

# HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

---

Conference Paper, Published Version

**Nestmann, Franz**

## **Auswirkung der Sohlenerosion in der Elbe und wasserbauliche Maßnahmen zur Minderung und Beseitigung**

Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen

Zur Verfügung gestellt in Kooperation mit/Provided in Cooperation with:

**Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik**

---

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/104192>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Nestmann, Franz (1994): Auswirkung der Sohlenerosion in der Elbe und wasserbauliche Maßnahmen zur Minderung und Beseitigung. In: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik (Hg.): Die Elbe - Wasserstraße und Auenlandschaft. Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen 5. Dresden: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik. S. 101-144.

### **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.



Symposium

**Zukunft Elbe**

Flußlandschaft/Siedlungsraum/Wasserstraße

am 14./15. Oktober 1993

in der TU Dresden

Die Elbe - Wasserstraße und Auen

Vortrag zum Thema:

Auswirkung der Sohlenerosion in der Elbe und  
wasserbauliche Maßnahmen zur Minderung und Beseitigung

LBDir Dr.-Ing. Franz Nestmann  
Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe

## Inhaltsverzeichnis

1. Wechselwirkungen zwischen Strömung und Feststofftransport
2. Zielstellungen wasserbaulicher Maßnahmen
3. Veränderungen der Sohlen- und Wasserspiegellagen in der Elbe
  - 3.1 Regulierungswasserstand 1929 (RW 29)
  - 3.2 Regulierungswasserstand 1959 (RW 59)
  - 3.3 Veränderungen in der Elbe
4. Qualitative Bewertung des Feststofftransportes
5. Wasserbauliche Maßnahmen

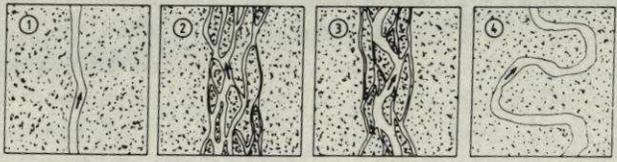
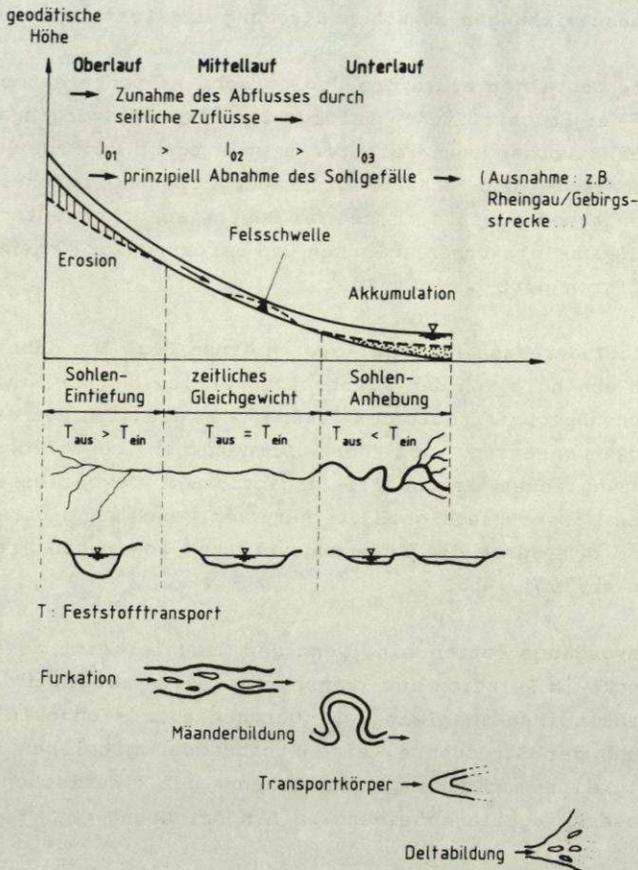
## 1. Wechselwirkungen zwischen Strömung und Feststofftransport

Flußläufe gestalten als hydro-geologische Elemente entscheidend das Bild der Erdoberfläche. Infolge der Strömungsvorgänge werden die im Fluß vorhandenen Feststoffe umgelagert und zwar in Form von Geschiebe- und Schwebstofftransport. Das morphologische Verhalten eines Flusses in seinem Bett wird daher entscheidend von den Wechselwirkungen zwischen den Strömungsvorgängen und dem Feststofftransport beeinflusst.

Der Verlauf der Wasserspiegellage in einem Fluß ist dabei grundsätzlich abhängig von der Flußbettgeometrie, dem Abfluß und der Oberflächenbeschaffenheit des Flußbettes, die sich aus der Korngrößenzusammensetzung der dort vorhandenen beweglichen bzw. nicht beweglichen Feststoffe ergibt. Bei Geschiebetransport hängt das Wasserspiegelgefälle auch vom Geschiebeeintrag oberstrom und dem durch die Strömungsvorgänge bewirkten Transportvermögen ab, vgl. Abb. 1.

**Erosionsvorgänge** setzen ein, wenn der Geschiebeeintrag in einer Flußstrecke in Relation zum Transportvermögen aufgrund der Strömungsverhältnisse zu klein ist. Durch die Erosion erfolgt eine Aufweitung der Stromröhre, eine Abnahme der mittleren Fließgeschwindigkeiten und dadurch eine Abnahme der kinetischen Energie bzw. Wasserspiegellagenneigung in Längsrichtung.

**Sedimentationsvorgänge** setzen ein, wenn der Geschiebeeintrag in Relation zum Transportvermögen des Flusses relativ zu groß ist. Die erfolgenden Anlandungen bzw. Ablagerungen tragen zu einer Vergrößerung des Fließgefälles bei, wobei das Transportvermögen zunimmt. Ggf. stellt sich längerfristig ein Gleichgewichtszustand zwischen Geschiebeeintrag und Transportvermögen ein.



- ① Oberlauf mit sehr großem Gefälle  $l_0 > 1\text{‰}$
  - ② Furkationszone, Breisach  $l_0 \sim 0,9\text{‰}$
  - ③ Furkationszone, Kehl  $l_0 \sim 0,5\text{‰}$
  - ④ Mäanderzone, Lautermündung - Oppenheim  $l_0 = 0,25 - 0,04\text{‰}$
- }  $V = 2 - 5\text{m/s}$

Schematisierte Flußbettbildung am Beispiel des Rheins zwischen Breisach und Oppenheim

Abb. 1 Typischer Flußlängsschnitt / Flußbettbildung

$\vec{u}, \vec{v}, \vec{w}$  : räumlicher Geschwindigkeitsvektor  
 $\bar{y}$  : örtliche Wassertiefe  
 $T$  : Transport von Feststoffen

$$\left. \begin{array}{l} \vec{u} \\ \vec{v} \\ \vec{w} \\ \bar{y} \\ T \end{array} \right\} = f_{1,2,3,4}(\rho, \mu, g, r, \theta, z, \text{Gerinnegeometrie}, I_0, Q, x, y, z, \text{Rauheit, Instationarität, Anströmbedingungen, Feststoffe})$$

**Gerinnegeometrie :**

- Grundriß
- Querprofile
- Längsprofile
- Bauwerke

**Instationarität :**

- Ganglinie
- Stauregelung
- Welleneinfluß durch Schiffe
- Stabilität

**Anströmbedingungen :**

- Gerinnegeometrie oberstrom und unterstrom des zu regelnden Abschnittes
- dreidimensionale Strömungsstruktur
- Turbulenz

**Wechselwirkungen :**      Strömung  $\longleftrightarrow$  Feststofftransport

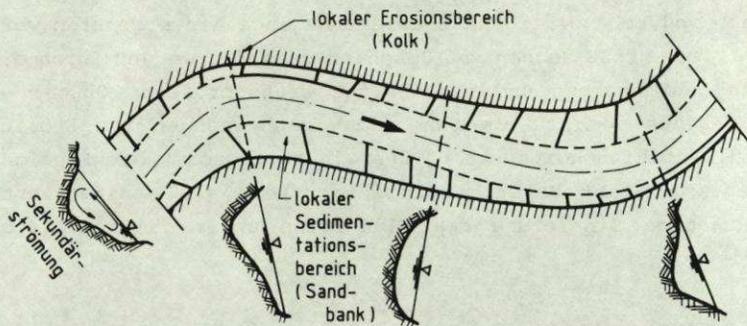


Abb. 2 Parameteranalyse

Bei der Beurteilung einer Erosions- bzw. Sedimentationstendenz eines Flusses ist darauf zu achten, daß diese Vorgänge sowohl als lokale wie auch als regionale Erscheinungen auftreten können. Als lokal begrenzte Erscheinungen können sie in allen Flußabschnitten auftreten. Diese werden durch die örtlichen geometrischen Verhältnisse infolge von Flußkrümmungen, Sohlunebenheiten, Wechsel von Materialeigenschaften wie Korngrößenverteilung und Kornbeschaffenheit, etc. und den Abfluß beeinflußt.

Betrachtet man den gesamten Fluß, gelangt man konsequenter Weise zu einer schematisierten Darstellung eines Flußlängsprofils, vgl. Abb. 1. Ein solches Profil gibt bereits wertvolle Hinweise in Bezug auf die im Fluß ablaufenden dynamischen Vorgänge, welche vorwiegend durch ein ursprünglich natürlich vorgegebenes Gefälle in Fließrichtung, beispielsweise aus den Gletscherbewegungen der Eiszeiten, geprägt wurde. Durch das Gefälle des Flußbettes wird der für alle dynamischen Vorgänge wichtige Einfluß der Schwerkraft wirksam. Infolge der Gefälleveränderung in der Längserstreckung des Flusses ist der Schwerkrafteinfluß nicht überall gleichbleibend. Darüber hinaus sind auch wechselnde Gefälleveränderungen sowohl lokal als auch regional einflußnehmend auf die Strömungs- und Transportverhältnisse zu beobachten, vgl. Abb. 2.

Im **Oberlauf** des Flusses treten durch das starke Gefälle relativ große Schwerkrafteinflüsse auf. An den im Fluß bewegten flüssigen und festen Partikeln werden hierdurch starke Trägheitskräfte wirksam, wodurch vorwiegend Erosionsvorgänge hervorgerufen werden. Relativ große Mengen von Geschiebmaterial werden durch die Strömung aufgenommen und flußabwärts transportiert. Obwohl es lokal gesehen auch zu abwechselnden Erscheinungen von Erosion und Sedimentation kommen kann, überwiegt insgesamt die Erosion, d.h. es wird mehr Material abtransportiert als sedimentiert. Eine ständige Eintiefung des Flußbettes und Gefälleausgleich sind die Folge.

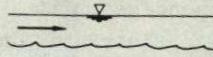
Der Oberlauf eines Flusses wird besonders durch die Furkation geprägt, wobei es zur Bildung unregelmäßiger Ufer und vielfältiger Stromverzweigungen mit Inselbildung kommt. Besonders ausgeprägt war dieses Erscheinungsbild im Bereich des Oberrhein vor der Tullaschen Korrektur, vgl. [1], [2].

Der **Mittellauf** des Flusses ist derjenige Bereich, in welchem sich näherungsweise der Gleichgewichtszustand des Geschiebetransports einstellt. Er ist bezogen auf die Menge der hinein- und hinaustransportierten Feststoffmengen pro Zeiteinheit, die im langzeitigen Mittel die gleichen Größen annehmen. Trotz dieses Quasi-Gleichgewichtszustandes werden infolge der dreidimensionalen Strömungsstruktur im Fluß sogenannte Strömungsinstabilitäten erzeugt, die sich in Form von Schwingungen des Systems bemerkbar machen. Alternierende Bänke, Transportkörper, Mäanderbildung, etc. sind die Folge, vgl. Abb. 3 und (3), (4). Das Wechselspiel zwischen lokaler Erosion und Sedimentation kann hier beachtenswerte Größen annehmen. Lokal begrenzte Kolke und die Bildung von Sandbänken sind die Folge.

Im **Unterlauf** des Flusses sind wegen eines relativ geringen Gefälles und damit eines relativ geringen Schwerkrafteinflusses stark abgeminderte Fließgeschwindigkeiten vorhanden. Die Trägheitskräfte auf die bewegten Wasserpartikelchen sind relativ klein und es kommt so zu Ablagerungsvorgängen, die teilweise auch zu grösseren Auflandungen führen können. Lokal begrenzte Seiten- und Tiefenerosionsvorgänge sind die Folge, weswegen die Tendenz zur Bildung von Verzweigungen besteht.

So gesehen kann ein Fluß als eine Feststoffspeicher-Kaskade angesehen werden, wobei die einzelnen speicherfähigen Volumina durch einen dauernden Wechsel von nicht gleichmäßigen Füll- und Entleerungsphasen gekennzeichnet sind. Innerhalb dieser Speicherabschnitte nimmt das Flußbett eine unterschiedliche Gestalt an und reagiert je nach den Randbedingungen und den wirksamen Trägheitskräften mehr oder weniger empfindlich auf jede künstliche oder natürliche Änderung der Abflußdynamik.

(A)



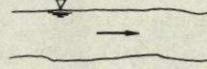
I Riffeln  $Fr = v/\sqrt{gR_S} \ll 1$   
 ( $R_S$  = hydraulischer Radius  
 der geschiebeführenden Sohle)



II Dünen (kurze Bänke)  
 mit Riffeln überlagert



III Dünen  $Fr < 1$ , größer und  
 unregelmäßiger als in II



IV Dünen werden mit zunehmender  
 Geschwindigkeit zu **langen Bänken**  
 $Fr < 1$ ; Übergang zu flacher Sohle



V stehende Wellen  $Fr > 1$



VI Antidünen  $Fr > 1$   
 Oberflächenwellen brechen

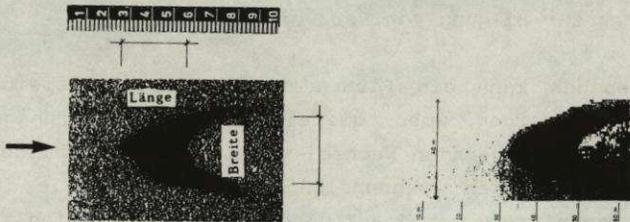
Typischer Ansatz für die Transportkörperhöhe  $\Delta h_{TP}$ :

$$\frac{H}{h} = f\left(\frac{\tau_0}{\tau_{0c}}\right)$$

(B)

Modell

Natur



(A) Transportkörperformen in Abhängigkeit der  
 Strömungsverhältnisse

(B) Vergleichende Darstellung eines Transportkörpers  
 im Modell und in der Natur

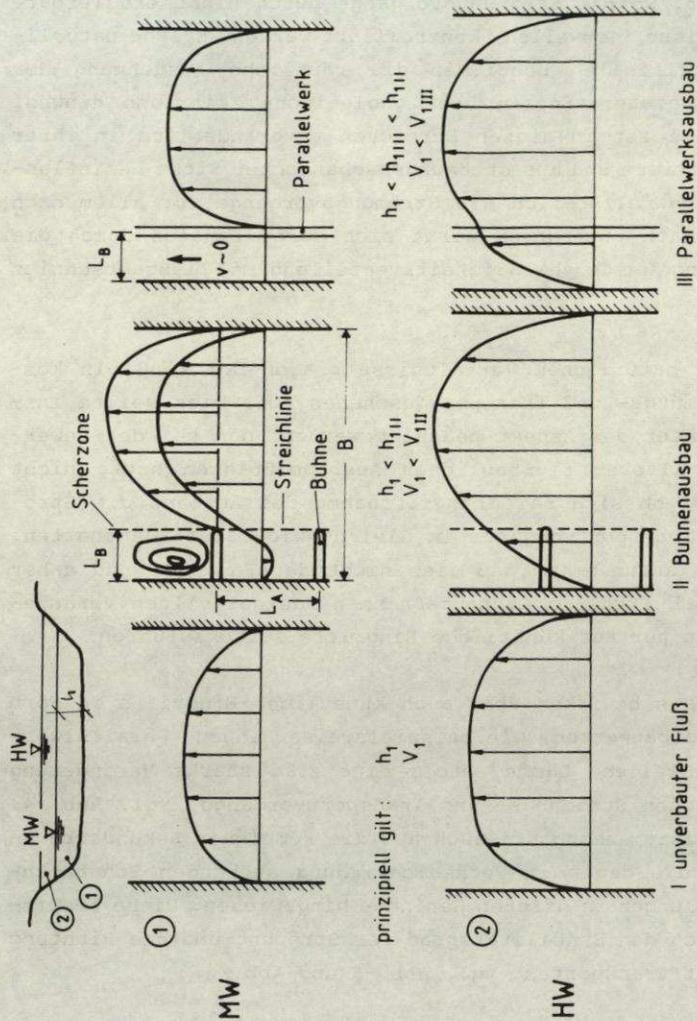
Abb. 3 Sohlbettformen

Die genannten einzelnen Kaskaden werden durch Flußabschnitte unterbrochen, wo die Strömungsvorgänge durch nicht erodierbare Felshindernisse (Schwellen) kontrolliert werden. Solche natürlichen Kontrollstellen bestimmen die räumliche Ausdehnung der einzelnen Speicherstrecken über geologische Zeiträume hinweg. Die Flußsohle ist in diesen Bereichen unveränderlich in ihrer Höhenlage fixiert und aus strömungsmechanischer Sicht beeinflussen diese Kontrollstellen die Strömungsvorgänge vor allem nach oberstrom. Nach unterstrom wirkt sich deren Einfluß durch die Beeinflussung der Geschwindigkeitsverteilung im Fließquerschnitt aus.

Bereits die natürlichen Verhältnisse prägen dem Fluß ein komplexes Strömungs- und Transportgeschehen auf. Dies sollte insbesondere unter dem Aspekt beachtet werden, daß bei der Bewertung meist älterer flußbaulicher Ausbaumaßnahmen heute nicht bekannt ist, ob sich bei Inangriffnahme des Ausbaus die Strömungs- und Transportvorgänge im Gleichgewicht befunden hatten. Es ist eher anzunehmen, daß dies nicht der Fall war und daher sind die nach früheren Ausbaumaßnahmen festgestellten Veränderungen nicht nur auf künstliche Eingriffe zurückzuführen.

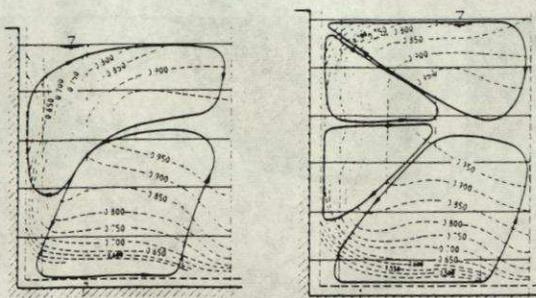
Darüber hinaus bewirken aber auch künstliche Eingriffe in Form von **Flußregelbauwerken**, wie beispielsweise Buhnen, Parallelwerke, Grundswellen, Dämme, etc., eine z.T. starke Veränderung der natürlichen Strömungs- und Transportvorgänge, vgl. Abb. 4. In diesem Zusammenhang sei auch auf die komplexen Sekundärbewegungen und die damit in Wechselbeziehung stehenden Schubspannungsverteilungen in offenen Gerinnen hingewiesen. Diese bestimmen letztlich den Stabilitätsgrad der Strömung und die Richtung des Feststofftransportes, vgl. Abb. 5 und Abb. 6.

Leider werden bekannte Zusammenhänge über die Beeinflussung der Transportrichtung infolge des Sekundärströmungseinflusses bei der Bemessung wasserbaulicher Maßnahmen viel zu wenig berücksichtigt. Ohne auf die physikalischen Hintergründe vertiefend einzugehen sei auf die experimentellen Untersuchungen von Dr.-Ing. Hermann Bulle (5) im Jahre 1926 hingewiesen.



Eine direkte Anwendung bekannter Abfluß- und Strömungsgleichungen ist bei der Bemessung von Flußregelungsmaßnahmen nicht möglich. Denn in rauheits- und querschnittsgegliederten natürlichen Flüssen sind keine explizit quantifizierbaren Geschwindigkeits- und Schubspannungsverhältnisse vorhanden.

Abb. 4 Charakteristische tiefengemittelte Geschwindigkeitsverteilung an Flußregelbauwerken



— Einflußbereich der Sohlrauhheit —

- Dimensionslose Isotachen  $V/V_{max}$  in langen geraden Rechteckgerinnen / schematisierter Verlauf der Sekundärwalzen
- Veränderungen der Isotachen infolge Änderung des Abflusses

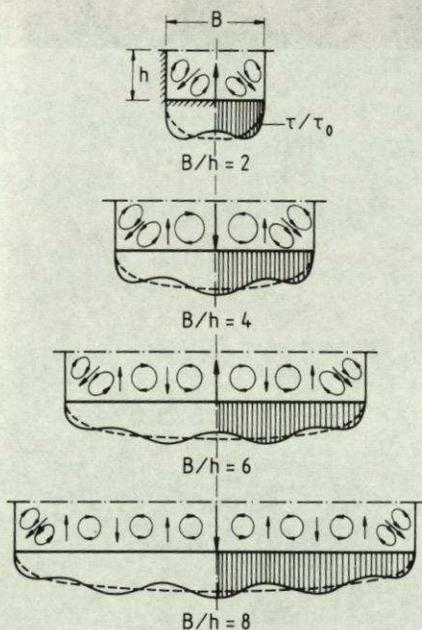


Abb. 5 Schubspannungsverteilung und Sekundärbewegung in Rechteckgerinnen



An Gerinneverzweigungen demonstrierte er die beeindruckende Wirkung des Sekundärströmungseinflusses auf den Geschiebetransport. Bei einer Abflubaufteilung von je 50 % auf dem geradeausführenden Gerinnearm und den unter verschiedenen Winkeln abzweigenden Seitenarm, wurde in allen Fällen mehr als 80 % des Feststoffmaterials in den Abzweig geleitet. Diese sowie die Vorgänge bei Kalk-, Sandbank-, Transportkörperbildung etc. bedürfen allesamt weiterer systematischen Untersuchungen, da diese Vorgänge unter besonderer Berücksichtigung ökologischer Parameter eine besondere Rolle spielen.

Bei künstlichen Eingriffen durch Flußregelbauwerke wird die Eigenschaft des strömenden Abflusses ausgenutzt, daß sich die durch die Bauwerkseinflüsse gebildeten Störwellen nach allen Seiten ausbreiten. Hierdurch entsteht bei einem quasistationären Abfluß eine Veränderung des Wasserspiegelverlaufes, der vor allem in Richtung oberstrom durch den Bauwerkseinfluß im Zusammenwirken mit den vorhandenen Rauheits- und Formwiderständen im Flußbett bestimmt wird. Die Beeinflussung der Strömungsvorgänge ist besonders dadurch charakterisiert, daß die Strömung nach unterstrom ohne un stetigen Wechsel der Wasserstandshöhen erfolgt. Entsprechendes gilt für den Feststofftransport. Das Wechselspiel von Erosion- und Sedimentation kann jedoch infolge veränderter Strömungsvorgänge, besonders durch die Zunahme der Fließgeschwindigkeiten, stark verändert werden.

Im Unterschied dazu wird bei Wasserbauwerken (Stauanlagen) die Wasserspiegellage un stetig verändert, was durch den Höhenunterschied zwischen dem Ober- und Unterwasser an diesen Bauwerken sichtbar ist. Im Unterschied zu den Flußregelbauwerken ist hierbei auch der Geschiebetransport un stetig unterbrochen. So kommt es generell in der Stauhaltung zur Anlandung von Feststoffen (Geschiebe und Schwebstoffe), was bei Flußregelbauwerken nur lokal begrenzt in Erscheinung tritt, wie beispielsweise die Anlandungen in Bühnenfeldern oder hinter Parallelwerken. Im Unterwasser muß gegebenenfalls mit einer fortgesetzten Erosion der Flußsohle in Längsrichtung gerechnet werden.

Beispielsweise führt im Oberbereich diese Erosionstendenz dazu, daß im zeitlichen Abstand von ca. 4 Jahren jeweils eine weitere Staustufe im Unterwasser der vorher gebauten errichtet werden mußte, um derartigen Erosionstendenzen entgegenzuwirken, vgl. (6). Die Aneinanderreihung von Staustufen hat u.a. die Grenze dort, wo mit Abnahme des Sohlgefälles eine starke Breitenzunahme der Flußvorländer auftritt. Der Staustufenbau erfordert dort erhebliche Umfassungen durch Dämme, die in Stadtnähe u.a. ein Sicherheitsrisiko sind. Solche und andere Gründe führten beispielsweise dazu, daß im Unterwasserbereich der Staustufe Ifezheim die Sohlenstabilität nicht durch den Bau einer weiteren Staustufe, sondern durch eine seit mehr als anderthalb Jahrzehnten erfolgreich praktizierte Geschiebezugabe (7) aufrechterhalten wird.

Eine fachliche Diskussion über Staustufen zu führen erfordert weit mehr, als in diesem Rahmen möglich ist. Neben der Verbesserung der Schifffahrtsverhältnisse, ist die Nutzung der Wassermenge meist ausschlaggebend für den Bau einer Staustufe, mit einem relativ großen Wasserspiegelhöhenunterschied zwischen Ober- und Unterwasser. Besonders stark umstritten sind Staustufen, wenn argumentiert wird, die Sohlenstabilität eines Flusses damit verbessern zu wollen. Neben starken Einschränkungen der Wasserspiegelwechsel im Oberwasser, führt dort die Abminderung der Sohlschubspannungen zum Effekt der Stauraumverladung. Für den Einzelfall müssen diese und andere Parameter (u.a. umweltrelevante Parameter) einer sorgfältigen Analyse unterzogen werden.

## **2. Zielstellungen wasserbaulicher Maßnahmen**

Es wurden wasserbauliche Maßnahmen diskutiert, durch welche die natürlichen Strömungs- und Transportvorgänge veränderbar sind. Generell folgen alle derartige Maßnahmen gewissen Zielstellungen, von denen nachfolgend einige wichtige genannt sind:

- Schadloose Abführung von Hochwasser und Eis,
- Fixierung und Schutz des Gewässerbettes im Bereich der Sohle und an den Uferrändern,

- Stabilisierung und Vergleichmäßigung der im Fluß ablaufenden Feststofftransportvorgänge,
- Stabilisierung der Grundwasserverhältnisse in den angrenzenden Grundwasserleitern,
- Gewährleistung der Sicherheit und Leichtigkeit der Schifffahrt,
- Schaffung von optimalen Nutzungsbedingungen für die Wasserkraft,
- wasserwirtschaftliche Gesichtspunkte, einschließlich Erhalt von Retentionsgebieten
- Gewährleistung ökologischer Forderungen zur Sicherung des Bestandes von Schutzgebieten bzw. Renaturierung und Rückgewinnung solcher Gebiete.

Von all diesen Zielen ist es auch heute noch eine vordringliche Aufgabe, durch eine Flußbaumaßnahme einen ausreichenden Schutz gegen Hochwasser zu gewährleisten. In diesem Sinne war der Bau von Dämmen bzw. Deichen früher eine Gemeinschaftsaufgabe, die der Deichordnung unterlag. Heute ist sie, wie u.a. auch der Ausbau der Flüsse für die Schifffahrt zur Gewährleistung der Sicherheit und Leichtigkeit, eine staatliche Aufgabe. Hierzu gehört auch das Vorhalten ausreichend bemessener Retentionsgebiete.

Die Nutzung der flußnahen Gebiete als Siedlungsgebiete und für die Landwirtschaft, die Nutzung des Flusses als Wasserstraße, die Energieerzeugung durch Wasserkraft etc. erfordern immer einen Eingriff in die natürlichen Strömungs- und Transportvorgänge. Entsprechend den menschlichen Gewohnheiten und Vorstellungen werden all diese technisch orientierten Zielstellungen durch ein schematisches und systematisches Vorgehen umgesetzt, unter Zugrundelegung stark vereinfachter physikalischer Abläufe. Bei einer vertiefenden Beschäftigung mit den hier ablaufenden Strömungs- und Transportvorgängen stellt man jedoch fest, daß eine Vielzahl von Einzelprozessen zusammenwirken, die einerseits schwer voneinander trennbar und damit oft einzeln gar nicht bewertbar sind und andererseits größtenteils physikalisch noch gar nicht ausreichend untersucht wurden.

Dies beziehe ich vornehmlich auf

- die Annahme stationärer, quasi gleichförmiger Abflußbedingungen im Fluß, d.h. die tatsächlichen hydrologischen Einwirkungen werden stark vereinfacht und
- auf die Annahme, daß durch flußbauliche Maßnahmen eine dauerhafte Flußbettstabilisierung herbeigeführt werden könnte.

Obwohl die Kenntnis der bewirkten Veränderungen der stationären Strömungsverhältnisse (Wasserspiegellagen, Strömungsgeschwindigkeiten, etc.) für die Bewertung der wasserbaulichen Maßnahme von Bedeutung ist, sollte bedacht werden, daß es längerfristig gesehen auch zu einer Verschiebung des vorher vorhandenen Gleichgewichtsgrades der Flußbettstabilität kommen wird. Weder im natürlichen Zustand noch im Ausbauzustand kann ein Fluß längerfristig als in einem Gleichgewichtszustand befindlich charakterisiert werden. Es sei denn, man betrachtet den Betonkanal, der jedoch hier nicht diskutiert wird.

Bei der Durchführung von wasserbaulichen Maßnahmen im Fluß werden wir darüber hinaus sukzessiv mit dem wichtigen Grundprinzip konfrontiert, daß eine einmal begonnene Regelung in einem Fluß in einem zunächst begrenzten Abschnitt nach einiger Zeit und über weite Strecken hinweg fortgeführt werden muß (vgl. Ober-rheinausbau, Kap. 1). Dies deshalb, weil jeder künstliche Eingriff in ein Flußregime sukzessiv und längerfristig Veränderungen der Strömungs- und Transportvorgänge verursacht. Dies erfordert lokal gesehen eine Unterhaltung der Regelmaßnahmen und regional gesehen eine ständige Beobachtung, wie sich der Fluß nach künstlichen Eingriffen nach unterstrom verändert. Alle Arbeiten im Zusammenhang mit einer Regelmaßnahme wären sinnlos gewesen, wenn man diese nur als lokal begrenzt ansehen würde. Das hier angesprochene Prinzip besteht anders ausgedrückt darin, den Fluß immer in seiner Gesamtheit betrachten und analysieren zu müssen. Die, vor allen Dingen im letzten Jahrhundert begonnenen, massiven Eingriffe in das Abfluß- und Transportgeschehen der Flüsse zeigen bis heute ihre Auswirkungen.

In einigen Fällen müssen wasserbauliche Ausgleichsmaßnahmen in gewissen Zeitabschnitten fortlaufend durchgeführt werden.

Die Vorgeschichte einer Flußbettentwicklung ist, zumindest lokal gesehen, meistens unbekannt. Denn quantifizierende Naturuntersuchungen können erst seit wenigen Jahrzehnten in systematischer Weise durchgeführt werden und Datenaufnahme, -speicherung und -verarbeitung sind erst in jüngerer Zeit durch stark erweiterte Rechnerkapazitäten möglich geworden. Diesem Prinzip folgend, werden beispielsweise an allen Verkehrswasserstraßen im Mindestabstand von 5 Jahren Querprofilaufnahmen der Flüsse im Abstand von 100 m regelmäßig durchgeführt und auf einem Großrechner zentral abgespeichert. Parallel werden dabei auch die Strömungs- und Transporteigenschaften eines Flusses quantifiziert. Erst hierdurch wird längerfristig gesehen eine systematisierte Betrachtung der Veränderungen der Strömungs- und Transportvorgänge in einem Fluß möglich.

### **3 Veränderungen der Sohlen- und Wasserspiegellagen in der Elbe**

#### **3.1 "Regulierungswasserstand" 1929 (RW 29)**

Nachfolgend werden einige Festlegungen, die mit Flußregelungsmaßnahmen in der Elbe in Verbindung standen, diskutiert, vgl. (8).

Im Bild 5\* sind das Einzugsgebiet der Elbe sowie die wichtigsten Pegel an der Elbe dargestellt.

Der Ausbau der Elbe erfolgte auf sächsischem Gebiet bis zum Jahre 1992 in Form eines Mittelwasserausbaus (über Mittelwasser hochgeführte Deckwerke und Baggerungen).

\* am Ende des Bandes

Unterhalb der sächsischen-preußischen Landesgrenze, Elbe-km 120,8, begann man mit dem Mittelwasserausbau, nachdem 1866 die preußische Regierung die Elbstrom-Ausbauverwaltung mit ihrem Sitz in Magdeburg gegründet hatte, deren Geschäftsbereich von der sächsisch-preußischen Landesgrenze (Elbe-km 120,8) bis zur Seeve-Mündung (Elbe-km 404,9) reichte. Bis zum oberen Tidegebiet wurden Buhnen und oberhalb der Saale-Mündung Durchstiche ausgeführt.

Neben den bekanntermaßen starken Feststofftransportvorgängen in der Elbe gibt es unterhalb der Havel-Mündung auch Transportkörper, die im Zusammenhang mit Strombaumaßnahmen sehr ungünstige Randbedingungen verursachen.

Der Mittelwasserausbau der Elbe ergab eine wesentliche Verbesserung der Schifffahrts- und Vorflutverhältnisse, wegen des besseren Stabilitätsgrades der Sohlenverhältnisse. Dennoch waren die Wassertiefen insgesamt nicht ausreichend und bei niedrigsten Wasserständen betragen sie

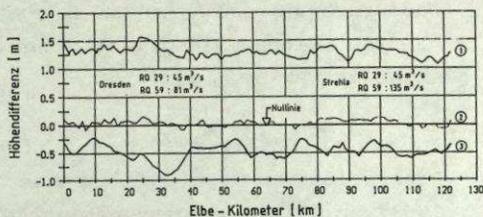
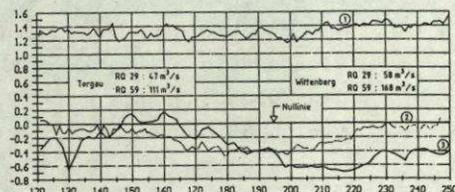
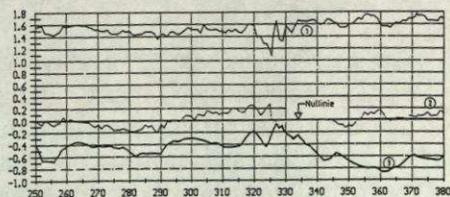
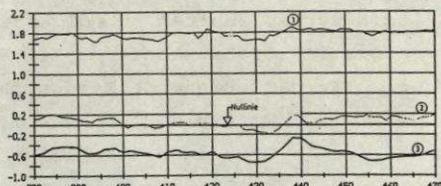
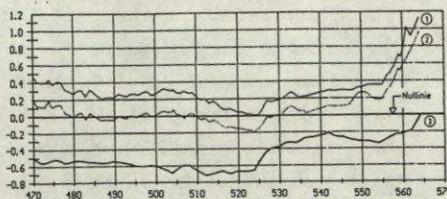
- oberhalb der Saale-Mündung 55 cm,
- zwischen Saale- und Havel-Mündung 80 cm,
- im Stadtgebiet Magdeburg 45 cm und
- unterhalb der Havel-Mündung 80 cm.

Dieser erste Mittelwasserausbau war 1910 weitgehend abgeschlossen. Nachdem die Trockenjahre 1904 und 1911 die Schifffahrt zum Erliegen gebracht hatten, stellte die preußische Elb-Strombauverwaltung einen Entwurf zum Niedrigwasserausbau auf; für die sächsische Strecke wurde dieser Entwurf 1913 erstellt. Er fand in einem Reichsgesetz Niederschlag, wobei Fahrwassertiefen bei NW 1904 oberhalb der Saale-Mündung mit einem Maß von 1,10 m und unterhalb davon 1,25 m erzielt werden sollten. Dieser ist jedoch niemals in vollem Umfang ausgeführt worden. Die Anforderungen der Schifffahrt an die Leistungsfähigkeit des Flusses wurden jedoch immer größer, so daß die Reichswasserstraßenverwaltung die Pläne des Entwurfs danach wieder aufgriff. Aufgrund der Erfahrungen wurde in den Jahren 1929-1931 eine vollständige Neubearbeitung der Niedrigwasserbauentwürfe für die Flachlandstrecke vorgenommen. Im Laufe dieser angesprochenen Jahre waren festzu-

stellende Veränderungen der Höhenlage der Elbsohle eingetreten, die ein Absinken der Wasserstände zur Folge hatten. Für die Aufstellung des Ausbautwurfs wurde deshalb nicht mit Wasserständen sondern mit Kleinst-Abflußmengen gerechnet. Diese Kleinst-Abflußmengen waren im Jahre 1904 festgestellt worden und wurden nun auf den Stromzustand des Jahres 1929 bezogen.

Sie betragen im sächsischen Bereich  $45 \text{ m}^3/\text{s}$ , unterhalb der Saale-Mündung  $99 \text{ m}^3/\text{s}$ , unterhalb der Havel-Mündung  $115 \text{ m}^3/\text{s}$  und erreichten  $134 \text{ m}^3/\text{s}$  bei der Seeve-Mündung. 1929 war wiederum ein trockenes Abflußjahr, in welchem jedoch der Abfluß immer noch über den oben angegebenen Kleinst-Abflußmengen lag. Der sich daraus ergebende kleinste Wasserstand erhielt die Bezeichnung "Regulierungswasserstand 1929 (RW 29)", vgl. Abb. 7.

Die grundlegenden Maßnahmen des Niedrigwasserausbaus bestanden in der Verbesserung der Streichlinienführung, der teilweisen Einschränkung der Mittelwasserbreiten und dem Ausbau des Niedrigwasserbettes durch Kopfschwellen. Auf der **sächsischen Strecke** kamen hauptsächlich Längsbauten (hohe und niedrige Deckwerke) und Grundswellen zur Ausführung. Aufgrund der seit Jahrzehnten erprobten Ausbaumethoden in Sachsen bestand keine Veranlassung, davon abzuweichen. Im Gegensatz zur **Flachlandstrecke**, wo das Hauptaugenmerk auf den Ausbau des Mittelwasserbettes gelegt wurde, kam diese Ausbaumethode in der **Gebirgsstrecke** nur in Ausnahmefällen in Betracht. Die in den einzelnen Abschnitten vorhandenen, relativ großen Gefälle sollten abgemindert werden und es wurde eine Fahrwasserbreite von 40 m für die sächsische Elbe angestrebt. Im Bereich starker Gefälle ergab sich eine Reduktion bis auf 31 m. Für das Niedrigwasserbett wurde bis hin zur Grenze zum Tidegebiet ein angenäherter Trapez-Querschnitt zugrundegelegt. Das Gefälle in der Flachlandstrecke war ausgeglichen, so daß grundlegende Änderungen nicht nötig waren, mit Ausnahme des Flußabschnittes im Bereich von Magdeburg, wo insbesondere der Herrenkrugfelsen und der Domfelsen starke Wasserspiegelneigungsänderungen bewirken. Durch die Verbesserung der Streichlinienführung sollten schroffe Krümmungswechsel und gerade Strecken beseitigt und Krümmungen abgeflacht werden. Die Richtlinien für die Ausbildung der Regulierungsstrecke waren in Leitsätzen (1935) angegeben worden. Sobald diese Leitsätze von den Entwürfen von 1931 und der Denkschrift von 1935 abwichen, sollten die Leitsätze maßgebend sein. Hierzu gibt es ein Ergänzungsheft aus dem Jahre 1940.



Darstellung von Wasserspiegeldifferenzen:

- ① WSP 10.05.89 - RW 59
- ② GIW 89\* - RW 59
- ③ RW 29 - RW 59

Abb. 7 Differenzlinien von Wasserspiegellagen

### 3.2 "Regulierungswasserstand 1959" (RW 59)

Wie bereits hingewiesen, blieb der Niedrigwasserausbau auf der Grundlage des RW 29 unvollendet. Jedoch waren auf vielen Elbstrecken bereits 1945 die schlechtesten Bereiche in ihrer Nutzung für die Schifffahrt verbessert worden. Die bald nach dem Krieg gewonnene Erkenntnis, daß das vorgesehene Ziel der Niedrigwasserregulierung nach den Leitsätzen 1935 nicht erreichbar sein würde, führten zu folgenden Festlegungen während der Leipziger Schifffahrtskonferenz im Jahre 1949:

- Zu garantierende Mindestfahrwassertiefen unter MNW:
  - km 0 bis Dresden = 1,3 m
  - Dresden bis km 121 = 1,4 m
  - km 121 bis Boitzenburg = 1,5 m
  - Ausnahme Felsenstrecke Magdeburg = 1,4 m.

Der Berechnung des Regulierungswasserstandes 1959 lag ein anderes Berechnungsverfahren als bei der Festlegung des RW 29 zugrunde. Es wurde die abflußarme Periode von September bis Oktober 1959 für die Ermittlung des RW 59 benutzt:

- Gleichmäßig niedriger Abfluß der Elbe von Schöna bis Boitzenburg,
- gleichmäßig hohe Verdunstung in der gesamten Elbestrecke,
- gleichmäßig niedriger Zufluß aus der Tschechoslowakei und den Nebenflüssen,
- gleichmäßiger Ausfluß bzw. Abgabe an das Grundwasser.

Es wurden insgesamt sieben Gleichwertslinien (gleichwertige Wasserstände) in Form von Beharrungswasserständen aus dem genannten Zeitraum ausgewählt. Das arithmetische Mittel aus ihnen ergab den RW 59, vgl. Abb. 7.

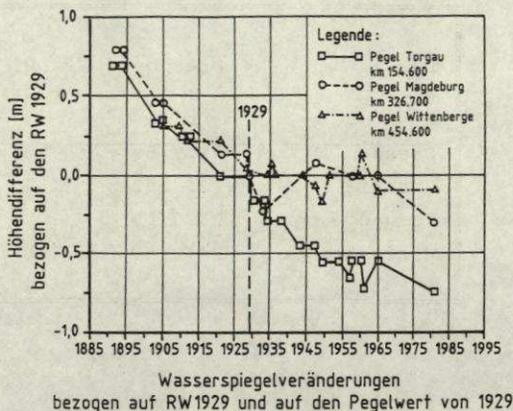
An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, daß eine eingehende Diskussion der Regulierungswasserstände RW 29 und RW 59 im Jahre 1963 von Glazik vorgenommen wurde, [9].

Abschließend ist zur Festlegung der Regulierungswasserstände zu sagen, daß beide nicht direkt vergleichbar sind.

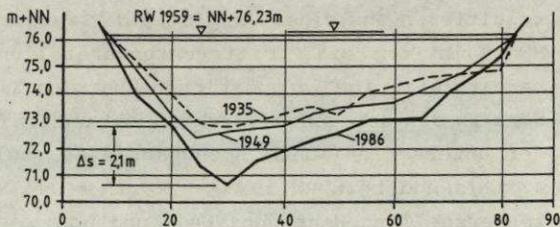
Mit der willkürlichen Wahl der absoluten Höhe bzw. der zugehörigen Abflüsse beim RW 59 wird das dem RW 29 zugrundeliegende Prinzip der Kleinstabflüsse verlassen. Wie die Tabelle zeigt, sind die dem RW 59 entsprechenden Abflüsse nahezu doppelt so groß wie beim RW 29.

Pegel	Dresden	W	Q	Q	RW 59
		a.P.		RW 29	a.P.
		cm	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	cm
Dresden	21.9.59	80	97,338	45	81
Strehla	22.9.59	134	94,972	45	135
Torgau	23.9.59	107	102,820	47	111
Wittenberg/L.	24.9.59	165	124,375	58	168

Entsprechendes ist zu beachten, wenn man die Differenz der Wasserspiegellagen der beiden Regulierungswasserstände betrachtet, vgl. Abb. 7. Trotz dieses Unterschiedes in den Abflußgrößen resultieren aus einem Vergleich der Wasserspiegellagen RW 59 und RW 29 in Form einer Differenzendarstellung (RW 29 minus RW 59) bereits wichtige Informationen über den Zustand der Elbe. Besonders in den Bereichen oberhalb und unterhalb Torgau werden trotz der unterschiedlichen Bezugsabflüsse (beim RW 29 ---> RQ 29 = 47 m<sup>3</sup>/s und beim RW 59 ---> RQ 29 = 111 m<sup>3</sup>/s) in der Differenzendarstellung Werte bei Null und positive Werte erhalten. Dies ist ein markanter Hinweis auf die starken Erosionsvorgänge in der Elbe, die auch durch die Pegelauswertungen in Abb. 8 bestätigt werden.



Profil km 153.910



Entwicklung der Sohlerosion der ELBE am Beispiel des Querprofils km 153.910 (Torgau)

Abb. 8 Elbeerrosion bei Torgau, Magdeburg und Wittenberge

### 3.3 Veränderungen in der Elbe

Die zuvor gemachten Angaben zeigen, daß die Elbe starken Veränderungen in den Sohlen- und Wasserspiegellagen unterworfen ist. Im Bericht der BAW vom Dezember 1991 zum Thema "Entwicklung der Mittel- und Niedrigwasserstände der Elbe seit Festlegung des Regulierungswasserstandes 1959, Elbe-km 0 bis 550" [6] werden die Wasserspiegel- bzw. Sohlenänderung in Form von Ganglinien für die Pegelstellen sowie in Form von Längsschnitten für die gesamte Stromstrecke quantifiziert, vgl. Abb. 8-10. Die Analyse der Daten basiert auf Material, das vor 1990 erhoben wurde. Dieser Hinweis ist von Bedeutung, da gewiß weitere, fortgesetzte Naturdatenerhebungen durchaus in nicht allen Bereichen zu den gleichen Ergebnissen führen werden. Dennoch ist die Tendenz, die durch dieses Datenmaterial zum Ausdruck gebracht wird, in den allermeisten Fällen eindeutig und bedarf lediglich in solchen Bereichen, wo wenig Daten zur Verfügung standen, gewisser Ergänzungen.

Die Untersuchungen zeigen, daß bereits aus der Feststoffanalyse des Sohlenmaterials (Geschiebe) für die Elbe wertvolle Aufschlüsse für die Klärung flußmorphologischer Zusammenhänge und damit Bewertungsgrundlagen für künftige wasserbauliche Maßnahmen zu gewinnen sind, vgl. Abb. 11-14. Daraus lassen sich für den Zeitraum von 1929 bis 1959 global über lange Strecken hinweg folgende Einschätzungen abgeben:

- Staatsgrenze bis ehemalige sächsisch-preußische Landesgrenze, km 0 - 121,8; **Oberlauf** mit relativ grobem Geschiebematerial, der mit Deckwerken ausgebaut ist. Eine annähernd stabile Sohlenlage ist vorhanden und die seit dem vorigen Jahrhundert an den Pegelstellen beobachteten Absenkungen stabilisieren sich.
- Die Absenkungen zwischen km 123 und km 143 sind in den Jahren 1935 bis 1959 zum Stillstand gekommen.

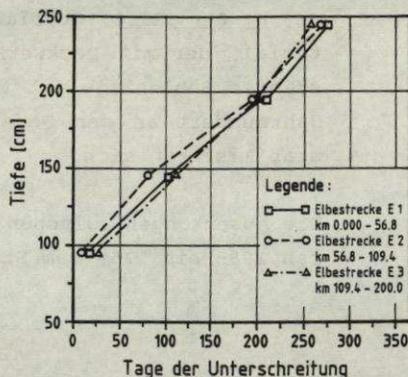
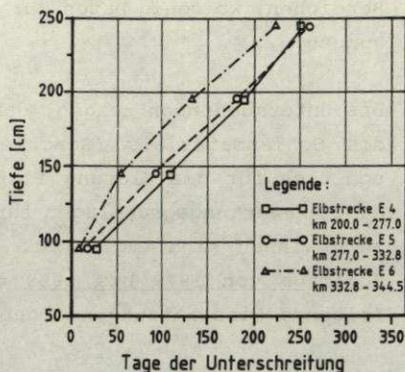
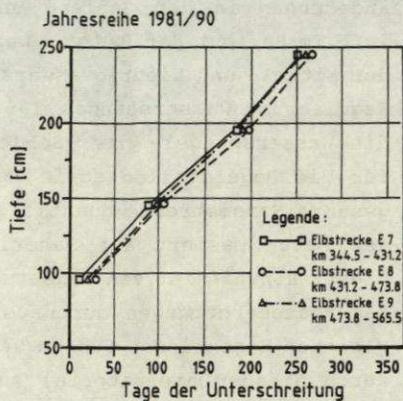


Abb. 9 Aus hydrologischen Daten rückgerechnete Dauerlinien der Wassertiefen

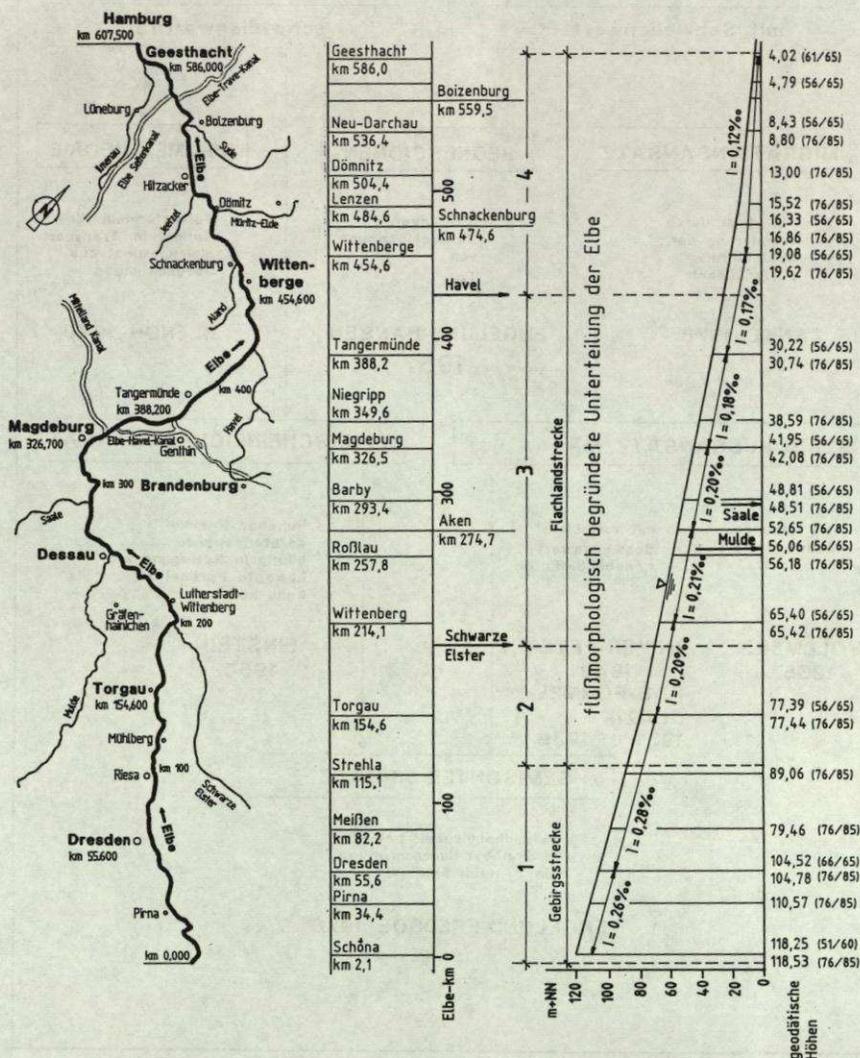


Abb. 10 Mittelwasserspiegellängsschnitt der Elbe

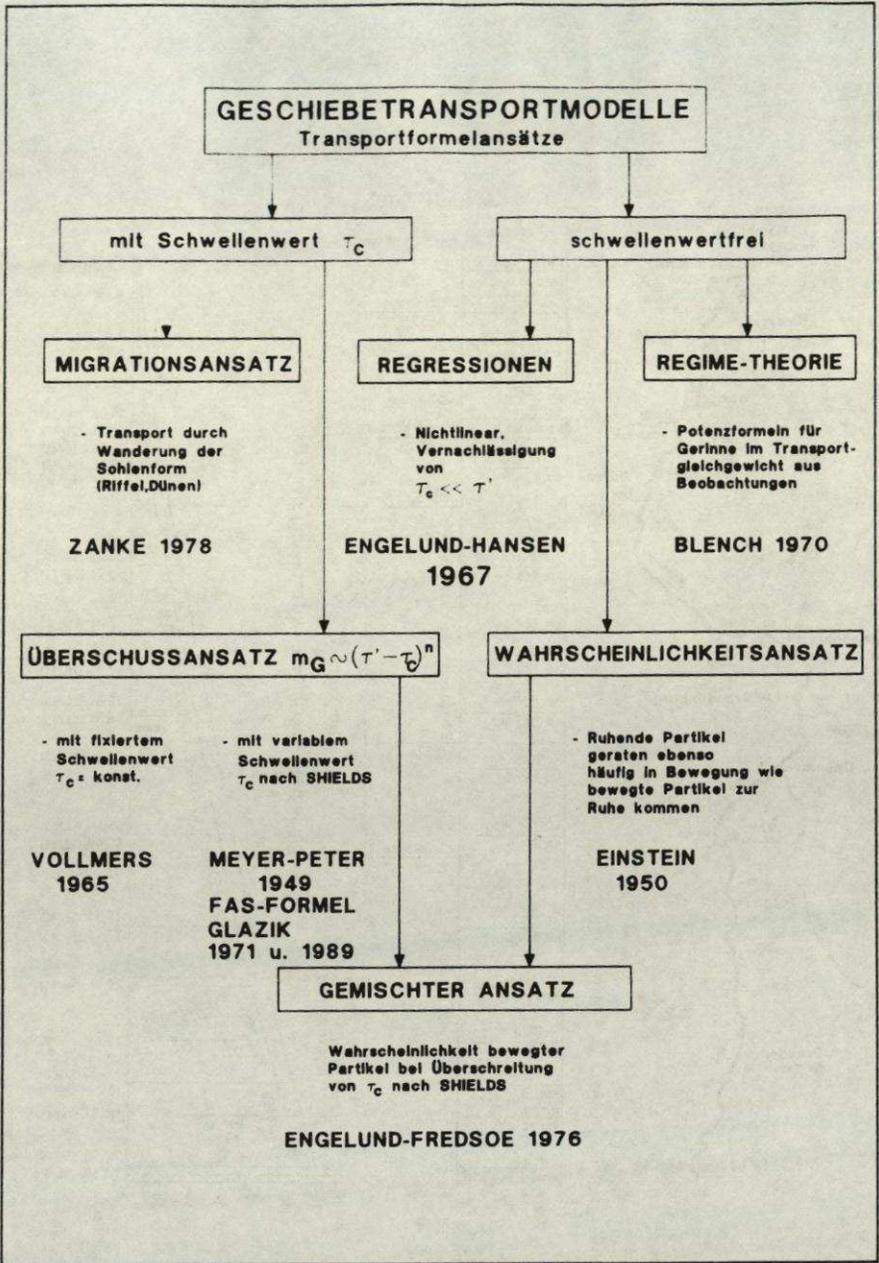


Abb. 11 Stationäre Geschiebetransportformeln



### Elbe-km

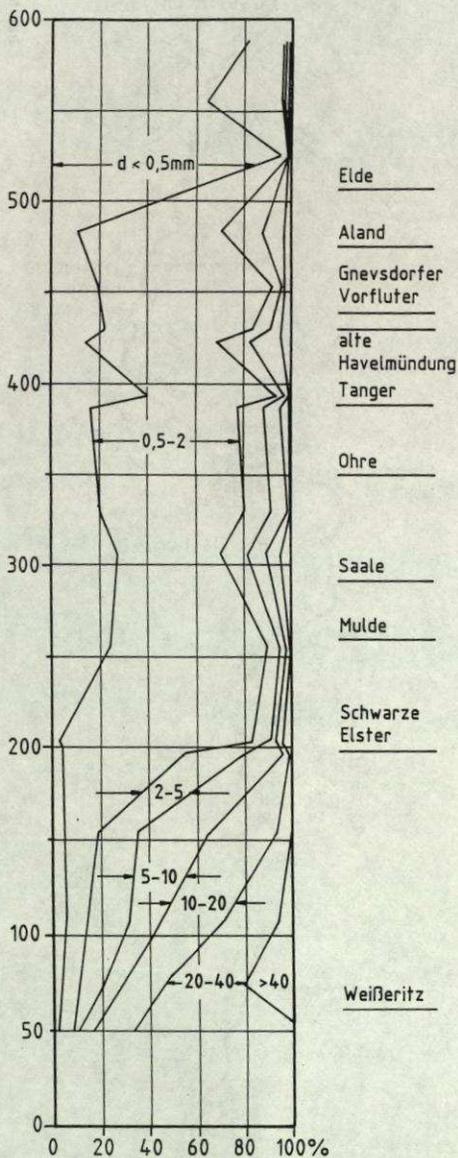


Abb. 12 Kornverteilungsband der Elbe, Erhebungsstand vor 1990

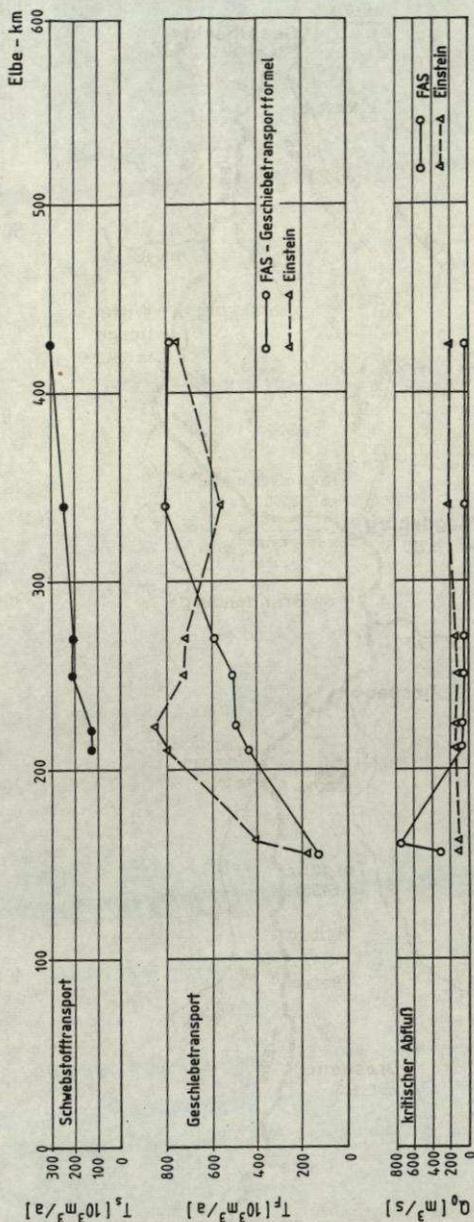


Abb. 13 Jährliche Feststofftransportmengen der Elbe

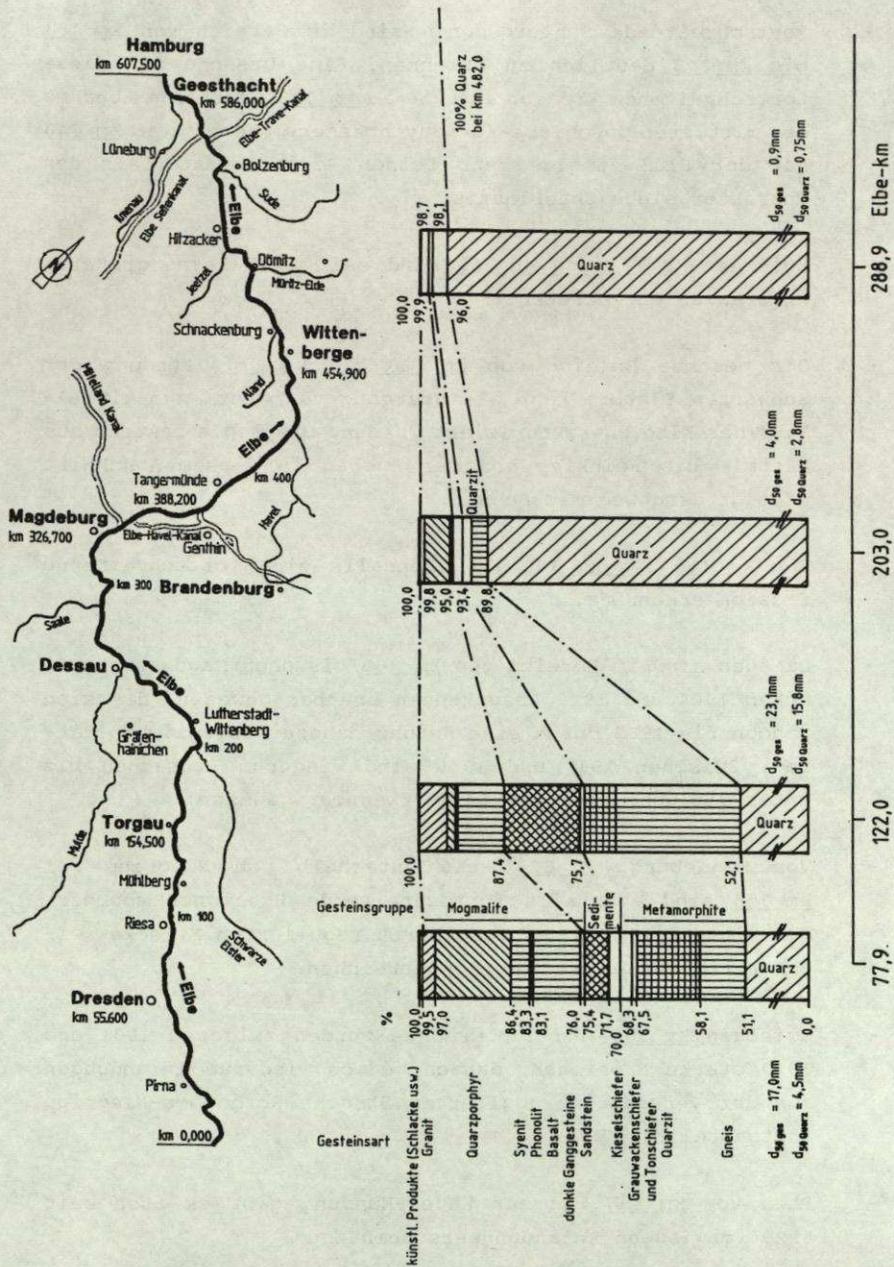


Abb. 14 Petrographischer Längsschnitt der Elbe

- Fortschreitende Sohlerosionen sind im Bereich von km 183 bis km 245 deutlich zu erkennen. Eine Ursache für diese fortschreitende Erosion ist die ab km 123 deutliche Abnahme des mittleren Geschiebe-Korndurchmessers. Bereits ab km 140 hat der Fluß infolge sehr feinen Geschiebematerials den Charakter eines Unterlaufes.
- Zwischen km 183 und km 245 sind seit 1935 keine größeren Änderungen eingetreten.
- Der gesamte Bereich von km 120 bis km 200 (Mündung der Schwarzen Elster) kann als Übergang vom Ober- zum **Mittel-**lauf der Elbe charakterisiert werden. Die Sohle besteht aus Mittel- bis Feinkies und der Ausbau in diesem Abschnitt erfolgt durchweg mit Bühnen.
- Von km 245 bis km 300 ist ebenfalls eine fortschreitende Erosion erkennbar.
- Dagegen sind im Bereich von km 300 bis nach Magdeburg zwischen 1904 und 1929 Absenkungen spürbar gewesen, die sich jedoch bis 1935 durch eine Hebung nahezu ausgeglichen hatten. Zwischen 1935 und 1959 sind wiederum Erosionen bis unter die Höhenlage von 1929 erkennbar gewesen.
- Von Magdeburg, km 325, bis unterhalb von Niegripp bei km 355 sind ebenfalls fortschreitende Erosionen spürbar, die ein Maximum in der verschärft regulierten Strecke zwischen Rothensee und Niegripp erreichen.
- Zwischen km 355 und Tangermünde wurden zwischen 1904 und 1929 starke Erosionen, danach jedoch wiederum Anlandungen aus der verschärft regulierten Strecke Rothensee-Niegripp festgestellt.
- Etwa von km 405 bis zur Havel-Mündung gibt es auch seit 1929 vorwiegend Anlandungserscheinungen.

- Unterhalb der Havel-Mündung, insbesondere ab Lenzen, dominierte in der Zeit von 1904 bis 1929 die Erosion, jedoch in der Zeit von 1929 bis 1935 wiederum die Anlandung. Ab 1943 zeigten sich dann wieder Erosionserscheinungen, die unterhalb km 525 erhebliche Ausmaße annehmen.
- In der Strecke km 475 bis km 540 sind in der Zeit von 1943 bis 1959 kaum Veränderungen eingetreten.

Für den Zeitraum von 1959 bis 1990 lassen sich aus den Ermittlungen der Veränderungen der Wasserspiegel- und Sohlenlagen ergänzende Aussagen treffen:

- Die Gebirgsstrecke zwischen Schöna und Strehla ist weitgehend stabil. Das Wechselspiel zwischen lokal begrenzten Erosions- und Sedimentationsvorgängen ist weitgehend auf veränderte Abflußvorgänge zurückzuführen.
- Die Strecke unterhalb von Strehla bis etwa zur Saale-Mündung ist durch relativ starke Wasserstandsabsenkungen geprägt. Verursacht werden diese Absenkungen durch starke Erosionsvorgänge.
- Zwischen Barby und Havel-Mündung hingegen sind nur relativ geringe Wasserstandsänderungen eingetreten.
- Unterhalb der Havel-Mündung beginnt der **Unterlauf** und es besteht das Wechselspiel zwischen Erosions- und Anlandungserscheinungen. Erosionsvorgänge dominieren dabei und wegen des sehr feinen Sohlenmaterials kommt es entlang des Flußbettes zur Bildung von Transportkörpern.

Diese eher globalen Aussagen können nur durch detaillierte Naturuntersuchungen zum Strömungs- und Transportverhalten des Flusses und durch ergänzende hydrologische Erhebungen verbessert werden.

In den Betrachtungen sind darüber hinaus u.a. der Bereich Torgau und der Stadtbereich Magdeburg nicht näher vertieft. Hier ergeben sich aufgrund der vorhandenen Felsschwellen und lokal begrenzter, starker Wasserspiegeländerungen zusätzliche Probleme, die derzeit im Rahmen von Untersuchungen in der BAW quantifiziert werden.

#### **4. Qualitative Bewertung des Feststofftransportes**

Im sächsischen Bereich der Elbe, Oberlauf, besteht die Flußsohle aus Grobkies, der ggf. nur bei Hochwasserabflüssen, und wahrscheinlich dann auch nur partiell, bewegt wird. Die Bewegung des Materials erfolgt durchweg auf ebener Sohle. Zur Bildung von Transportkörpern kommt es nicht und die Höhenlage der Sohle bleibt annähernd gleich.

Im Flußabschnitt von der sächsischen Grenze bis zur Mündung der Schwarzen Elster findet der Übergang vom Ober- zum Mittellauf statt, vgl. Abb. 12. Das Sohlenmaterial nimmt sukzessive die Eigenschaft von Mittel- bis Feinkies an. Unterhalb von Mühlberg (km 128) ist das Transportvermögen des Flusses bereits so groß, daß bei Mittelwasser oder etwas darüberliegenden Wasserständen starke Transportvorgänge einsetzen. Zwischen Mühlberg und Wittenberg kommt es dann zu starken Erosionserscheinungen. Es bilden sich zunehmend Bettunebenheiten bis hin zu kurzen Bänken. Aus hydraulischer Sicht sind neben Oberflächenwiderständen infolge Kornrauheitstextur auch Formwiderstände infolge Sohlformen zu berücksichtigen.

Der eigentliche Mittellauf des Flusses beginnt unterhalb der Schwarzen Elster, ein ausgeprägter Flachlandfluß mit feinem Geschiebe. Die Sohle besteht nur noch aus Sand und die Bildung von Bettformen in Gestalt von Bänken und Dünen (Transportkörpern) verstärkt sich zunehmend.

Zwischen Elster- und Mulde-Mündung ist die Höhenlage der Sohle relativ stabil, was auf einen Quasi-Gleichgewichtszustand zwischen den von oberstrom aus der Erosionsstrecke hineintransportierten Feststoffmengen und den unterhalb der Mulde-Mündung herausttransportierten Massen zurückzuführen ist.

Durch den Wasserzufluß der Mulde, aber vor allem der Saale, wird das Geschiebetransportvermögen in der Elbe beträchtlich verstärkt. Dennoch ist in der daran anschließenden Strecke kaum Erosion spürbar, da offensichtlich auch hier ein Quasi-Gleichgewichtszustand vorhanden ist. Insbesondere auf dem Abschnitt Saale- und Havel-Mündung bleiben die Stabilitätsverhältnisse annähernd konstant und der Talweg im Fluß ist relativ lagestabil.

Unterhalb der Havel-Mündung (Unterlauf) ist das hier anstehende, vorwiegend aus Feinsand bestehende Sohlenmaterial bereits bei Mittelwasser in starker Bewegung und es bilden sich mehr und mehr Transportkörper in Form von Bänken und Dünen. Es muß damit gerechnet werden, daß mehr und mehr Sohlenmaterial als Suspension transportiert wird. Infolge der Transportkörperbildung ist auch der Talweg im Fluß lageinstabil und einer ständigen Richtungsänderung unterworfen.

Aus dem Wechsel zwischen Erosions- und Sedimentationsvorgängen wird deutlich, daß die Elbe im heutigen Zustand in vielen Bereichen weit von einem Gleichgewichtszustand entfernt ist. Fortgesetzte, systematische Naturuntersuchungen zum Feststofftransport und der Flußgeometrie sind dringend erforderlich.

Von entscheidendem Einfluß auf die Stabilität der Elbsohle ist die Entwicklung der Korngrößen von ober- nach unterstrom. Charakteristisch für die Elbe ist, daß die Änderung der Korngrößenverteilungen unstetig erfolgt. Wie bereits erwähnt, wirken sich Korngrößenänderungen unterhalb der Schwarzen Elster nur noch geringfügig auf das Gesamtbild aus.

Die jetzt auf der oberen sächsischen Strecke zu verzeichnende Abpflasterung der Flußsohle ist begründbar durch den dort erfolgten Sohlenverbau. Daß sich das Ende dieser Strecke nicht unmittelbar mit dem Knick in der Korngrößenverteilung deckt, ist eher auf die petrografische Zusammensetzung der Feststoffe zurückzuführen, vgl. Abb. 14.

Die relativ plötzliche Abnahme der Sohlenstabilität hat ihre Ursache in der unterhalb von Mühlberg eintretenden Sohlenerosion. Da von oberhalb infolge der dort abgepflasterten Sohle keine nennenswerte Geschiebezufuhr erfolgt (Abb. 13), wird die Sättigung des Geschiebetransportvermögens des Flusses durch erodiertes Material aus seinem Bett gedeckt. Somit kann die Sohlenerosion auch als Ursache des Defizits der herantransportierten Feststoffmassen angesehen werden. Sicherlich sind hierfür aber auch noch andere Gründe, wie beispielsweise die eiszeitliche Entwicklung des Elbtales, zu nennen und zu vertiefen, [9].

## 5. Wasserbauliche Maßnahmen

Wasserbauliche Maßnahmen zur Verbesserung der Schifffahrtsverhältnisse aber auch zum Erhalt der Wasserspiegellagen bzw. der Stabilisierung der Grundwasserspiegel müssen die derzeitigen flußmorphologischen Bedingungen genügend berücksichtigen. Zu beachten ist aber auch, daß eben wegen der gravierenden Erosionsvorgänge in der Elbe wasserbauliche Maßnahmen unbedingt erforderlich sind, da durch die fortschreitende Erosion die Wasserspiegellagen und die Grundwasserspiegellagen fortlaufend abgesenkt werden. Was die Schifffahrt betrifft, ist zu betonen, daß seitens des Bundesverkehrsministeriums keine Vorhaben verfolgt werden, die eine Kanalisierung der Elbe vorsehen. Dies wäre aufgrund des Verkehrsaufkommens und auch aus ökologischen Gründen nicht vertretbar.

Verkehrswasserbauliche Lösungen zur Verbesserung der Sicherheit und Leichtigkeit der Schifffahrt können nur erhalten werden, indem technische, ökonomische und ökologische Randbedingungen gemeinsam bewertet werden. Die Elbe sollte in den größten Bereichen als freifließender Fluß erhalten bleiben. Dennoch ist eingehend darauf hinzuweisen, daß wasserbauliche Maßnahmen in Form von Flußregelbauwerken in den Bereichen mit starker Sohlenerosionstendenz keine Lösung zur Verbesserung der Sohlenstabilität sind. Denn, dem Prinzip von Flußregelbauwerken folgend, werden durch sie zur Anhebung der Wasserspiegellage die Abflußquerschnitte eingeengt. Eine weitere Einengung der Abflußquerschnitte würde aber auch die mittleren Fließgeschwindigkeiten und somit die Tendenz zur weitergehenden Erosion verstärken. Daher müssen auch für besonders kritische Bereiche wasserbauliche Maßnahmen angedacht werden, die eine Wasserspiegelstützung ohne eine Erhöhung der Fließgeschwindigkeiten erzeugen.

So ist es gewiß prinzipiell richtig, wenn verschiedentlich festgestellt wird, daß die Sohlenerosion nur durch den Bau von einigen Staustufen gestoppt werden kann. Im Bereich der Elbe kann es sich hierbei nicht um Maßnahmen handeln, die einen Stau ständig aufrechterhalten. Denn das würde zu weiteren Problemen, wie Verlandung der Stauhaltungen und verstärkte Sohlenerosion unterhalb der Stauhaltungen, führen. Daher werden Maßnahmen angedacht, die einen Stau ggf. nur lokal und zeitlich begrenzt (beispielsweise bei lang anhaltenden Niedrigwässern, etc.) herbeiführen. Denn im Interesse der Schifffahrt könnte beispielsweise auch ein Konzept verfolgt werden, das Wasserspiegelanhebungen nur bei niedrigen Abflüssen vorsieht.

Zur weiteren Planung solcher wasserbaulichen Maßnahmen unter Berücksichtigung der Randbedingungen aus Technik, Ökonomie und Ökologie werden derzeit umfangreiche Untersuchungen, u.a. in der Bundesanstalt für Wasserbau, vorbereitet bzw. bereits durchgeführt.

Diese betreffen zunächst die Bereiche:

- Elbestrecke Magdeburg von km 320-340
- Elbstrecke im Bereich von Torgau bei km 150
- Elbstrecke Dresden im Bereich von km 55.

Aufgrund der im Wasserbau an anderen Flüssen gesammelten Erfahrungen im Hinblick auf die Verbesserung der Sicherheit und Leichtigkeit der Schifffahrt und aufgrund von weiterentwickelten Meßmethoden im Wasserbau, werden für die Elbe schrittweise

- Voruntersuchungen durchgeführt, um den Ist-Zustand zu erfassen und
- Variantenuntersuchungen durchgeführt, um die Möglichkeiten und Grenzen flußbaulicher Maßnahmen zur ermitteln. Dies mit dem Ziel, um einerseits mögliche Wasserspiegelanhebungen festzustellen und andererseits Fragestellungen zur Sohlenstabilität zu bearbeiten. Die Untersuchungen werden daneben ganz besonders die Parameter aus Umwelt und Ökologie berücksichtigen, da die Elbe eine besonders sensible Flußbettmorphologie aufweist. Wie bereits in den Abb. 15 und 16 dargestellt, spielen an der Elbe neben den Feststofftransportvorgängen auch die Strömungsvorgänge an den markanten Stellen wie dem Torgauer Felsen, dem Domfelsen, dem Herrenkrugfelsen etc. eine besondere Rolle im Hinblick auf die Nutzung der Elbe als Wasserstraße. Die wasserbaulichen Untersuchungen zielen daher darauf ab, neben einer möglichen Verbesserung der Sicherheit und Leichtigkeit der Schifffahrt, auch die Sohlenstabilität in besonderem Maße zu berücksichtigen. Hierfür sind mögliche bzw. denkbare wasserbauliche Maßnahmen in Abb. 17 skizziert, wobei neben den klassischen Strombaumaßnahmen wie Bühnen, Parallelwerke etc. auch Staustufen einbezogen sind.

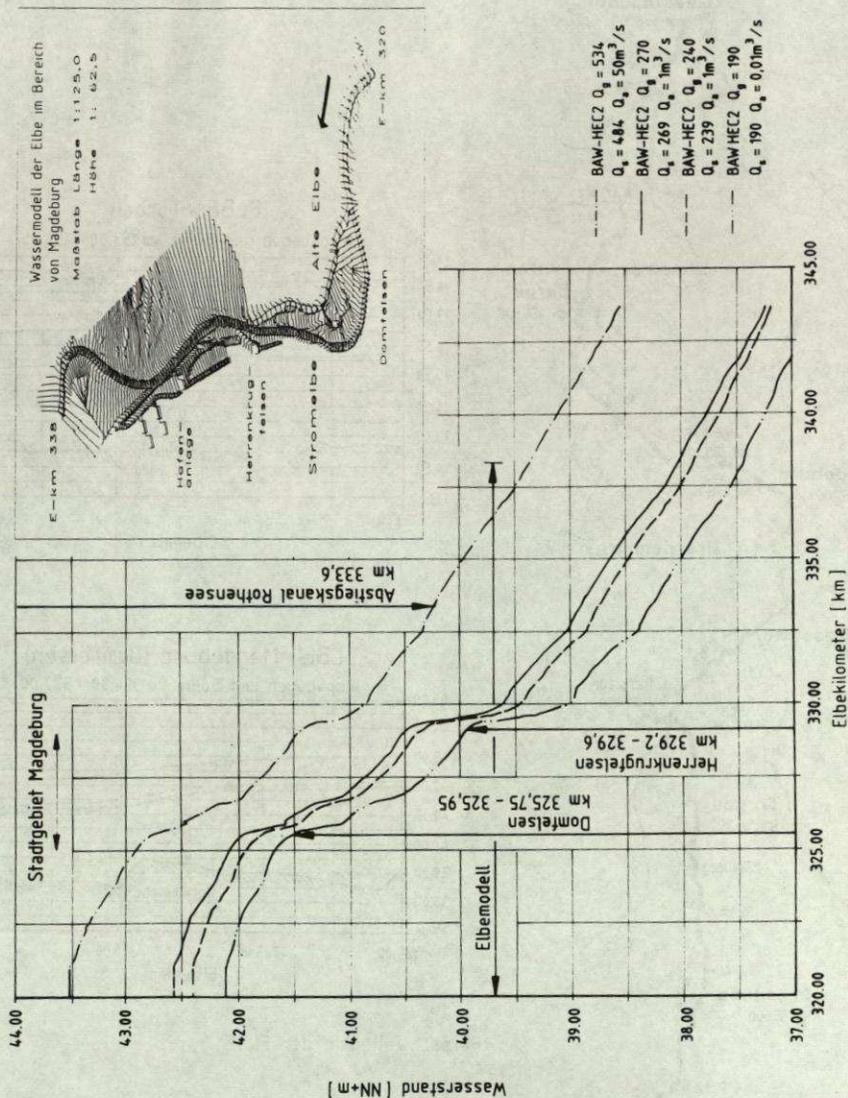
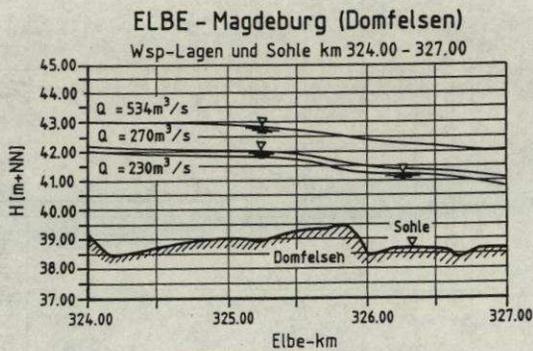
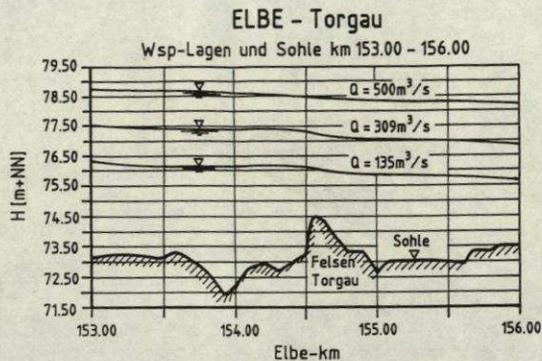


Abb. 15 Wasserspiegellagen der Elbe bei Magdeburg



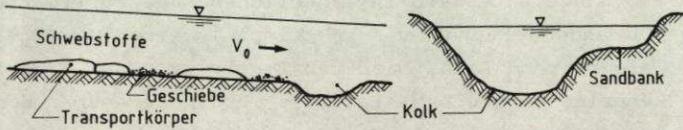
Felsschwellen in der ELBE

Abb. 16 Charakteristische Wasserspiegellagen an Felsschwellen

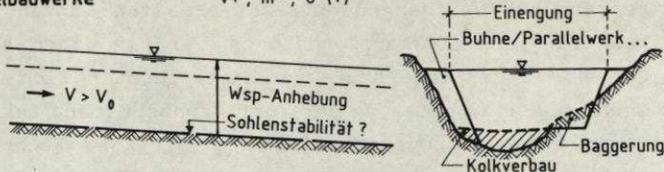
v : verkehrstechnisch      m : morphologisch      ö : ökologisch

... Hochwasser, Grundwasser, Wsp-Dynamik, Stabilität, Sicherheit ...

- Ausgangszustand      v- ; m- ; ö-(-) ;



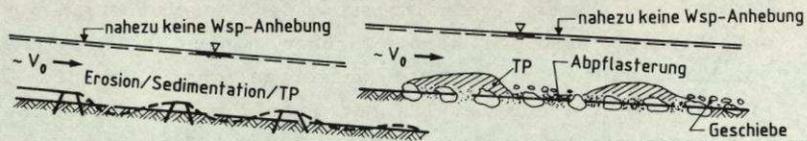
- Flußregelbauwerke      v+ ; m- ; ö-(+)



- Sohlschwellen

- Grobkornanreicherung

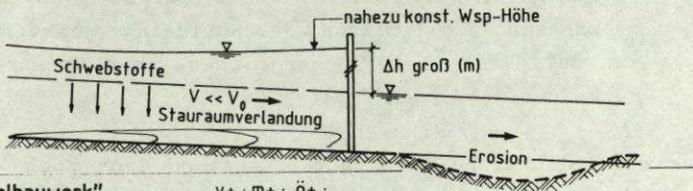
v+/- ; m+/- ; ö+/-



- Staustufen

v+ ; m- ; ö-

... Staustufenkette ...

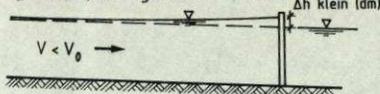


- "Stauregelbauwerk"

v+ ; m+ ; ö+ ;

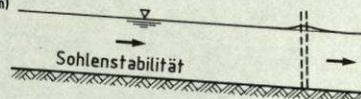
• Stauhaltung

$Q < "MQ"$  (nicht geschiebeführend)



• Staulegung

$Q > "MQ"$  (geschiebeführend)

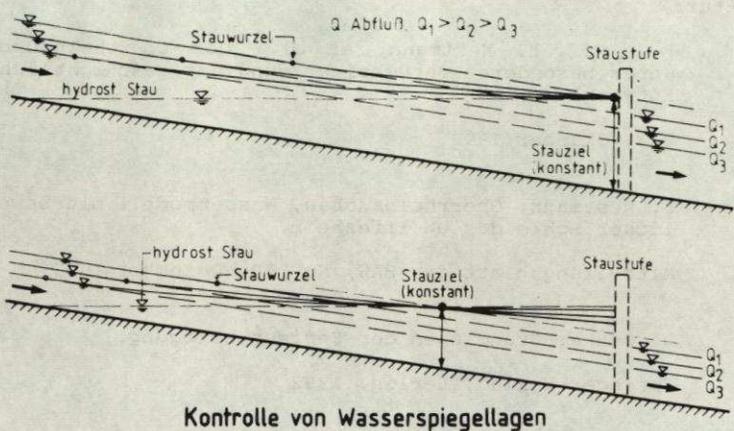


- Geschiebepass / Umflutgerinne ... etc. ...

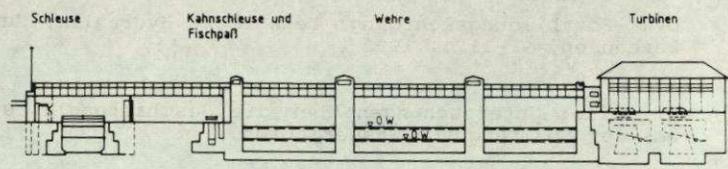
Abb. 17 Wasserbauliche Maßnahmen

Letztere werden jedoch aufgrund der bisherigen Erfahrungen über die Strömungs- und Transportverhältnisse in der Elbe kaum zielführend sein, da hierdurch ggf. die bereits erwähnten Probleme der Staurationverlandung und der Erosionsvorgänge unterhalb in erheblichem Maße zu erwarten wären. Ob andere Maßnahmen wie beispielsweise Stauregelbauwerke zielführend sind, wird den Ergebnissen der Modellversuche überlassen bleiben. Letztere würden gegenüber den klassischen Staustufen die Wasserspiegeldynamik und den Geschiebetransport weitgehend aufrecht erhalten lassen, bei Verbesserung der Wasserstandshöhen bei niedrigen Abflüssen. Diese Wasserspiegelstützung käme letztendlich auch dem Grundwasser zu gute, da der Vorflutwasserstand bekanntermaßen mit dem Grundwasserspiegel in direkter Wechselwirkung steht. Bei höheren Abflüssen sollten jedoch derartige Kontrollstellen entfernt werden können, so daß bei geschiebetransportwirksamen Verhältnissen der Geschiebetransport ungehindert erfolgen kann. Darüber hinaus sind solche, bisher nicht verwirklichte wasserbaulichen Konzepte in Verbindung mit der bereits mit Erfolg praktizierten Geschiebezugabe im Bereich des Unterwasser Iffezheim am Rhein zu verknüpfen. Es müßten hierbei aber noch gesonderte Maßnahmen zur Stabilisierung der Sohlenlage getroffen werden, was bei diesen Untersuchungen dann auch entsprechend berücksichtigt werden soll.

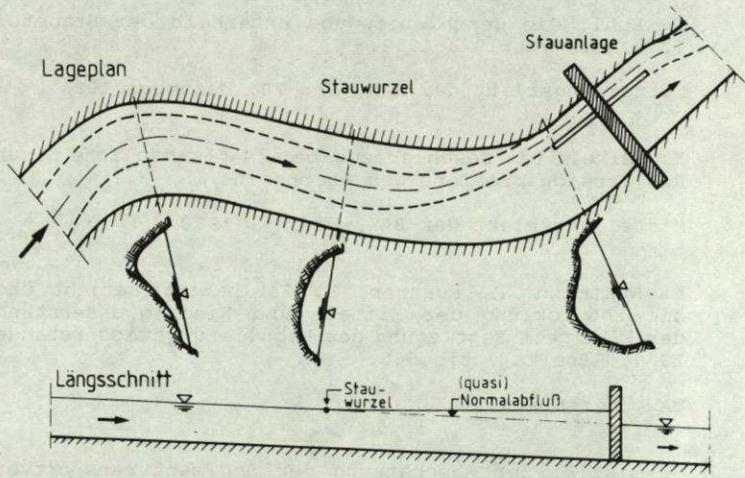
Der augenblickliche Untersuchungszustand läßt noch keine Aussagen über mögliche wasserbauliche Maßnahmen zu, da die Arbeiten der Datenerfassung in der Natur bisher nicht abgeschlossen sind.



Kontrolle von Wasserspiegellagen



Abflußkontrollstellen an einer Staustufe



Typischer Flußabschnitt mit Stauhaltung

Abb. 18 Prinzipskizze Staustufen

## Literatur:

- [1] F. Buck, F. Nestmann, et al.: Der Oberrheinausbau unter besonderer Berücksichtigung der geschichtlichen Entwicklung.  
BAW, Oktober 1992
- [2] F. Nestmann: Oberrheinausbau, Wassermmodell mit beweglicher Sohle des UW Iffezheim.  
Mitteilungsblatt der BAW, Nr. 70, Dezember 1993
- [3] U. Zanke: Grundlagen der Sedimentbewegung.  
Springer-Verlag, Berlin, 1982
- [4] F. Nestmann, St. Theobald: Ablagerungen in Bundeswasserstraßen.  
DVWK-Fortbildungslehrgang: Technische Hydraulik, Gunzenhausen, 9.-11.11.1992
- [5] H. Bulle: Untersuchungen über die Geschiebeableitung bei der Spaltung von Wasserläufen.  
VDI-Verlag, Berlin SW 19, 1926
- [6] D. Kuhl: Die Geschiebezugabe unterhalb der Staustufe Iffezheim von 1978-1992.  
Mitteilungsblatt der BAW, Nr. 70, Dezember 1993
- [7] K. Felkel: Die Geschiebezugabe als flußbauliche Lösung des Erosionsproblems des Oberrheins.  
Mitteilungsblatt der BAW, Nr. 47, 1980
- [8] F. Nestmann, M. Fuehrer, P. Faulhaber: Bericht über die Entwicklung der Mittel- und Niedrigwasserstände der Elbe seit Festlegung des Regulierungswasserstandes 1959, Elbe km 0 bis 560.  
BAW, Dezember 1991
- [9] G. Glazik: Zur Abschätzung der Sedimenttransportverhältnisse in der Elbe als Grundlage wasserbaulicher Maßnahmen.  
Studie im Rahmen der Untersuchungen an der Elbe 1993