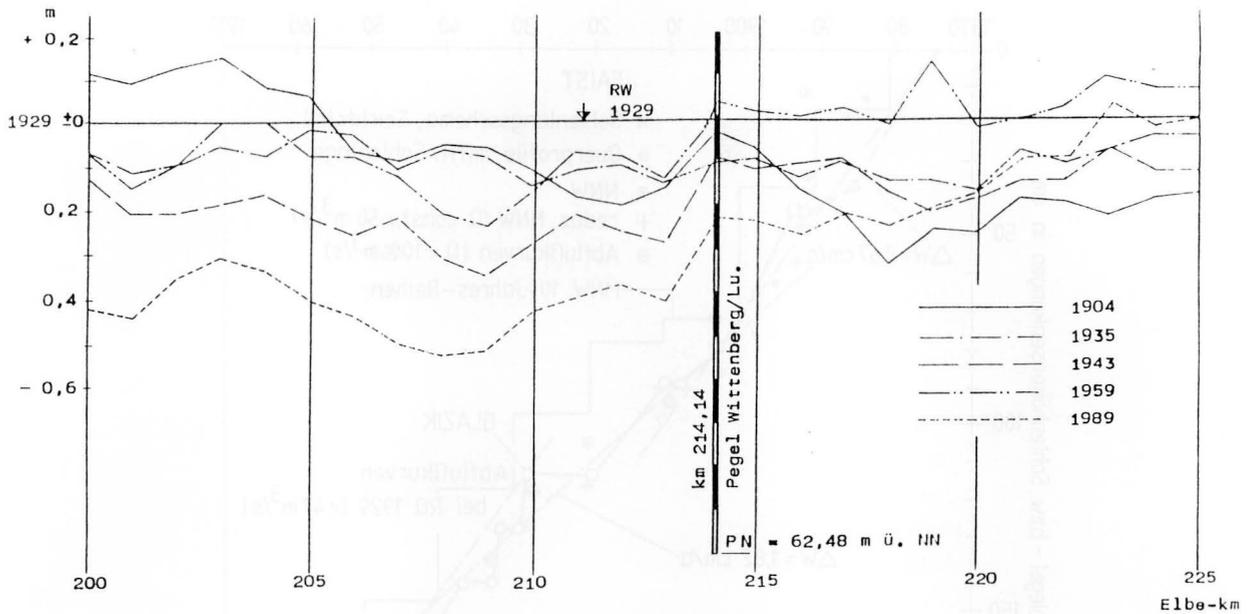


Bild 5 Schematische Darstellung der Wasserspiegelveränderungen bei $Q_{RW} 1929$ im Bereich Wittenberg/Lutherstadt

2 Der Verlauf der Sohlenerosion an den Pegeln Torgau und Dresden

Nähere Einblicke in die Erosionsvorgänge bietet die Betrachtung ihres zeitlichen Verlaufs. Auf Bild 6 wurde unter Heranziehung einer Graphik von FAIST [4] der Verlauf der Wasserspiegel- (bzw. Sohlen-) Senkungen am Pegel Torgau dargestellt. Sie enthält die nach verschiedenen Methoden ermittelten Punkte von FAIST, und es wurde die Ganglinie aus der Publikation des Verfassers von 1964 [2] mit eingezeichnet (der besseren Übersichtlichkeit wegen wurden die einzelnen Punkte von FAIST nicht durch Kurvenzüge verbunden). Auch hier zeigt sich weitgehend Übereinstimmung der Resultate.

Die Graphik läßt sich jedoch noch detaillierter interpretieren. Insgesamt veranschaulicht sie einen etwa linearen Verlauf der Senkung bzw. Erosion, die in den dargestellten 100 Jahren von 1870 bis 1970 einen Gesamtbetrag von etwa 2,0 m und dementsprechend eine durchschnittliche Senkungsrate von 2,0 cm/a erreicht - mit sich in der Gegenwart fortsetzendem Trend. Eine genauere Betrachtung der Abbildung läßt aber zeitliche Unterschiede der Senkungsraten erkennen: vor etwa 1904 ist sie stärker, danach um rd. 1/3 abgeschwächt (aber absolut immer noch sehr hoch).

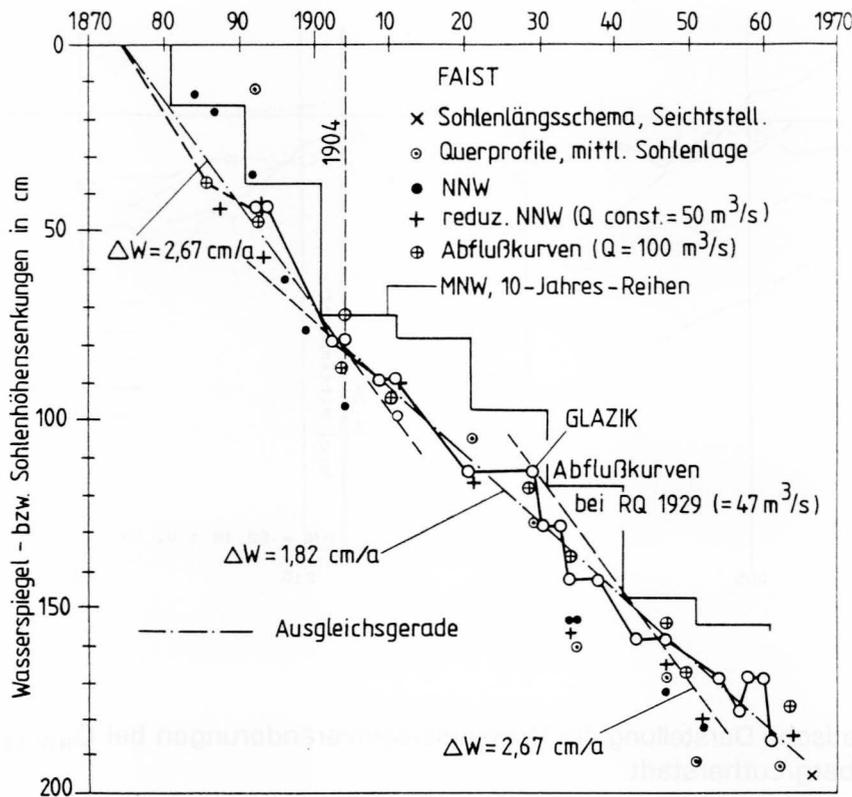


Bild 6 Verlauf der Wasserspiegel- bzw. Sohlenhöhenenkungen am Pegel Torgau

nach Faist			nach Grimm			nach Ausgleichsgeraden		
Zeitraum	cm	cm/a	Zeitraum	cm	cm/a	Zeitraum	cm	cm/a
1821-1893	45	0,63						
1893-1964	130	1,83	1892-1904	36	3,00	1874-1904	80	2,67
			1904-1961	106	1,86	1904-1964	109	1,82
1964-1990	20	0,77	1961-1982	28	1,33			
1821-1990 (169 J.)	195	1,15	1892-1982 (90 J.)	170	1,89	1874-1964 (90 J.)	189	2,10

Tabelle 1 Senkungsbeträge und -raten am Pegel Torgau

In Tabelle 1 wurden weitere Senkungsbeträge und -raten am Pegel Torgau zusammengestellt, die den betrachteten Zeitraum gegenüber Bild 6 sowohl nach hinten als auch nach vorn noch erweitern. Daraus ist für die Zeit von 1821 - 1893 eine vergleichsweise sehr geringe Senkungsrates zu entnehmen. Der Beginn der stärkeren Senkung vor 1904 wird erst in den achtziger Jahren anzusetzen sein. In den 10 bis 20 Jahren vor und nach der Jahrhundertwende weisen nicht nur der Pegel Torgau, sondern mit Ausnahme von Wittenberg und Roßlau auch die meisten anderen Elbepegel ab Dresden und insbesondere bis Magdeburg die größten je ermittelten Senkungsrates von rd. 3 cm/a (bei untereinander nur geringen Unterschieden) aus (siehe Bild 3), die aller Wahrscheinlichkeit nach eine Folge der in den sechziger bis achtziger Jahren des vorigen Jahrhunderts ausgeführten Mittelwasserregelung sind. Für den Pegel Torgau zeigt Bild 6, daß zwischen 1930 und 1950, d. h. zu Zeiten der Niedrigwasserregelung und im Anschluß daran, das stärkere Maß wieder erreicht wurde. Nach 1960 hat sich die Senkung bzw. Erosion abgeschwächt.

Bei der Bewertung dieser Ermittlungen ist allerdings einschränkend zu beachten, daß unmittelbar über der an sich in gleicher Höhe verbliebenen felsigen Flußsohle (abgesehen von geringfügigeren Abmeißelungen) die Gleichsetzung von Wasserspiegel- und Sohlensenkung nicht gilt; durch fortschreitende Sohlenerosion unterhalb hat sich das Wasserspiegelgefälle erhöht, was infolge der hydraulischen Zusammenhänge zu geringeren Wassertiefen über dem Felsen führt.

Auf Bild 7 wurde der Verlauf der Wasserspiegel- bzw. Sohlenhöhenenkungen am rund 100 km oberhalb von Torgau gelegenen Pegel Dresden für einen Zeitraum von 140 Jahren dargestellt, wobei große zeitliche Unterschiede der Senkungsraten zu erkennen sind. Bis in die siebziger Jahre des vorigen Jahrhunderts hat die Senkungsraten hier etwa dieselbe geringere Größe, wie sie die Tabelle 1 für Torgau ausweist. Danach treten auch in Dresden beachtlich vergrößerte Senkungsraten auf; zwischen 1890 und 1904 erreicht die Rate wie in Torgau den höchsten und in seiner Größe gleichen Wert wie dort, was auch auf gleiche Ursachen - nämlich Auswirkungen der MW-Regelung - hindeutet. Im weiteren Kurvenverlauf wurden noch zwei kürzere Zeitabschnitte markiert, in denen Baumaßnahmen mit möglichen Auswirkungen auf die Wasserstände erfolgten: Die Umgestaltung der Augustus-Brücke (1) hätte sich zwar höchstens auf einen kurzen Flußabschnitt auswirken können, aber unmittelbar auf die Ablesungen am Pegel wegen dessen Lage im Brückenbereich; nach der Niedrigwasserregelung (2) verstärkte sich die Senkung nicht etwa, sondern klang sogar ab.

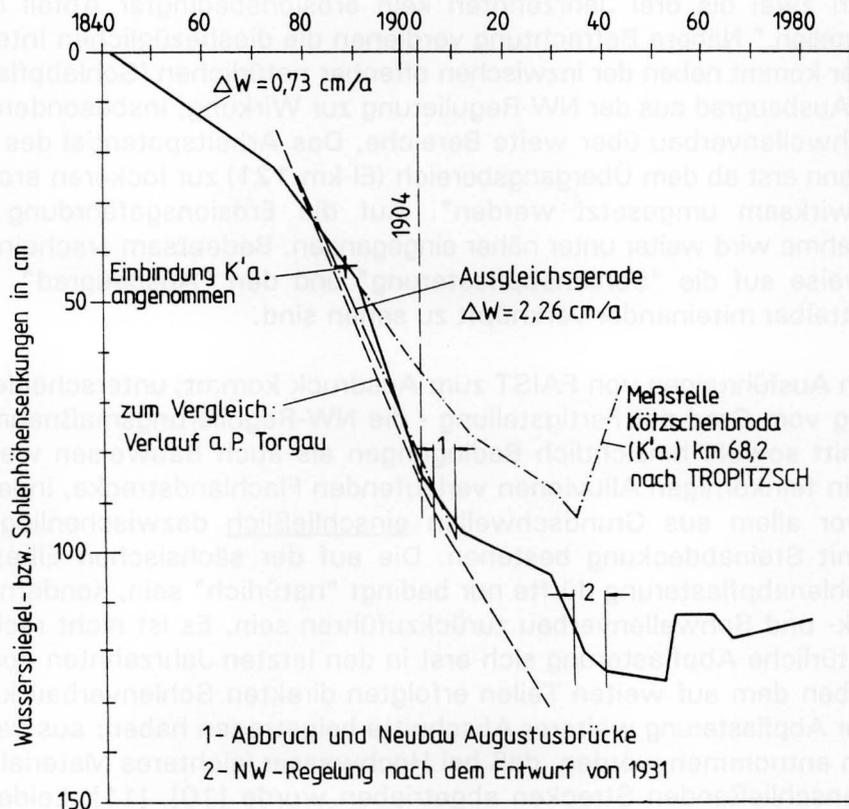


Bild 7 Verlauf der Wasserspiegel- bzw. Sohlenhöhenenkungen am Pegel Dresden

Zum Vergleich wurden auf Bild 7 entsprechende Ergebnisse von TROPITZSCH [10] für die etwas unterhalb liegende Meßstelle Kötzschenbroda mit dargestellt. Sieht man von etwas geringeren Senkungsraten ab, zeigt sich ein qualitativ gleichartiger Verlauf. Aus dem von ihm ermittelten Verlauf zog TROPITZSCH gegen Ende der vierziger Jahre folgende Schlüsse: "Die Aufhöhung nach 1934 um rd. 1/4 m anstatt der bisher stetig fortschreitenden

Austiefung erklärt sich durch den Einbau von Sohlenschwellen im Rahmen der Niedrigwasserregulierung kurz nach 1934. Anscheinend hat sich seitdem die Sohle in der neuen Höhenlage unverändert gehalten. Die Beobachtungen nach 1934 reichen noch nicht aus, eine etwaige neue Bewegung in der Sohlen- und damit Wasserspiegelhöhe nachzuweisen, die keineswegs vollständig ausgeschlossen erscheint, aber sehr gering sein wird". Die weitergeführte Ganglinie für den etwas oberhalb liegenden Pegel Dresden bestätigt diese Vermutung. Nach Auswertung von Wasserspiegelentwicklungen an weiteren sächsischen Elbepegeln schrieb TROPITZSCH dann weiter: "Am Pegel Dresden hat sich der gesamte Einfluß der Mittel- und Niedrigwasserregulierung ausgewirkt, und man findet bestätigt, daß die plötzlich stark ansteigende und dann allmählich abklingende Austiefung infolge der Mittelwasserregulierung den Einfluß der Niedrigwasserregulierung, die auch hier mit einer weiteren Austiefung verbunden ist, weit überwiegt (Hervorhebung durch den Verfasser). ... Die Auswirkung der Niedrigwasserregulierung ... zeigt sich (an den Pegeln) unterschiedlich; in der Regel ist seitdem eine nahezu gleichbleibende Spiegel- und Sohlenhöhenlage oder nach den bisherigen Beobachtungen zunächst sogar eine geringe Aufhöhung zu bemerken".

Bereits aus den früheren Untersuchungen [1], [2], [10] war also erkennbar, daß auf der sächsischen Elbestrecke die seit mehr als 100 Jahren nachzuweisenden Wasserspiegel- und Sohlensenkungen von über 1,0 m seit etwa Mitte der dreißiger Jahre abklagen, und 1992 schrieb FAIST [4]: "An den sächsischen Pegeln von Schöna bis Riesa ist in den zurückliegenden zwei bis drei Jahrzehnten kein erosionsbedingter Abfall des Wasserspiegels festzustellen." Nähere Betrachtung verdienen die diesbezüglichen Interpretationen von FAIST: "Hier kommt neben der inzwischen offenbar natürlichen 'Sohlabpflasterung' vor allem der hohe Ausbaugrad aus der NW-Regulierung zur Wirkung, insbesondere Kolkverfüllungen und Schwellenverbau über weite Bereiche. Das Arbeitspotential des Flusses, die Schleppkraft, kann erst ab dem Übergangsbereich (El-km 121) zur lockeren erosionsgefährdeten Sohle wirksam umgesetzt werden". Auf die Erosionsgefährdung infolge der Korngrößenabnahme wird weiter unter näher eingegangen. Bedeutsam erscheinen vor allem auch die Hinweise auf die "Sohlenabpflasterung" und den "Ausbaugrad", welche Tatbestände unmittelbar miteinander verknüpft zu sehen sind.

Wie auch in den Ausführungen von FAIST zum Ausdruck kommt, unterscheiden sich - und das unabhängig vom Grad der Fertigstellung - die NW-Regulierungsmaßnahmen auf dem oberen Abschnitt sowohl hinsichtlich Bedingungen als auch Bauweisen wesentlich von denen auf der in feinkörnigen Alluvionen verlaufenden Flachlandstrecke, indem sie neben Deckwerken vor allem aus Grundschwellen einschließlich dazwischenliegenden Kieschüttungen mit Steinabdeckung bestehen. Die auf der sächsischen Elbestrecke jetzt vorhandene Sohlenabpflasterung dürfte nur bedingt "natürlich" sein, sondern weitgehend auf diesen Kolk- und Schwellenverbau zurückzuführen sein. Es ist nicht recht erklärlich, warum eine natürliche Abpflasterung sich erst in den letzten Jahrzehnten dort ausgebildet haben soll. Neben dem auf weiten Teilen erfolgten direkten Sohlenverbau könnte dieser auch indirekt zur Abpflasterung weiterer Abschnitte beigetragen haben; aus verschiedenen Hinweisen kann entnommen werden, daß bei Hochwasser leichteres Material der Verbauungen in die anschließenden Strecken abgetrieben wurde [10], [11]. Leider liegen aus früherer Zeit keine zum Vergleich geeigneten Korngrößenanalysen vom Oberlauf vor. Solche würden auch Vermutungen über in neuerer Zeit erfolgten Geschieberückhalt bzw. geringeren Geschiebeanfall am Oberlauf und an Seitenzuflüssen klären helfen.

Für die Annahme der durch die Baumaßnahmen beeinflussten Abpflasterung spricht auch der auf Bild 7 dargestellte Verlauf der Wasserspiegel- und Sohlenhöhenenkungen am Pegel Dresden, wonach diese gerade nach der NW-Regelung abgeklungen sind. Hingegen zeigt die Kurve bis zu 100 Jahren davor beachtliche Senkungsraten. Vom früheren Wasserstraßenamt Dresden wurde in einer Ausarbeitung zur Hydrologie der Elbe in Sachsen [12]

u. a. darauf hingewiesen, daß bereits "seit 1775 ... Tieferbettung der Elbsohle durch die ausnagende Kraft der Strömung" beobachtet wurde. Ferner wurde dort ausgeführt, daß die auf dem sächsischen Elbeabschnitt anstehenden "groben Gerölle" nur bei "größeren Hochwässern" in Bewegung kommen, während bei niedrigeren Wasserständen "jedoch die ebenfalls im Kornspektrum vorhandenen kleineren Fraktionen bereits transportiert" werden und auch in die unterhalb anschließende Strecke gelangen. Wenn sich dieser Vorgang bereits viele Jahrzehnte hindurch abgespielt haben soll, wäre zu erwarten gewesen, daß sich durch sukzessive Ausspülung des feineren Materials schon längst eine "natürliche Sohlenabpflasterung" eingestellt hätte. Daß die Sohlensenkungen offensichtlich erst nach der NW-Regelung abgeklungen sind, spricht in Verbindung mit den genannten Beobachtungen dafür, daß neben einer vielleicht in begrenztem Umfang erfolgten natürlichen Abpflasterung vor allem die Baumaßnahmen auf der sächsischen Elbestrecke die Sohle dort stabilisiert haben.

3 Stabilitätsbetrachtungen

Bild 8 zeigt eine Darstellung von Kriterien für den Beginn der Geschiebebewegung längs der Elbe. Die entscheidende Einflußgröße dabei ist der Geschiebekorndurchmesser; hier als d_{50} mit dargestellt, welchem eine spezielle Geschiebeanalyse zu Grunde liegt [1], [13]. Auf

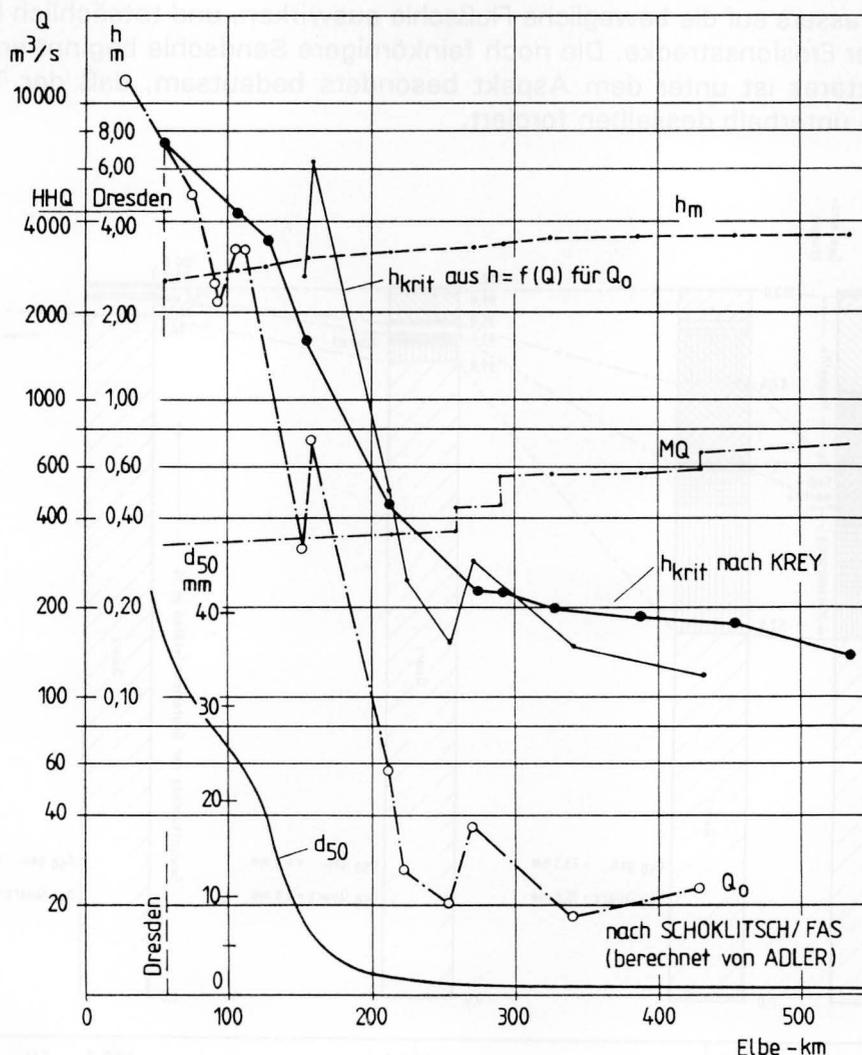


Bild 8 Kritische Wassertiefe und Grenzdurchfluß für den Beginn der Geschiebebewegung längs der Elbe

dem oberen Abschnitt erfolgt eine starke Abnahme der Korngrößen; auffallend ist ein "Knick" im Kurvenverlauf etwa im Bereich der Mündung der Schwarzen Elster (km 200) bzw. etwas unterhalb davon. Hier hat sich die Korngröße bis zur Sandfraktion verkleinert; weiter unterhalb ist die Abnahme nur noch relativ gering. Dies drückt sich im Verlauf der kritischen Wassertiefe h_{krit} bzw. des Grenzdurchflusses Q_0 für den Beginn der Geschiebebewegung aus. Bei Dresden errechnen sich mit $d_{50} \approx 40$ mm Grenzwerte des Korndurchmessers, die bereits oberhalb von HHQ liegen, was den o. g. Beobachtungen des Wasserstraßenamtes Dresden entspricht. Bei Riesa (El-km 108) beträgt h_{krit} noch 4,25 m und liegt damit noch weit über MW, so daß erst bei mittleren Hochwässern mit nennenswertem Geschiebetransport zu rechnen ist. Bis Wittenberg/L. (El-km 214) nimmt h_{krit} schnell ab und beträgt hier nur noch rd. 0,5 m, was bedeutet, daß dort selbst bei niedrigen Wasserständen die Sohle in Bewegung ist. Dementsprechend ist davon auszugehen, daß Erosionen im Übergangsbereich zum Flachlandfluß (siehe Tabelle 2, Abschnitt 5) und unmittelbar daran anschließend nur bei Hochwasser eintreten, während etwa ab Torgau dies bereits bei MW der Fall sein kann.

Unabhängig voneinander durchgeführte Korngrößenanalysen [13] zeigen, daß die bedeutende Korngrößenabnahme etwa im Bereich Strehla/Mühlberg einsetzt, was einhergeht mit einer einschneidenden Veränderung der petrographischen Zusammensetzung des Sohlenmaterials hin zu überwiegend Quarzsand (Bild 9). Ab hier kann sich also die Angriffskraft des strömenden Wassers auf die bewegliche Flußsohle auswirken, und tatsächlich liegt hier auch der Beginn der Erosionsstrecke. Die noch feinkörnigere Sandsohle beginnt erst unterhalb Torgau. Letzteres ist unter dem Aspekt besonders bedeutsam, daß der Torgauer Felsen die Erosion unterhalb desselben forciert.

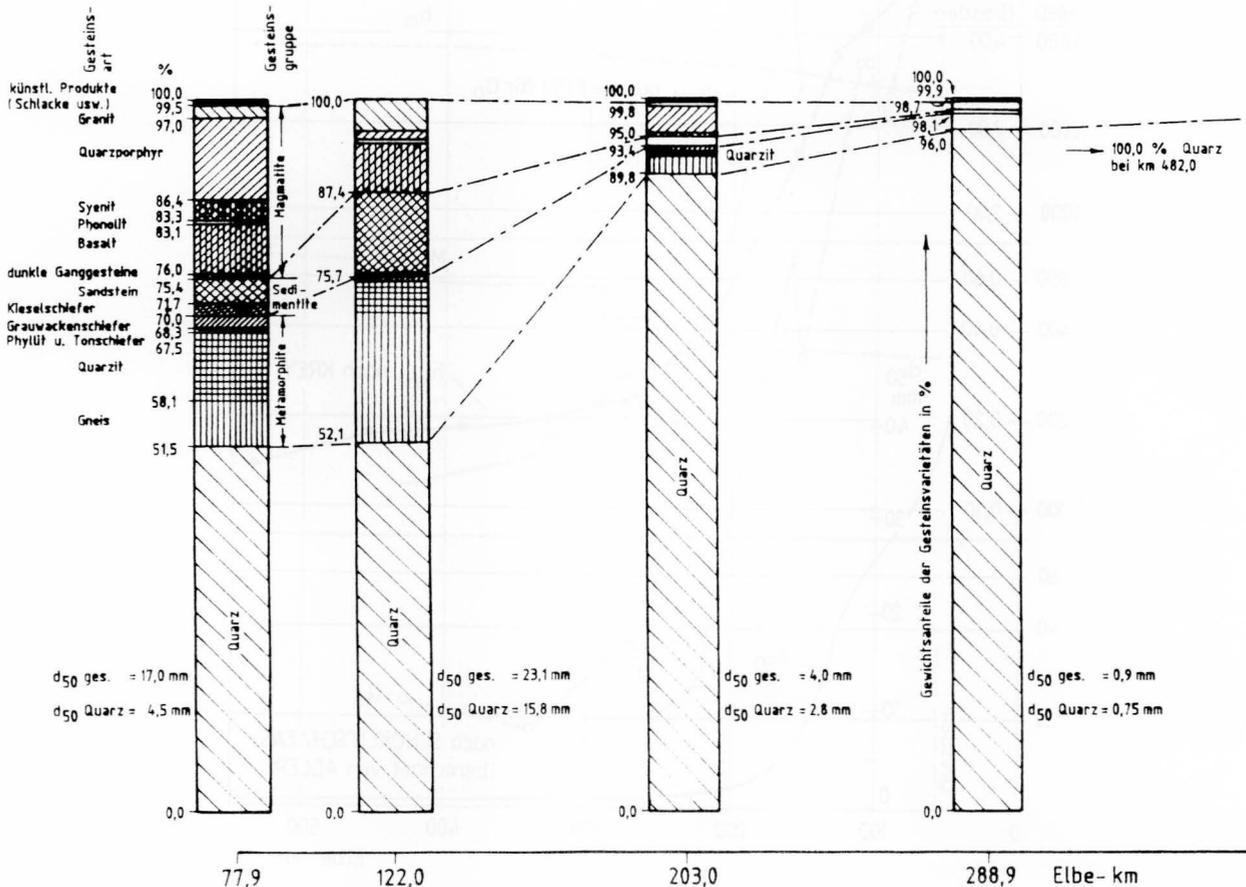


Bild 9 Petrographische Zusammensetzung des Elbegeschiebes

In der Fachliteratur wird für den Beginn der Geschiebebewegung und für das Auftreten bestimmter Bettformen (Riffel, Dünen usw.) eine ganze Anzahl verschiedener Kriterien genannt, worin sich u. a. die Unsicherheiten auf dem Gebiet der Transportkörperforschung widerspiegeln. Auf Bild 10 wurden beispielsweise Werte für die Elbe in eine diesbezügliche Graphik von BOGARDI [14], deren Aussage u. a. an Ansätze von KREY bzw. SHIELDS anknüpft, eingezeichnet. Die Kriterien für den Bewegungsbeginn von KREY und von BOGARDI sind praktisch identisch, und aus der Graphik wird deutlich, daß sich danach bis kurz oberhalb von Torgau das Geschiebe bei MW noch in Ruhe befindet. Analog zum Verlauf der Sohlenschubspannung nehmen an der Elbe die b - bzw. κ -Werte kontinuierlich von oben (Dresden) nach unten (Darchau) ab und kennzeichnen damit die gleichgerichtete Abnahme der Stabilität der Sohle bzw. umgekehrt die Zunahme der Erosionsanfälligkeit. Im übrigen liegt die Ausgleichsgerade im Bereich eines recht fortgeschrittenen Bewegungszustandes; d. h., daß sich auf der gesamten mittleren Elbe die Sohle in lebhafter Bewegung befindet. Ähnliches ergibt sich aus Einzeichnungen in verschiedene andere Graphiken, so z. B. aus der bekannten SHIELDS-Kurve, nach welcher sich von Aken an flußabwärts die Sohle bereits im Übergang zur Suspensierung befinden soll.

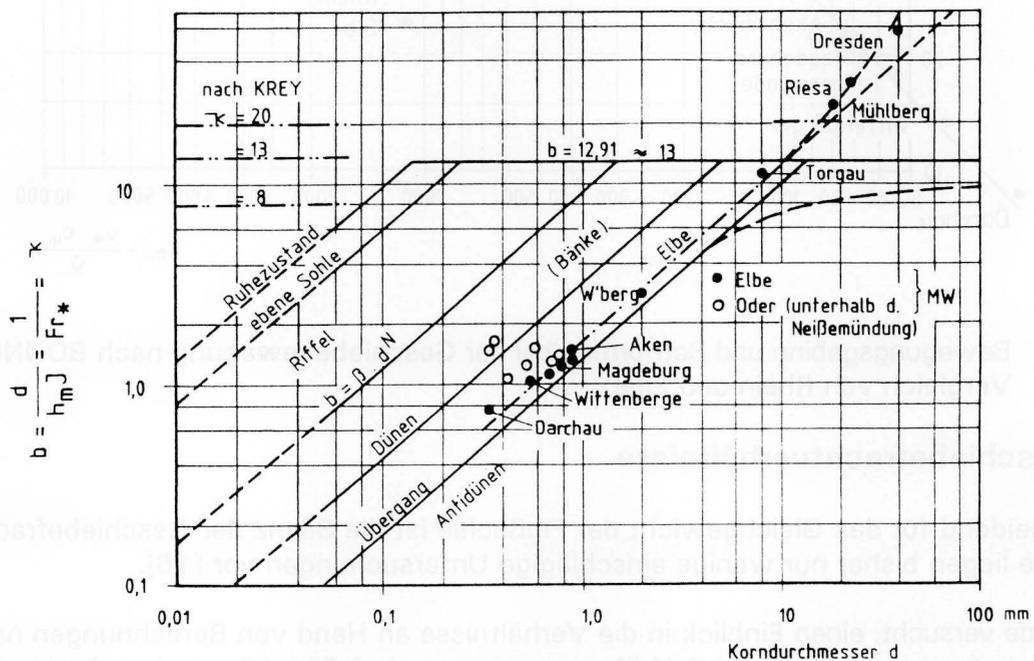


Bild 10 Grenzzustände und Bettformen bei der Geschiebebewegung (nach BOGARDI)

Auch in der Graphik nach BONNEFILLE erhält man für die Punkte von der Elbe eine Ausgleichsgerade. Auf Bild 11 wurde die diesbezügliche Darstellung der Bundesanstalt für Gewässerkunde für das im Rhein transportierte Geschiebe [15] wiedergegeben; durch die Einzeichnung der Werte für die Elbe erhält man einen unmittelbaren Vergleich mit dem Rhein. Für die Elbe nehmen die Werte stromab kontinuierlich ab (ähnlich wie auf Bild 10), während am Rhein u. a. untere Streckenabschnitte wieder in Bereiche höherer Wertepaare rücken. Oberhalb von Torgau liegt die Ausgleichsgerade für die Elbe über der für den Rhein, was eine größere Stabilität bedeutet; unterhalb davon ist es umgekehrt. Wie Bild 10 zeigt auch die Darstellung nach BONNEFILLE, daß der Übergang von der bei MW in Ruhe befindlichen Flußsohle zur Bewegung im Bereich zwischen Mühlberg und Torgau liegt.

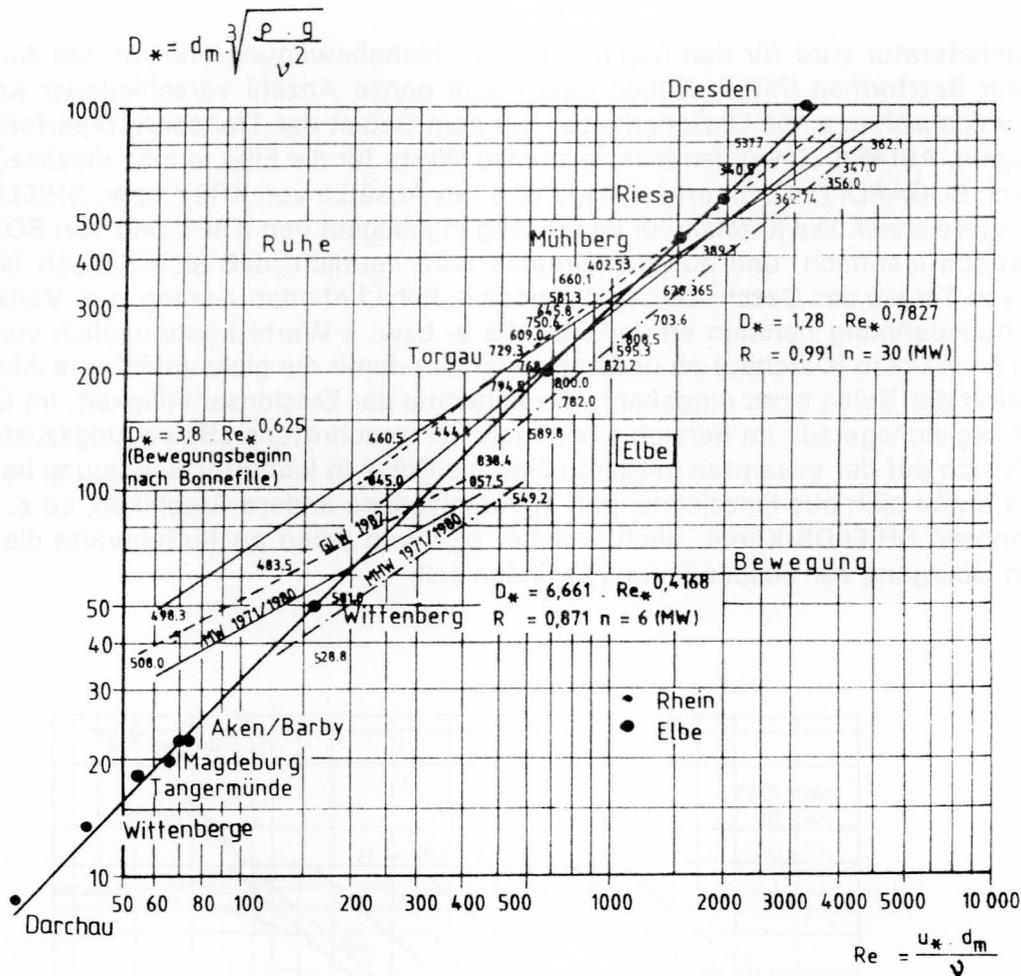


Bild 11 Bewegungsbeginn und Bettformen bei der Geschiebebewegung nach BONNEFILLE, Vergleich von Rhein und Elbe

4 Geschiebefrachtverhältnisse

Entscheidend für das Gleichgewicht der Flußsohle ist die Bilanz der Geschiebefracht. Für die Elbe liegen bisher nur wenige einschlägige Untersuchungen vor [16].

Es wurde versucht, einen Einblick in die Verhältnisse an Hand von Berechnungen nach der Geschiebefrachtformel der FAS [17] zu gewinnen. Auf Bild 12 wurden die hiermit berechneten Transportmengen, d. h. das Geschiebetransportvermögen, für unterschiedliche Abflußverhältnisse dargestellt. Mit dem Faktor 0,5 soll eine Reduktion von MQ auf eine geschiebeführende Sohlenbreite erreicht werden. Natürlich kann dies nur eine überschlägliche, orientierende Berechnung sein. Die Unsicherheiten bei Geschiebetransportberechnungen sind allgemein sehr groß und bekannt. Trotzdem vermitteln sie bei richtiger Handhabung und Interpretation zumindest qualitative Erkenntnisse. Mit den Worten z. B. von ZANKE haben "zahlenmäßige Aussagen zur Sedimentbewegung ... daher generell den Charakter von Schätzwerten" [19]. Geschiebeförderfähigkeit und aktuelle Geschiebefracht stimmen im allgemeinen nicht überein. Die absolute Größe der tatsächlich transportierten Geschiebemenge ist nach den vorgestellten Berechnungsergebnissen also unsicher. Vergleichsberechnungen nach verschiedenen Ansätzen bestätigen jedoch sowohl die Größenordnung als auch insbesondere die Plausibilität des Kurvenverlaufes. Dieser zeigt einen sprunghaften Anstieg etwa ab Elbe-km 150 (Bereich Torgau), was z. B. auch dem Bewegungsbeginn nach Bild 10 entspricht; allerdings reicht er noch über Wittenberg, d. h. der Stelle des Ausklingens der Erosion, hinaus.

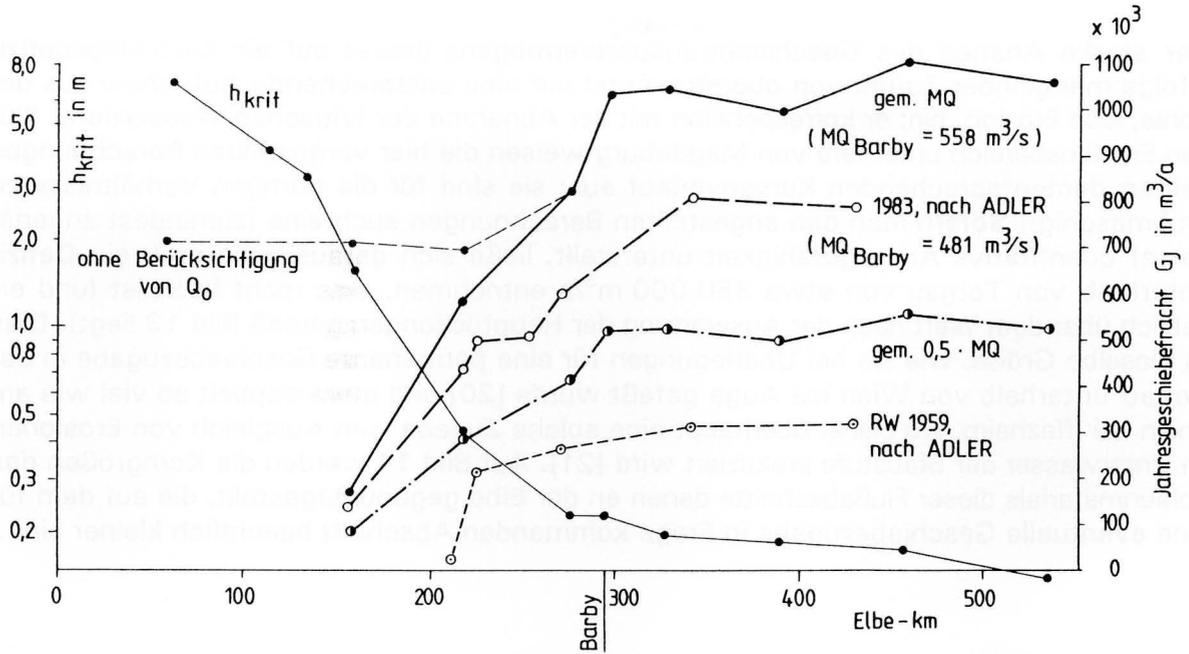


Bild 12 Nach der Geschiebefrachtformel der FAS berechnete Jahresgeschiebefrachten

Zum Vergleich und zur Vermittlung von Größenordnungen wird auf Bild 13 die Auswertung der Hauptpeilungen der Elbe von 1929 und 1935 (nach Archivmaterialien der seinerzeitigen Wasserstraßenverwaltung) gezeigt. Auch diese Angaben sind quasi nur "Schätzwerte"; z. B. ist herausragend der hohe Anteil der Baggerungen an der gesamten Bodenbewegung, wodurch die natürlichen Geschiebetransportprozesse überdeckt werden. Wenn man die Massen des gesamten betrachteten Zeitraums durch die Anzahl der Jahre dividiert, kann man zu fiktiven Jahresdurchschnittswerten kommen, wobei es jedoch fragwürdig ist, ob man diese als jährliche "Geschiebefracht" ansehen darf; allerdings erhält man dabei plausible Größenordnungen. Die Summenlinie der durch den Strom bewegten Bodenmassen ergibt zwischen Torgau und Wittenberg eine Zunahme von rd. 75.000 m³/a, was auf die gesamte Sohlenfläche umgerechnet eine Senkungsrate von etwa 3 cm/a ergäbe; dies ist mehr als weiter oben dargelegt, liegt aber immerhin noch etwa in ähnlicher Größenordnung.

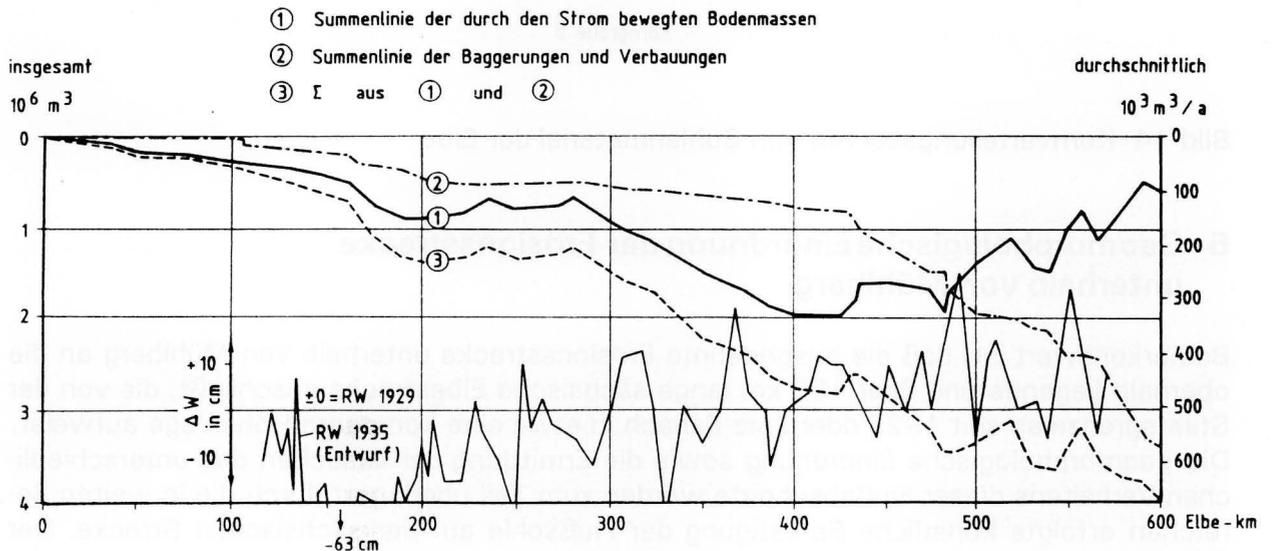


Bild 13 Summenlinien der Bodenbewegungen im Strombett der Elbe im Zeitraum 1929 - 1935

Der starke Anstieg des Geschiebetransportvermögens deutet auf ein Geschiebedefizit infolge mangelnder Zufuhr von oberstrom und auf eine entsprechende Aufnahme aus der Sohle, also Erosion, hin; er korrespondiert mit der Abnahme der kritischen Wassertiefe. (Für den Erosionsbereich unterhalb von Magdeburg weisen die hier vorgestellten Berechnungen keinen dementsprechenden Kurvenverlauf aus; sie sind für die dortigen Verhältnisse zu grobmaschig.) Sofern man den angestellten Berechnungen auch eine (zumindest angenäherte) quantitative Aussagefähigkeit unterstellt, ließe sich daraus ganz grob ein Defizit unterhalb von Torgau von etwa 350.000 m³/a entnehmen, was recht hoch ist (und erheblich über dem Wert nach der Auswertung der Hauptpeilungen gemäß Bild 13 liegt). Dies ist dieselbe Größe, wie sie bei Überlegungen für eine permanente Geschiebezugabe in der Donau unterhalb von Wien ins Auge gefaßt wurde [20] und etwa doppelt so viel wie am Rhein bei Iffezheim, wo bisher überhaupt eine solche Zugabe zum Ausgleich von Erosionen im Unterwasser der Staustufe praktiziert wird [21]. Auf Bild 14 werden die Korngrößen des Sohlenmaterials dieser Flußabschnitte denen an der Elbe gegenübergestellt, die auf dem für eine eventuelle Geschiebezugabe in Frage kommenden Abschnitt beachtlich kleiner sind.

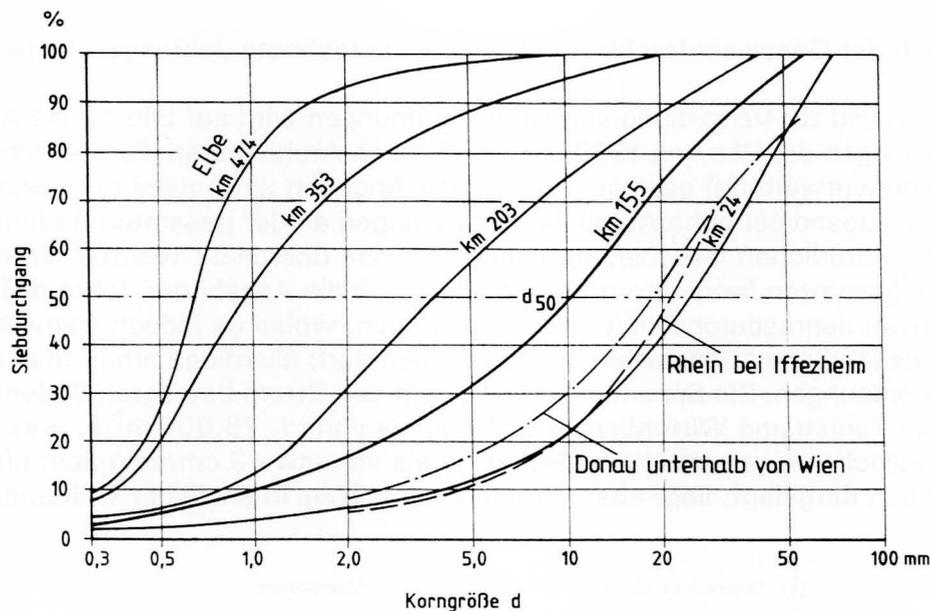


Bild 14 Kornverteilungskurven von Sohlenmaterial der Elbe

5 Geomorphologische Einordnung der Erosionsstrecke unterhalb von Mühlberg

Bemerkenswert ist, daß die ausgedehnte Erosionsstrecke unterhalb von Mühlberg an die oberhalb liegende und über 100 km lange sächsische Elbestrecke anschließt, die von der Staatsgrenze an seit 1929 oder kurz danach in etwa eine konstante Höhenlage aufweist. Die geomorphologische Einordnung sowie die Ermittlung der Ursachen des unterschiedlichen Verhaltens dieser Flußabschnitte werden zum Teil überlagert durch die in weiten Bereichen erfolgte künstliche Befestigung der Flußsohle auf der sächsischen Strecke. Der Übergang zwischen beiden Strecken ist durch einige Besonderheiten gekennzeichnet; es ist insbesondere der Übergang zwischen dem in das Gebirgstal eingeschnittenen Oberlauf und dem in den Alluvionen fließenden Mittellauf des Flachlandes. Tabelle 2 vermittelt einen Überblick über die Lage einiger markanter Stellen.

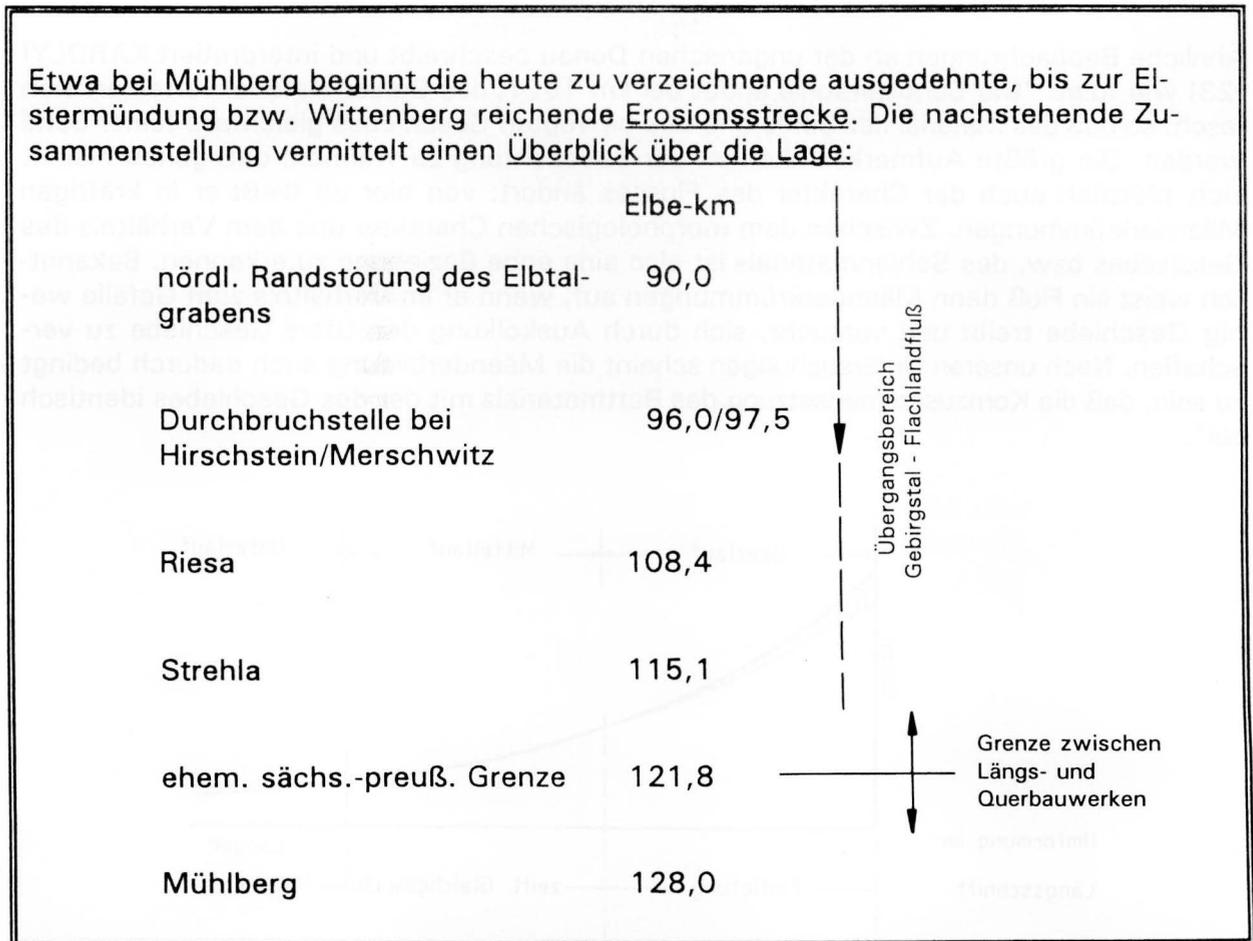


Tabelle 2 Lage der Übergangsstrecke Gebirgstal/Flachlandfluß

Es ist wahrscheinlich nicht zufällig, daß der Wechsel von der Beharrungs- zur Erosionsstrecke in etwa mit den genannten Modalitäten zusammentrifft. Auch wenn die Wasserspiegel- und Sohlensenkungen erst etwas unterhalb auftreten, sind sie mit dem Gebirgsdurchbruch in Verbindung zu bringen, zumal auch erst dort die wahrscheinlich mit dem Überschreiten der nördlichen Randstörung des Elbtalgrabens zusammenhängenden Gefälleunregelmäßigkeiten ausklingen. Daß der Wechsel etwas nach unterhalb verschoben ist, ist nicht unnatürlich. Im "Elbewerk" [22] wurde dazu festgestellt: "Der Übergang zum Flachlandflusse vollzieht sich naturgemäß allmählich und erstreckt sich auf eine längere Strecke".

Eine weitere Eigentümlichkeit des Übergangsbereiches ist der große Unterschied zwischen den Werten der Flußentwicklung e_F der aufeinanderfolgenden Abschnitte, wobei ein großer Wert von e_F einen stark gewundenen Lauf kennzeichnet. Bei dem Gebirgsdurchbruch tritt der Fluß aus dem engen Erosionstal des Spaar-Gebirges in das Norddeutsche Flachland ein, und in Übereinstimmung mit den allgemeinen flußmorphologischen Gesetzmäßigkeiten (siehe Bild 15) liegt hier auch an der Elbe der Übergang vom gestreckten Oberlauf zu dem sich in den alluvialen Ablagerungen sein Bett bildenden gewundenen Mittellauf. Unter Berücksichtigung der im 18. und 19. Jahrhundert auf diesem unteren Abschnitt vorgenommenen Durchstichen war früher die Differenz der von oben nach unten aufeinanderfolgenden Flußentwicklungen noch größer. Wie bereits weiter oben dargelegt, erfolgt gerade auf diesem Abschnitt die ziemlich plötzliche Verkleinerung des Geschiebes.

Ähnliche Beobachtungen an der ungarischen Donau beschreibt und interpretiert KAROLYI [23] wie folgt: "Die Schottersohle endet bei km 1521, das Sohlenmaterial verfeinert sich rasch, so daß das Material der Sohle und des bewegten Geschiebes gleichfalls feiner Sand werden. Die größte Aufmerksamkeit ist der Beobachtung zu widmen, daß genau hier ... sich plötzlich auch der Charakter des Flusses ändert: von hier an fließt er in kräftigen Mäanderkrümmungen. Zwischen dem morphologischen Charakter und dem Verhältnis des Geschiebes bzw. des Sohlenmaterials ist also eine enge Beziehung zu erkennen. Bekanntlich weist ein Fluß dann Mäanderkrümmungen auf, wenn er im Verhältnis zum Gefälle wenig Geschiebe treibt und versucht, sich durch Auskolkung des Ufers Geschiebe zu verschaffen. Nach unseren Untersuchungen scheint die Mäanderbildung auch dadurch bedingt zu sein, daß die Kornzusammensetzung des Bettmaterials mit der des Geschiebes identisch sei".

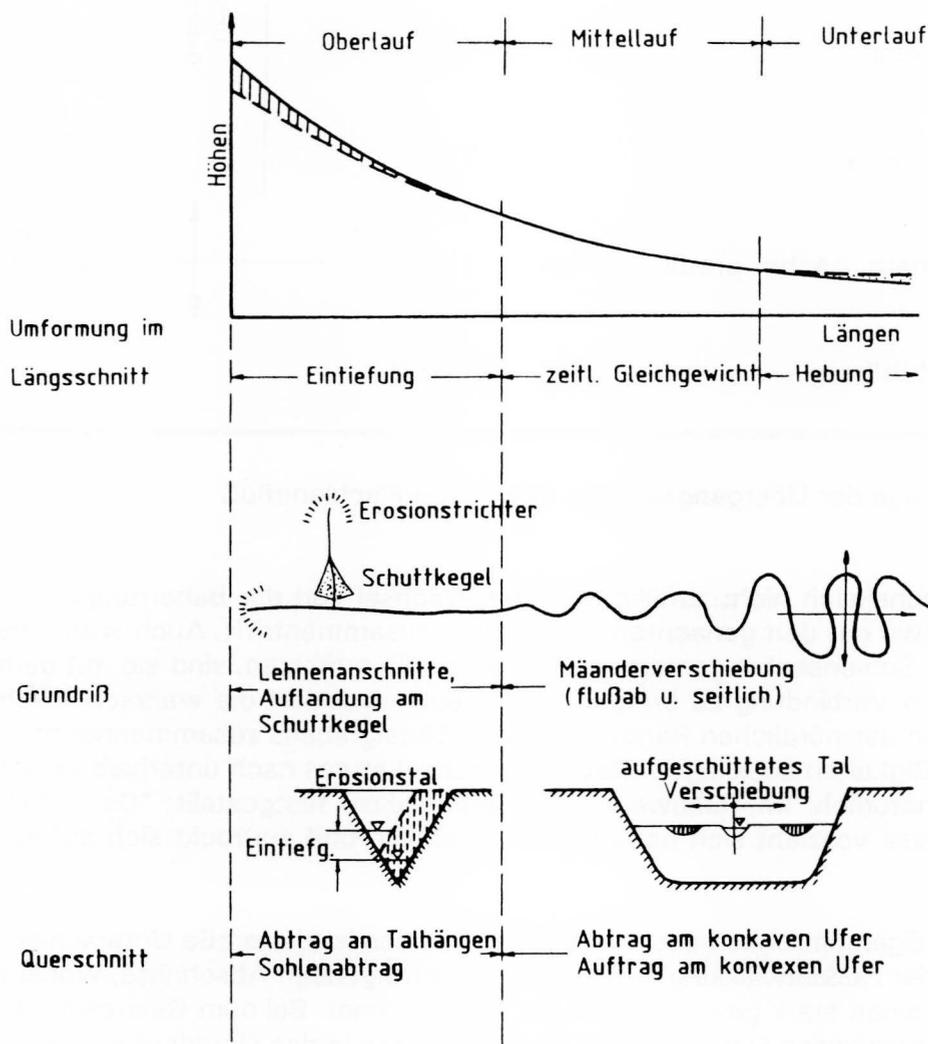


Bild 15 Prinzipskizze zur Flußmorphologie/Flußbettausbildung (nach SCHAFFERNAK)

Nach den allgemeinen flußmorphologischen Zusammenhängen ist davon auszugehen, daß der Fluß im Gegensatz zur Tiefenerosion im Oberlauf (Erosionstal) sein zeitliches Gleichgewicht im Mittellauf durch Mäandern schafft, d. h. ein durch mangelnde Zufuhr von oberhalb bestehendes Geschiebedefizit durch Seitenerosion auszugleichen bestrebt ist. Der komplizierte Vorgang des Mäanders ist bisher allerdings nicht so geklärt, daß sich - vor allem

in Abhängigkeit vom Material der Sohle und der Ufer - ein eventuelles Zusammenwirken von Seiten- und Tiefenerosion näher beschreiben oder abgrenzen ließe. Es scheint, als ob allgemein angenommen wird, daß "in natürlichen Mäandergerinnen das Ufermaterial im allgemeinen wesentlich feiner ist als das Bettmaterial" [24], wodurch der ausschließlich oder überwiegend seitliche Angriff erklärlich ist.

Die dem "Regelfall" entsprechende freie Ausbildung eines natürlichen alluvialen Flußlaufes wurde im Falle der Elbe durch den Ausbau, vor allem ab den sechziger Jahren des vorigen Jahrhunderts durch die Mittelwasserregelung, behindert, und die Bettgestaltung wurde in andere Bahnen gelenkt. Einmal wurde durch den Uferverbau die seitliche Erosion verhindert, welche sich dadurch in die Tiefe richtete. Ferner bewirkte die durch den Ausbau erzielte Vergleichmäßigung des Flußbettes bei konstantem absoluten Gefälle eine Erhöhung der Wassergeschwindigkeit; zusammen mit Laufverkürzungen infolge von Durchstichen - vor allem auf dem Abschnitt zwischen der ehemaligen sächsisch-preußischen Landesgrenze bis unterhalb von Wittenberg - wurde dadurch die Erosionskraft des Flusses verstärkt. Diese Maßnahmen erfolgten im wesentlichen bereits im Rahmen der früheren Ausbauvorhaben bis hin zur Mittelwasserregelung.

Diese allgemeinen Zusammenhänge sind, wie ältere Stellungnahmen aus der Wasserstraßenverwaltung vermuten lassen, an der Elbe wahrscheinlich lange Zeit nur ungenügend erkannt bzw. in ihren Auswirkungen unterschätzt worden.

6 Fazit

Zusammenfassend ist festzustellen: Von entscheidendem Einfluß auf die Stabilität der Flußsohle ist die Entwicklung der Korngröße von ober- nach unterstrom. Der Sohlenverbau auf der sächsischen Elbestrecke hat wahrscheinlich wesentlich zur Abpflasterung beigetragen. Unabhängig von dem nicht ganz zweifelssfrei bewiesenen Anteil der Baumaßnahmen ist jetzt dort und auch noch etwas unterhalb eine grobkörnige stabile Sohle vorhanden, was zur anschließenden konzentrierten Freisetzung der Angriffskraft des Wassers führt. Die relativ plötzliche Abnahme der Sohlenstabilität ist die Ursache für die unterhalb von Mühlberg eingetretene Erosion; da von oberhalb infolge der dort abgepflasterten Sohle keine nennenswerte Geschiebezufuhr - zumindest nicht bei mittleren Wasserständen bzw. Durchflüssen - erfolgt, wird bis zur Sättigung des Geschiebetransportvermögens Material aus der stromab zunehmend feinkörniger werdenden Sohle aufgenommen. Anders formuliert ist die Ursache der dortigen Sohlenerosion also ein Defizit an ankommendem Geschiebe. Damit ist auch auf der entscheidenden Erosionsstrecke der Elbe als Ursache diejenige identifiziert, welche TIPPNER von der Bundesanstalt für Gewässerkunde [25] als "Hauptursache" für die Eintiefung großer Gewässer bezeichnet. JÄHRLING vom Staatlichen Amt für Umweltschutz Magdeburg sieht das "eigentliche Hauptproblem für die gesamte Elbe und deren Auenbereiche" ebenfalls in einem "enormen Geschiebedefizit" [26].

Dieses Geschiebedefizit wiederum hat zwei Ursachen: einmal absolut zu geringe Zufuhr von oberstrom (sowie aus den Nebenflüssen) und zum anderen eine Erhöhung der Geschiebetransportfähigkeit durch Maßnahmen des Flußausbaues.

7 Literatur

- [1] GLAZIK, G.: Studie über die Möglichkeiten zur Erhöhung der Tauchtiefen der Elbe durch Niedrigwasserregulierung. Forschungsanstalt für Schifffahrt, Wasser- und Grundbau (FAS), Berlin 1963 (unveröffentlicht)
- [2] GLAZIK, G.: Veränderungen der Wasserspiegel- und Sohlenlage der Elbe. "Wasserwirtschaft-Wassertechnik", 14 (1964) 11, S. 332
- [3] DOHMS, A.; FRÖHLICH, J.; FAIST, H.: Hydrologische und flußmorphologische Veränderungen der Elbe in den vergangenen drei Jahrzehnten. "Deutsche Gewässerkundliche Mitteilungen", 34 (1990) 4, S. 105
- [4] FAIST, H.: Zur Sohlenerosion der Elbe. "Binnenschifffahrt", 47 (1992) 6, S. 240
- [5] GLAZIK, G.: Die Sohlenerosion der Elbe (Teil 1 u. 2). "Wasserwirtschaft-Wassertechnik", Hefte 7 u. 8/1994
- [6] GLAZIK, G.: Causes of local changes of the level of regulated alluvial river-beds and the elaboration of counter-measures by means of river scale model tests (illustrated on the example of the Elbe River). XIV. IAHR-Kongreß, Paris 1971, Proceedings Vol. 3, C 25
- [7] Elbstrom-Bauverwaltung: Ermittlung des Regelungswasserstandes nach dem Stromzustand des Jahres 1935 (RW 1935) von der sächs.-preuß. Landesgrenze, km 120,8 bis Hohnstorf, km 568,9 (Entwurf). Magdeburg, Dezember 1936 (unveröffentlicht)
- [8] Bundesanstalt für Wasserbau, Außenstelle Berlin: Bericht über die Entwicklung der Mittel- und Niedrigwasserstände der Elbe seit Festlegung des Regulierungswasserstandes 1959. (Bearbeiter: P. Faulhaber), Berlin, Dezember 1991 (unveröffentlicht)
- [9] GRIMM, E.: Untersuchungen zur Verbesserung der tauchtiefenbestimmenden Felsenstrecke Torgau durch flußbauliche Maßnahmen. Elbe-Aussprachetag in der BAW-Außenstelle Berlin, Dezember 1991; Berichtsband, S. 21
- [10] TROPITZSCH, W.: Die Austiefung der deutschen Ströme in den letzten 100 bis 150 Jahren. Maschinenschriftl. Manuskript (unveröffentlicht); ohne Datum (um 1950)
- [11] KLAUS, O.: Die technischen Maßnahmen beim Elbeausbau und dessen wirtschaftliche Bedeutung. Dissertation, Technische Hochschule Dresden, 1952
- [12] Wasserstraßenamt Dresden: Hydrologie der Elbe in Sachsen. Maschinenschriftliches Manuskript (unveröffentlicht); ohne Datum (um 1950)
- [13] GLAZIK, G.: Analyse des Sohlengeschiebes der Elbe. "Wasserwirtschaft-Wassertechnik", im Druck.
- [14] BOGARDI, J.: Sediment transport in alluvial streams. Akademiai Kiado, Budapest 1974
- [15] Bundesanstalt für Gewässerkunde: Jahresbericht 1986 Teil II, Abschn. 3.2, Koblenz 1987

- [16] GLAZIK, G.: Zur Abschätzung der Sedimenttransportverhältnisse in der Elbe als Grundlage wasserbaulicher Maßnahmen. Bericht für die Bundesanstalt für Wasserbau, September 1993 (unveröffentlicht)
- [17] GLAZIK, G.: Ergebnisse neuerer modellmäßiger Untersuchungen über die Geschiebebewegung in Flachlandflüssen. "Mitteilungen der Forschungsanstalt für Schifffahrt, Wasser- und Grundbau, Schriftenreihe Wasser- und Grundbau"; Heft 29, S. 189, Berlin 1971
- [18] ADLER, G.: Geschieberegime der Elbe/Sohlenumformungen an ausgewählten Querprofilen. Diplomarbeit, Technische Universität Dresden, Sektion Wasserwesen, 1990
- [19] ZANKE, U.: Grundlagen der Sedimentbewegung. Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg/New York 1982
- [20] ZOTTL, H.: Staustufe Freudenau - Problematik im Unterwasserbereich. "Perspektiven", Magazin für Stadtgestaltung und Lebensqualität; Wien, Dezember 1989, S. 56
- [21] FELKEL, K.: Acht Jahre Geschiebezugabe am Oberrhein. "Wasserwirtschaft", 77 (1987) 4, S. 181
- [22] Elbstrom-Bauverwaltung (Herausgeber): Der Elbstrom, sein Stromgebiet und seine wichtigsten Nebenflüsse (sog. "Elbwerk"). Verlag von Dietrich Reimer, Berlin 1898
- [23] KAROLYI, Z.: Folgerungen aus den Ergebnissen der Geschiebemessungen an der Donau. "Österreichische Wasserwirtschaft", 9 (1957) 10, S. 203
- [24] HILTORFF, G.: Die natürliche Gestalt des Fließgerinnes. "Wasserbau-Mitteilungen der Technischen Hochschule Darmstadt", Nr. 29/1989, S. 103
- [25] TIPNER, M.: Über den Umfang der Sohlenerosion in großen Gewässern. "Deutsche Gewässerkundliche Mitteilungen", 17 (1973) 5, S. 125
- [26] JÄHRLING, K.-H.: Auswirkungen wasserbaulicher Maßnahmen auf die Struktur der Elbauen - prognostisch mögliche ökologische Verbesserungen. 4. Magdeburger Gewässerschutzseminar ("Die Situation der Elbe"), September 1992 in Spindleruv Mlyn; Tagungsband, S. 211

