

Veränderung hydraulisch-morphologischer Parameter der Elbe

DIPL.-ING. PETRA FAULHABER, BUNDESANSTALT FÜR WASSERBAU

1 Einleitung

Im Einzugsgebiet der Elbe wurden in der Vergangenheit viele Veränderungen direkt oder indirekt durch menschliches Handeln ausgelöst. In Veröffentlichungen verschiedener Fachgebiete sind etliche dieser vielfältigen gewollten und ungewollten Entwicklungen dokumentiert. Einige der relevanten Parameter (z.B. Wasserspiegelhöhe und -gefälle, Wassertiefe, mittlere Sohlenhöhe und Fließgeschwindigkeit) werden in der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) im Rahmen von Auftragsbearbeitungen für die Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes und die Anrainerländer detailliert untersucht.

Nur zu einigen offensichtlichen Entwicklungen liegen auch im historischen und/oder großräumigen Maßstab qualitativ abgesicherte Kennwerte vor. Für den Zustand während und kurz nach dem Mittelwasserausbau um 1890 und hauptsächlich den der 1990er-Jahre wurden in der BAW historische Daten und aktuelle Messungen aufbereitet, um einen quantitativen Vergleich hydraulischer Parameter vorzunehmen. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen werden hier auszugsweise vorgestellt, wobei eingangs die Veränderungen dafür wichtiger Randbedingungen (Hydrologie, Flusslaufentwicklung) aus der vorliegenden Fachliteratur zusammengefasst werden.

Die vorgestellten Untersuchungen konzentrierten sich auf

- den deutschen Abschnitt der Binnenelbe,
- den Querschnitt zwischen den Deichen,
- die letzten ca. 100 Jahre.

Indem sie die mit Blick auf die gesamte Binnenelbe langfristige Wirkungen von Maßnahmen aufzeigt, kann die Analyse zur Wahl geeigneter Unterhaltungs- und Ausbaumaßnahmen für die gezielte Entwicklung erwünschter oder Verhinderung und Beseitigung unerwünschter bzw. schädlicher Tendenzen (z.B. Sohlerosion) genutzt werden. Weiterführend können die Angaben so zur Bewertung der Auswirkungen in verschiedenen Bereichen, z.B. auf Habitat- oder Schifffahrtsbedingungen und das Hochwasserabfuhrvermögen, dienen.

Die mangelhafte Datenlage über den historischen Stromzustand und die großräumige Betrachtung bei angestrebter Zusammenschau für die gesamte deutsche Binnenelbe lassen nur eine ansatzweise Erläuterung der aufgezeigten Entwicklungen zu. Dennoch bietet diese Übersicht durch die Verdeutlichung von Gesamtzusam-

menhängen im Gegensatz zu detaillierten lokalen Untersuchungen eine Ausgangsbasis für eine wissenschaftlich fundiertere Diskussionen hinsichtlich der wasserbaulichen Veränderungen an der Elbe.

2 Randbedingungen für Untersuchungen der hydraulischen Parameter

2.1 Veränderungen der Elbe - Übersicht

Für den Zustand der Elbe und ihres Einzugsgebietes am Ende des 19. Jahrhunderts gibt es eine umfangreiche Analyse in Form des „Elbestromwerks“ [Elbestrom, 1898]. Vor 100 Jahren wurde „das“ Buch über die Elbe und ihre wichtigsten Nebenflüsse herausgegeben, das auch heute noch als Grundlagenwerk für alle diejenigen anzusehen ist, die hydrografische, geografische, wasserwirtschaftliche oder wasserbauliche Angaben im Einzugsgebiet der Elbe benötigen. Das „Elbestromwerk“ entstand aus dem Wunsch der Elbuferstaaten heraus, die Abflussverhältnisse der Elbe gemeinsam zu untersuchen, welcher sich letztendlich aus den Vereinbarungen zur internationalen Schifffahrt in der Wiener Kongressakte von 1815 ergab. 1898 wurde das durch zahlreiche Behörden erarbeitete „Elbestromwerk“ in 3 Bänden sowie Tabellenband und Kartenbeilage herausgegeben.

Eine Aktualisierung entsprechend der zwischenzeitlichen Veränderungen im Einzugsgebiet (bauliche Eingriffe, Nutzungsänderungen) sowie auch für Erhebungen der im „Elbestromwerk“ nicht berücksichtigten Datenarten, die die verfügbaren Kenntnisse ähnlich umfassend zusammenführt, liegt leider nicht vor. Heute erhält das „Elbestromwerk“ eine besondere Bedeutung dadurch, dass gerade zur Bewertung der ökologischen Auswirkungen der anthropogenen Eingriffe in das Flusssystem oftmals auf historische Angaben aus dem „Elbestromwerk“ zurückgegriffen wird.

Neben dieser umfangreichen Beschreibung der gesamten Elbe einschließlich der Nebenflüsse gibt es in der Literatur eine ganze Reihe Veröffentlichungen zum Thema „Elbe“, die oftmals regional oder national orientiert, populärwissenschaftlich [Deutsches Historisches Museum, 1992] oder mit Blick auf verschiedene Fachgebiete (z.B. Hydrologie, Naturschutz) Beschreibungen liefern (u.a. [BfG, 1999], [BfG, 1994], [IKSE, 1994]). An dieser Stelle sei auf einige verwiesen, die entweder auf die Elbe als Schifffahrtsweg eine Gesamtübersicht erlauben [Eckholdt, 1998], oder mit Blick auf hydraulische

Parameter besonders hilfreich für das Verständnis der hydraulisch-morphologischen Veränderungen an der Elbe sind [Simon, 1993], [IKSE, 1995a und 1995b], [Jüngel, 1993] bzw. einen guten Überblick der verschiedenen Baumaßnahmen geben [Metschies, 1939], [Rhode, 1971], [Faist/Trabandt, 1996], [Faist, 1997].

Aue

Schon immer hat der Mensch seinen Bedürfnissen entsprechend die Natur verändert. Während im Mittelalter die direkten Eingriffe am Fluss eher noch geringfügig waren, scheinen die Veränderungen im Einzugsgebiet und in den Elbauen großräumige Folgen gehabt zu haben. So wurden bereits in den ersten Jahrhunderten des ersten Jahrtausends so intensiv Flächen im Bereich des Ober- und Mittellaufs der Elbe gerodet, dass es zu einer deutlichen Vergrößerung der Schwebstoffmengen kam, die sich vor allem im Unterlauf ablagerten [BfG, 1994]. Im Mittelalter wurden verstärkt Auwälder für Weideland gerodet, so dass sich das Aussehen der Auen stark veränderte [Paluska, 1992]. Später kam es immer wieder zu Eingriffen in die rezente Aue durch Nutzungsänderungen. „Die meisten anthropogenen Veränderungen in der Elbelandschaft vor dem 19. Jahrhundert dienten der Landeskultur in Form von Hochwasserschutz einzelner Anlieger“ [Naumann, 1990] „oder waren indirekter Natur“ [BfG, 1994].

Hochwasserschutz

Mit dem 12. Jahrhundert begann der Deichbau, wobei anfangs kleinräumig Ringdeiche zum Schutz der Ortschaften angelegt wurden. Später wurden die Ringdeiche untereinander verbunden. Erste Deichordnungen wurden im 15. Jahrhundert verfasst, die die Unterhaltungspflichten der Anlieger straff regelten. Um 1860 erfolgte die rechtliche Verankerung der Deichverbände im Preußischen Deichamtsgesetz. Auf der Grundlage dieses Gesetzes wurden in erheblichem Umfang Deiche verstärkt, verlängert, sowie neu angelegt. Seit 1945 ist der Hochwasserschutz an der Elbe staatliche Aufgabe [Kanowski, 1992]. Ihre heutige Lage erhielten die Deiche im Wesentlichen in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts. Die Standsicherheit wurde im 20. Jahrhundert erhöht. Besonders in den neuen Bundesländern werden derzeit Deiche rekonstruiert.

Gewässerbett¹

Anmerkung: ¹Zum oberirdischen Abfluss gehörende Eintiefung oder Abdämmung der Landoberfläche. Das Überschwemmungsgebiet gehört nicht zum Gewässerbett (DIN 4049, Teil I).

Bis zum Anfang des 19. Jahrhunderts erfolgten lediglich lokale Veränderungen im Gewässerbett der Elbe (einzelne Uferbefestigungen und Absperrung randlicher Rinnen) zum Eigentumsschutz und zur Verbesserung

der Schifffahrtsbedingungen, die somit keine großräumigen Auswirkungen zeitigten. Auch städtische Bebauungen, die die Ufer festlegten, wie Brücken und Festungsbauten, hatten hauptsächlich lokale Auswirkungen. Lediglich natürliche oder durch Menschenhand ausgeführte Durchstiche (meist zur Abwendung von Hochwassergefahren durch Eisversetzung in windungsreichen Strecken) veränderten den Elbelauf deutlich und großräumige Eingriffe, wie z.B. die entlang der Elbe zwischenzeitlich existierenden Leinpfade, dürften die Verteilung der Fließgeschwindigkeiten bei davon betroffenen Durchflüssen verändert haben.

Schifffahrt

Mit der Neuordnung Europas durch den Wiener Kongress 1815 begann auch eine neue Ära für die internationale Flussschifffahrt. In der „Elbschifffahrts-Additional-Akte“ von 1844 wurden Ziele für die Fahrwassertiefe festgelegt. Danach begann der Ausbau zur Verbesserung der Schifffahrtsverhältnisse, der aber erst mit Schaffung einer staatlichen Zentralbehörde, der Elbstrombauverwaltung in Preußen, ab 1866 mit großer Intensität betrieben wurde.

Beim Mittelwasserausbau wurden hauptsächlich folgende Maßnahmen durchgeführt:

- Befestigung abbrüchiger Ufer, Ufererhaltung,
- Einschränkung zu breiter Strecken (Bau von Bühnen und Parallelwerken mit Kronenhöhen bei Mittelwasser, in Sachsen über Mittelwasser),
- Beräumung seichter Stellen,
- Beseitigung (Uferanschluss) von das Fahrwasser störenden Inseln,
- Bepflanzung/Erhalt von Buschwerk auf Sandfeldern, die ohne Nachteil für das Fahrwasser sind,
- Abflachung enger Krümmungen.

Begleitend wurden Schifffahrtshindernisse wie z.B. Schiffsmühlen beseitigt sowie die Hochwasser- und Eisabfuhr (z.B. durch gezielte Rodung von Vorlandflächen) verbessert.

Im Anschluss an den Ausbau des Mittelwasserbettes (im Wesentlichen 1892/93 abgeschlossen) wurden Niedrigwasserregelungen ausgeführt, wobei die großen Ausbaumaßnahmen im 2. Weltkrieg unterbrochen wurden, und einige Teilstrecken auch später nicht vollendet wurden. Bei den Niedrigwasserregelungen wurde (bei der Regelung von 1931 im Flachland als „Grob-ausbau“ bezeichnet) in einigen Abschnitten (hauptsächlich in Sachsen und unterhalb der Havelmündung) das Mittelwasserbett durch Bauwerke mit Kronenhöhen bei Mittelwasser weiter eingeschränkt (in der Gebirgsstrecke mit hinterfüllten Parallelwerken, im Flachland auch Bau von Zwischenbühnen, Hakenbühnen, Kolkverbau, Maßnahmen im Vorland). Zusätzlich wurde im Rahmen des eigentlichen Niedrigwasserausbaus (1931 als „Fein-

ausbau“ bezeichnet) das Niedrigwasserbett durch Grundswellen in der Gebirgsstrecke und Kopfschwellen im Flachland gestaltet.

Aktuell gilt ein moderates Unterhaltungs- und Ausbauziel, das den Kompromiss zwischen Anforderungen der Schifffahrt, Ökonomie und Ökologie anstrebt. Nur in drei Strecken („Erosionsstrecke“ km 120 bis 230, etwa zwischen Mühlberg und Wittenberg; Magdeburger Stadtstrecke; „Reststrecke“ km 508 bis 521) sind zur Eindämmung der fortschreitenden Sohleintiefung bzw. zur durchgängigen Gewährleistung der Schifffahrtsbedingungen größere Baumaßnahmen erforderlich. In den anderen Abschnitten sollen die erforderlichen Bedingungen mit Hilfe von Stromregelungsmaßnahmen (Wiederherstellung und Ergänzung von Regelungsbauwerken) erreicht werden [Faist/Trabandt, 1996]. Die aktuellen Zielvorgaben sehen eine Mindestfahrinnentiefe von 1,6 m unter GIW 1989*(20d)² in 50 m Fahrinnenbreite vor. Damit sind in Abhängigkeit von der Strecke bei Mittelwasser Mindestfahrinnentiefen von 2,6 bis 3,2 m [WSD Ost, 1995] realisierbar.

Anmerkung: ²Gleichwertiger Wasserstand: einander entsprechende Wasserstände in verschiedenen Durchflussquerschnitten eines Fließgewässers bei gleicher Unterschreitungsdauer. Der GIW 1989(20d), der gültige Bezugswasserstand der Elbe, ist der Wasserstand, der im Mittel an durchschnittlich 345 eisfreien Tagen überschritten wird. Er liegt in der Größe des langjährigen mittleren Niedrigwassers (MNW).*

Zur Bewertung der Veränderungen hydraulisch-morphologischer Parameter in den letzten ca. 100 Jahren ist ein kurzer Abriss der bisher erfolgten und ggf. zu erwartenden Entwicklung der hydraulisch relevanten Randbedingungen erforderlich. Wesentlich für die Bewertung der Veränderung der hydraulisch-morphologischen Parameter sind die

- Veränderung der natürlichen Flusslaufentwicklung und die
- Veränderung der hydrologischen Randbedingungen.

2.2 Veränderung der Flusslaufentwicklung

Die Veränderung der natürlichen Flusslaufentwicklung kann anhand verschiedener zeitlicher und räumlicher Skalen betrachtet werden. Auf Angaben zur Veränderung des Elbelaufs in geologischen und solchen Zeiträumen, die das Fenster von ca. 100 Jahren wesentlich überschreiten, soll nicht eingegangen werden. Es sei dazu hauptsächlich auf die Arbeit von [Rommel, 2000] und die dort aufgeführte Literatur verwiesen. Beispielfähig seien hier nur die regional orientierten Arbeiten [Häusler, 1907], [Käubler, 1962], [Kersten, 1930], [Gölz, 1991], [Rommel, 1998] erwähnt.

Zur Darstellung der Elbe im Kartenbild, die zur Dokumentation der Flusslaufentwicklung auf verschiedene Art geeignet ist, finden sich in [Rommel, 2000] ebenfalls Ausführungen, weshalb an dieser Stelle lediglich auf die umfangreiche Literatur- und Karten-Zusammenstellung von Marianne und Werner Stams in der Beilage zu [TU Dresden, 1994] und den Ausstellungskatalog der Kartenstelle der Staatsbibliothek Berlin [Staatsbib, 1993] verwiesen sei.

Veränderungen des Flusslaufes innerhalb eines weiten Abschnittes der Talbreite wurden frühzeitig durch Eindeichungen verhindert. Innerhalb der Deiche veränderte die Elbe aber weiterhin ihren Lauf, wobei die nutzbare Breite für Laufveränderungen statt im Mittel 10 km nur noch etwa 1 km betrug. Die Sedimentumlagerungen wurden durch die Bündelung des Abflusses im durch den Deichbau zunehmend eingegengten Querschnitt vergrößert, was nach [Rommel, 2000] auch zur Verstärkung der Laufverlagerungen führte.

So lange die Ufer des Gewässerbettes der Elbe nur punktuell befestigt waren, konnte der Strom durch Laufmigration und –expansion auf Eingriffe innerhalb der Deichlinien reagieren. So wies Rommel nach, dass die Durchstiche, die bis zum Anfang des 19. Jahrhunderts natürlich oder mit Hilfe der Menschen realisiert wurden, nicht zu einer bleibenden Laufverkürzung führten, da der Strom mit laufverlängernder Uferverformung diese kompensierte. Dadurch ist der Umstand zu verzeichnen, dass eine realisierte Laufverkürzung von 60 km seit Mitte des 18. Jahrhunderts [Elbestrom, 1898], [Simon, 1996] letztendlich nur zu einer Verkürzung des Flusslaufes um 20 km zwischen Staatsgrenze und Geesthacht führte [Rommel, 2000].

Aktuell ist die **grundrissverändernde** Seitenerosion jedoch durch die weitgehende Uferfixierung des Hoch- und Mittelwasserbetts praktisch unterbunden. Somit beendete Rommel seine Untersuchungen zur Laufentwicklung mit dem Gewässerzustand Ende des 19. Jahrhunderts (nach dem Mittelwasserausbau), da es seitdem im Grundriss im Wesentlichen³ nur noch zu einer – gegenüber den bis 1900 erfolgten Veränderungen – geringfügigen Verschmälerung des Mittelwasserbettes kam. Diese ist zum Einen auf die direkten menschlichen Eingriffe (Buhnen- und Parallelwerksbau mit wiederholt verkleinerten Normalbreiten, siehe Kapitel 3.3), Veränderung der Bettgeometrie durch z.B. Schwellen und Kolkverbau und zum Anderen auf Folgen der Eingriffe (z.B. Verlandung der Bühnenfelder, Tiefenerosion statt Seitenerosion) zurückzuführen.

Anmerkung: ³Grundrissrelevante Veränderungen nach 1900 waren z.B. der Durchstich „Kurzer Wurf“ bei Roßlau (El-km 252), die Krümmungsabflachungen bei Belgern (El-km 142) und Klöden (El-km 190), der Bau der Staustufe Geesthacht (El-km 586) und Modifizierungen der Nebenflussmündungen.

Betrachtungen zu Gewässerstrukturen schließen oft zumindest kleinräumige Analysen der Laufentwicklung ein. Diskussionen zur Veränderung von Gewässerstrukturen (z.B. [Gierloff-Emden, 1953], [StAWA, 1992], [STAU MD, 1993], [Leßmann, 1994]) wurden für längere Elbeabschnitte (> 20 km) verstärkt geführt mit den Überlegungen zur Gewässerstrukturgütebewertung in den 1990er-Jahren (hier laufen aktuelle Untersuchungen im Auftrag der Bundesanstalt für Gewässerkunde [Fleischhacker et al., 2000]). Auch im Rahmen der „Elbe-Ökologie-Forschung“ des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) [Bornhöft/Gruber, 1998] wurden einige Vergleiche des aktuellen mit historischen Gewässerzuständen vorgenommen (z.B. [Harms/Kiene/Nestmann, 1998]).

Verschiedene Autoren (u.a. [STAU MD, 1993]) kamen zu der Schlussfolgerung, dass zwischen dem 18. und 19. Jahrhundert die Einflüsse des Menschen auf den Flusslauf derart zunahmten, dass sich das Erscheinungsbild der Elbe entschieden veränderte. Schon im Vergleich von aktuellen Karten mit solchen aus dem 18. Jahrhundert fällt bei ähnlicher Deichführung neben der erhöhten Anzahl von Regelungsbauwerken das völlige Fehlen von veränderlichen Inseln in Flussmitte ins Auge. Bänke, die bei langjährigem MNW bis MW trocken fallen, finden sich im aktuellen Zustand nur noch in den Gewässerrandbereichen. Grundsätzlich ist trotz der in diesen Randbereichen vorhandenen Veränderlichkeit der Strukturen in vielen Abschnitten der Elbe eine zunehmende Verlandung der Bühnenfelder seit dem Mittelwasserausbau zu verzeichnen. Uferabbrüche treten abschnittsweise noch auf, führen aber nur zu einem geringen Feststoffeintrag gegenüber der Seitenerosion vor dem 19. Jahrhundert und können wegen der zwar punktuellen aber großräumigen Uferfixierung keine deutlichen Grundrissveränderungen mehr bewirken. Auf Grund der mangelhaften Erneuerung von Vorlandstrukturen gibt es zunehmend nur noch Altgewässer in fortgeschrittenem Verlandungsstadium.

In [Glazik, 1963] wird auf die große Bedeutung der verstärkten Auflandung der Vorländer in Folge der durch den Deichbau verminderten Vorlandflächen hingewiesen. Die Vorlandaufhöhungen wirken genau so wie zu hoch liegende Regelungsbauwerke. Es werden immer größere Durchflüsse, welche sonst ausufernten, im Flussbett zusammengehalten, was die Erosion verstärkt. Die Größe dieser Auflandungen und ihre exakte Wirkung ist aber für die Elbe noch nicht quantifiziert worden. Seit der Uferfestlegung durch den Mittelwasserausbau äußern sich die Wirkungen hauptsächlich in Tiefen-, nicht in Lageänderungen des Flussbettes.

Die Betrachtungen der Entwicklung von hydraulisch-morphologischen Parametern in den letzten 100 Jahren wurden somit stationsorientiert bezogen auf die aktuelle Fluss-Kilometrierung vorgenommen, da keine wesentlichen Stationierungsänderungen im Untersuchungszeitraum zu verzeichnen sind. Ausnahmen sind

die Fehlstrecken von 315 m bei Belgern (zwischen km 140 und 140,5) und von 1,5 km bei Roßlau (Durchstich Kurzer Wurf: km 250,5 entspricht km 252,0). Darüber hinaus ist bei der Berechnung von Streckenlängen der sogenannte „lange Kilometer“ an der ehemaligen sächsisch-preußischen Landesgrenze (km 121,54 der „sächsischen“ entspricht km 120,50 der „preußischen“ Stationierung) zu beachten. Die aktuelle Kilometrierung der Elbe basiert letztendlich auf den umfassenden Vermessungsarbeiten in Vorbereitung des Kartenwerkes zum [Elbestrom, 1898]. Praktisch wirksam wurde die damals neu festgelegte Stationierung mit dem „Elbe-Schiffahrtskalender 1890“, wodurch die neue Regelung den Schiffahrtstreibenden mitgeteilt wurde [Jünger, 1993]. Die Stationierung z.B. der Nebenflussmündungen weist allerdings aktuell andere Angaben als im [Elbestrom, 1898] auf, da diese verschiedentlich nach Unterstrom verlegt wurden. Gerade in den 1990er-Jahren wurden mehrere Pegel erneuert, so dass auch hier Stationierungsabweichungen gegenüber dem [Elbestrom, 1898] auftreten.

2.3 Veränderung der hydrologischen Randbedingungen

Hinsichtlich der hydrologischen Veränderungen im Einzugsgebiet der Elbe existieren bereits viele Arbeiten, die hauptsächlich mit Blick auf die Notwendigkeit des Hochwasserschutzes die historische Entwicklung beschreiben (z.B. [Fügner, 1984 und 1995], [Kranawetter, 1983], [IKSE, 1996]), aber auch die Veränderung von z.B. langjährigen Hauptwerten oder Dauerzahlen betrachten [Engel, 1991], [BAW, 1991 und 1998], [Helms/Belz/Ihringer, 1999]. Regelmäßige Aufzeichnungen eines hydrologischen Pegelnetzes der Elbe liegen seit Beginn des 19. Jahrhunderts vor [Fügner, 1990] [Faist, 1969]. Eine umfangreiche Zusammenfassung zu anthropogenen Einflüssen auf das Abflussverhalten, Veränderung der Wasserstands-Durchfluss-Beziehungen an den Pegeln, zur Wasserbewirtschaftung, zur Niedrigwasseranalyse, zum langjährigen Abflussverhalten im Mittelwasserbereich und zur Hochwasseranalyse findet sich in [BfG, 1999] mit Verweis auf weitere Einzelgutachten der BfG zu diesen Themen. Hinsichtlich der Veränderung der Wasserstands-Durchfluss-Beziehungen sei außerdem auf die Ausführungen in [Glazik, 1963] und [BAW, 1996] verwiesen.

In der Vergangenheit änderten sich immer wieder die Abflüsse durch z.B.:

- Veränderung des Abflussverhaltens in der Fläche im Einzugsgebiet (Versickerung, Verdunstung, Oberflächenabfluss) durch Veränderungen der Nutzungen im Einzugsgebiet (z.B. Melioration, Bodenverdichtung, Entwaldung/Aufforstung, Flächenversiegelung)
- Schaffung/Reduzierung von Speicherraum im Einzugsgebiet und Veränderung der Bewirtschaftung.

Entlang der Elbe wurde die zeitliche Verteilung der Abflussmenge beeinflusst durch:

- Veränderung des Wellenablaufs durch Veränderung der Durchfluss- und Retentionsflächen und Veränderung der Fließzeiten.

Durch den Strukturwandel der ostdeutschen Bundesländer ist auch künftig mit Änderungen in der Abflussbildung der Elbe zu rechnen. Hier seien nur wichtige Teilprozesse benannt, die allerdings regional unterschiedliche Bedeutung haben:

- Verringerung der Sumpfungswassereinleitung der Braunkohlenförderung, Wasserbedarf zur Flutung der Tagebaurestlöcher,
- Erhöhung der Verdunstung in den gefluteten Tagebaurestlöchern,
- Veränderung des Wasserbedarfes von Kommunen, Landwirtschaft, Industrie, Schifffahrt.

Mittel- und Niedrigwasser

Für die vergleichende Analyse klimatischer Reihen und zum Wasserhaushalt sei auf [BfG, 1999] verwiesen. Wichtig bei der Betrachtung von Veränderungen der hydraulischen Parameter ist die Tatsache, dass seit Ende der 1960er-Jahre eine Tendenz zur Aufhöhung der Niedrigwasserabflüsse zu verzeichnen ist. Dies ist hauptsächlich auf die Bewirtschaftung des Wasserdargebotes mit Hilfe der tschechischen Talsperren zurückzuführen, wodurch die extremen Niedrigwasserstände der Elbe seit 1954 angehoben werden [Glazik, 1964], [BAW, 1991]. Die Untersuchungen der BfG [BfG, 1999] zeigten außer 30jährigen Schwingungen keine signifikanten Trends im langjährigen Abflussverhalten im MQ-Bereich. Von [Helms/Belz/Ihringer, 1999] wurde aus der Reihe der MQ 1900-1995 eine Periode von etwa 14 Jahren (7 Nass- und 7 Trockenjahre) ermittelt, die sich ähnlich für eine Zeitreihe (1962-1995) der Gebietsniederschläge ergab.

Hochwasser

Entgegen der für andere Flüsse postulierten Erhöhung sowohl der Häufigkeit als auch der Scheitelabflüsse von Hochwassern kann dies für die Elbe nicht festgestellt werden [Kleeberg, 1996]. Untersuchungen am Pegel Dresden [Fügner, 1995] zeigen eine Häufung von Hochwasserereignissen im 19. Jahrhundert.

Trotzdem hat sich neben der oben erwähnten Abflussgröße auch die Art der Hochwasserabführung durch verschiedene Eingriffe deutlich geändert:

- Die Verringerung der Retentionsflächen durch Eindeichungen [IKSE, 1996] führte zur Erhöhung und Beschleunigung der Hochwasserscheitel. Die Aufhöhung der Vorländer durch die verstärkte Sedimentation nach dem Deichbau hatte nicht zu quantifizierende Auswirkungen auf die Hochwasserabfuhr (ge-

ringer Durchflussanteil der Vorländer, seltenere Überflutung, tiefere Grundwasserstände).

- Die Verringerung des Durchflusswiderstandes des Gewässerbettes durch die Realisierung kompakterer Querprofile und des Hochwasserbettes durch die stetigere Linienführung der Deiche und Beseitigung von Durchflusshindernissen (z.B.: Brückenpfeiler, starke Krümmungen, starker Bewuchs, Rampen) sowie die Vergleichmäßigung des Gefälles beim Mittel- und Niedrigwasserausbau bewirkte eine schnellere Abführung des Hochwassers.
- In der Vergangenheit traten häufig Hochwasser durch Eisversetzungen auf, deren Wahrscheinlichkeit durch den Ausbau verringert wurde [Elbestrom, 1898].
- Die Eintiefung der Stromsohle hauptsächlich nach dem Mittelwasserausbau von durchschnittlich 50 cm (abschnittsweise deutlich größer) führte zu einer Verringerung der Hochwasserscheitel und späterer Ausuferung [BAW, 1999].
- Die Absperrung der Nebenflusnniederungen im 20. Jahrhundert erhöhte die Hochwasserscheitel [Kranawetterreiser, 1983], eröffnete aber prinzipiell die Möglichkeit zur Nutzung der Niederungen zur gesteuerten Kappung von Hochwasserscheiteln [FAS, 1964].
- Die Bewirtschaftung der Talsperren und Rückhaltebecken im Einzugsgebiet verringerte hauptsächlich seit den 1950er-Jahren die Hochwasserscheitel bei Ereignissen mit Wahrscheinlichkeiten unter 50 Jahren [Simon, 1996].

Für den folgenden Vergleich der hydraulischen Parameter wurden konstante Durchflüsse an den Bezugspegeln für die Betrachtungszeiträume gewählt, obwohl sich ggf. die Ereignishäufigkeit dieser Durchflüsse in den 100 Jahren verändert hat. Die Bezeichnung erfolgte entsprechend langjähriger Reihen der letzten 30 Jahre.

3 Veränderung der hydraulischen Parameter

3.1 Wasserspiegel- und Sohlenhöhen

Analysen der hydraulischen Parameter wurden immer wieder - z.B. zur Vorbereitung von Baumaßnahmen - vorgenommen. Historisch vergleichende Analysen der gesamten deutschen Binnemelbe sind außer auf dem Gebiet der Hydrologie deutlich seltener. Eine solche historische Betrachtung wurde mit den Untersuchungen zur Entwicklung der Wasserspiegel- und Sohlenhöhen der deutschen Binnemelbe von der deutsch-tschechischen Grenze bis Hohnstorf (El-km 0 bis 568) von der BAW vorgenommen [Faulhaber, 1998]. Sie bezog ältere Analysen (z.B. [Dohms/Fröhlich/Faist, 1990]), vor allem die umfangreiche Analyse von Glazik [Glazik, 1963 und 1964], die ihrerseits wieder auf älteren Arbeiten aufbaute [Klaus, 1949]) und spätere Zusammenschauen ([Glazik, 1994] und verschiedene Autoren in [BAW, 1996]) ein und führte diese für ausgewählte Parameter fort.

Unter „Erosion“ ist nachfolgend der zeitlich anhaltende und räumlich ausgedehnte Trend zur Eintiefung der Flusssohle zu verstehen. Lokal und kurzzeitig kommt es in dynamischen Flüssen selbstverständlich immer wieder zu Änderungen der Flussgeometrie. Da Flüsse bereits durch die Festlegung des Hochwasser- und später des Mittelwasserbettes wesentlich am Umsetzen ihrer Kräfte über die gesamte Breite der ursprünglichen Aue gehindert wurden, laufen alle Eintiefungsprozesse in der heutigen Kulturlandschaft deutlich schneller ab, als dies für geomorphologische Prozesse der Fall ist. Wegen der Unterschiedlichkeit der konkreten Randbedingungen tritt aber eine langanhaltende, großräumige Erosion nicht zwangsläufig auf. Durch die Vereinbarung tragfähiger Entwicklungsziele für die Stromlandschaft Elbe muss der Weg für erforderliche Gegenmaßnahmen dort frei gemacht werden, wo die schädlichen Auswirkungen dies erfordern. Zur Eingrenzung dieser Elbeabschnitte und zur Quantifizierung der Erosionsgröße trägt die vorgestellte Untersuchung der Bundesanstalt für Wasserbau bei.

Der nachfolgende Längsschnitt (Bild 1) gibt eine Übersicht des Untersuchungsabschnittes der Elbe. Zur Orientierung wurde die flussmorphologisch geprägte Einteilung der Elbe von Glazik [Glazik, 1993] aufgetragen. Die deutschen Elbeabschnitte des Übergangsbereiches und der Mittelelbe werden auch als Flachlandstrecke, der Oberlauf als Gebirgsstrecke bezeichnet.

Die Veränderung des Niveaus der Flusssohle kann durch Auswertung von Natur-Wasserspiegelmessungen im Durchflussbereich des mittleren Niedrigwassers zwischen 1883 und 1998, von Wasserstandshauptwerten langjähriger Reihen im Durchflussbereich bis Mittelwasser, von Durchflussmessungen an den Pegeln und abschnittsweise aus dem Vergleich der mittleren Sohlenhöhen aus Querprofilmessungen sowie der Bilanzierung von Feststoffmessungen analysiert werden. Die Analyseverfahren wurden u.a. in [BAW, 1996] erläutert und abschnittsweise eingesetzt.

Soll die gesamte deutsche Elbe mit einem einheitlichen Verfahren (auch in den Strecken zwischen den Pegeln) analysiert werden, kann durchgängig nur auf den hier vorgestellten Vergleich von auf einen Bezugsdurchfluss normierten Wasserspiegelfixierungen zurückgegriffen werden. Als Bezugsdurchfluss wurde der Durchfluss Q_{GIW} , der Durchfluss beim gültigen Bezugswasserstand GIW 1989*(20d), gewählt. Bei der Bewertung ist zu berücksichtigen, dass die Wasserspiegeländerung zwischen 1888 und 1959 hier nicht näher beleuchtet wird. Sohleneintiefungen ergaben sich besonders während des Niedrigwasserausbaus zu großem Anteil auch aus umfangreichen Baggerungen zwischen 1929 und 1935 (nach [Glazik, 1963] bis km 120 zu vernachlässigen, bis zur Havelmündung Anwachsen des Baggervolumens bis auf ca. 900 000 m³, besonders ab Havelmündung starke Baggerfähigkeit, sodass die Summe des in der

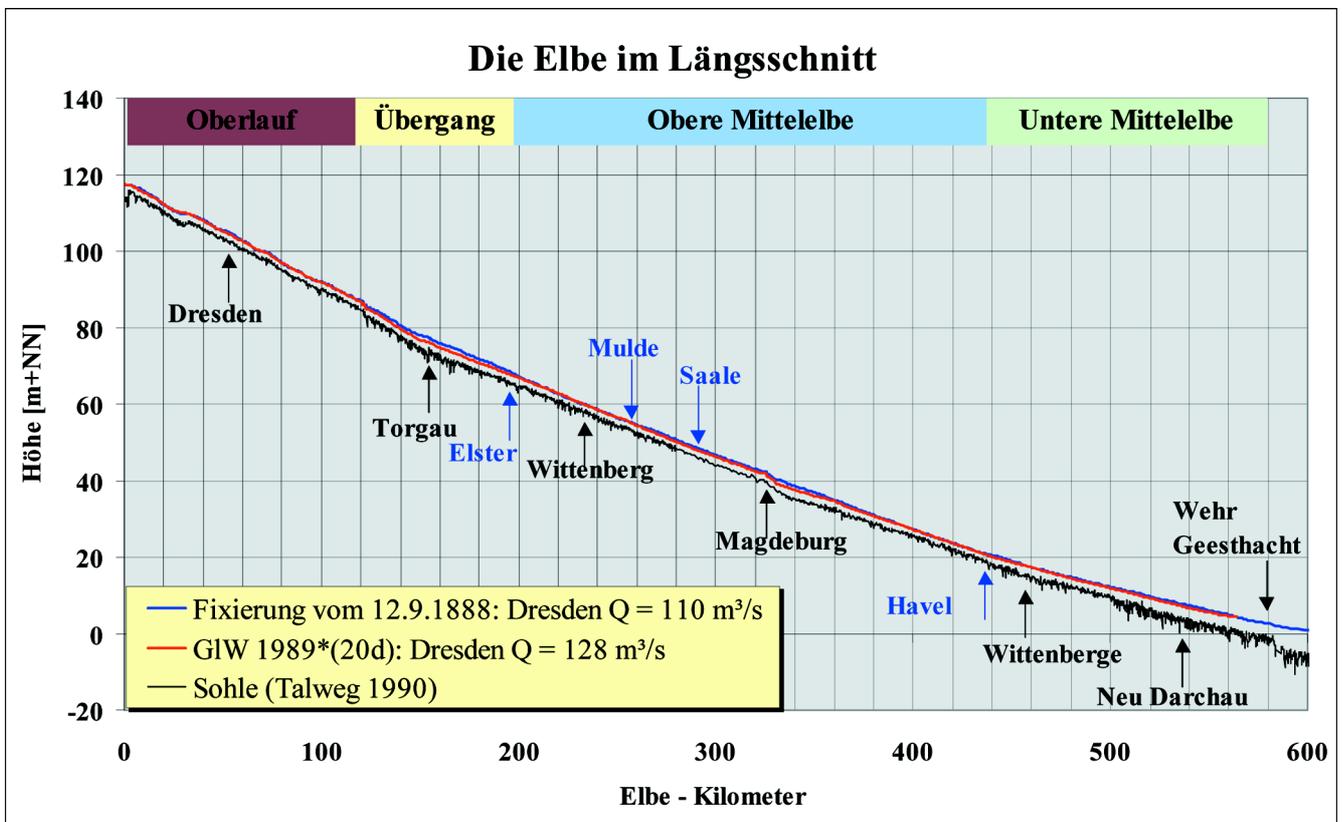


Bild 1: Vergleich der Wasserspiegel im Bereich des langjährigen mittleren Niedrigwassers für die 80er-Jahre des 19. und des 20. Jahrhunderts

Elbe gebaggerten Volumens während des Niedrigwasserausbaus bei km 600 etwa 3,5 Mill. m³ betrug).

Zusammenfassend können aus den Auswertungen der Wasserspiegel bei niedrigem Durchfluss, deren langfristige Veränderung als Indiz für die Veränderung der mittleren Sohle im Flussbett dienen kann⁴, folgende Schlussfolgerungen gezogen werden:

Anmerkung: ⁴Lokal sind allerdings gegensätzliche Entwicklungen von Wasserspiegel und Sohle möglich.

seitdem zum Stillstand gekommen ist. Der Eintiefungsprozess wurde schon vor 1893 beobachtet. Feststellbare Veränderungen zwischen 1959 und 1993 bewegen sich mehrheitlich im Ungenauigkeitsbereich der Erhebungen von etwa 10 cm (Bild 2).

Der Gesamtabschnitt zwischen km 120 bis 230 wird vereinbarungsgemäß als Erosionsstrecke bezeichnet, obwohl sich aktuell lediglich im Teilabschnitt km 160 bis 210 die Sohle stark eintieft. In den letzten nahezu 100 Jahren kam es zwischen km 150 und 180 zu einem

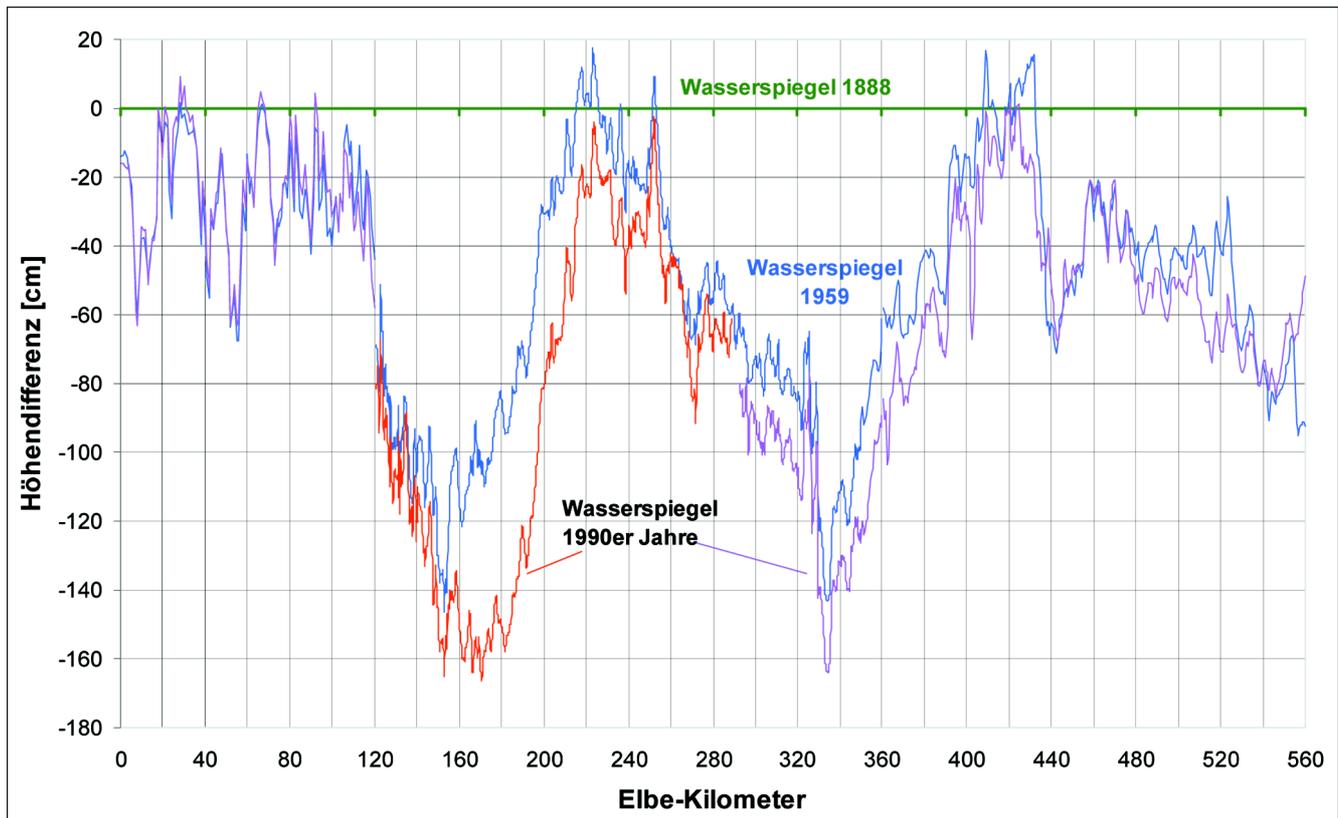


Bild 2: Differenz normierter Wasserspiegel im Bereich des MNW aus der 2. Hälfte des 20. Jahrhunderts bezogen auf einen Wasserspiegel von 1888

Wie schon die Auftragung der nicht normierten Wasserspiegelfixierungen in Bild 1 erkennen lässt, trat seit dem Mittelwasserausbau in drei Elbeabschnitten bedeutende Tiefenerosion auf. Das betrifft

- den Bereich zwischen km 120 und 220, der wegen der auch aktuell anhaltenden Sohleneintiefung „Erosionsstrecke“ genannt wird,
- den Bereich km 260 bis 390, einschließlich der „verschärft regulierten Strecke“ unterhalb Magdeburg (km 333) bis zum Elbe-Havel-Kanal (km 344),
- den vor dem Bau des Wehres Geesthacht tidebeeinflussten Abschnitt, in dem es durch die Vertiefung der Tideelbe zu rückschreitender Erosion kam (größtenteils außerhalb von Bild 2).

Im sächsischen Elbeabschnitt bis km 121 war seit Ende des 19. bis zur Mitte des 20. Jahrhunderts ein Wasserspiegelverfall von im Mittel 25 cm zu verzeichnen, der

Wasserspiegelverfall bei vergleichbaren Durchflüssen von bis etwa 1,6 m. Innerhalb der letzten 40 Jahren trat etwa im Abschnitt El-km 150 bis 220 eine jährliche Erosion von 1 bis 2 cm auf (Bild 3), deren Haupterosionsbereiche sich stromab verlagern.

Bei Betrachtung von Bild 2 ist man geneigt, die Grenzen für die Erosionsstrecke um Magdeburg von 1888 bis 1959 zwischen km 260 und 390 zu ziehen. Die starke Erosion bis 1959 ist allerdings abgeklungen. Obwohl die Eintiefung zwischen Wittenberg (km 214) und Tangermünde (km 388) in den 35 Jahren zwischen Ende der 50er- und Mitte der 90er-Jahre des 20. Jahrhunderts im Mittel kleiner als 0,5 cm/a war, sollte der Abschnitt der sogenannten „verschärft regulierten Strecke“ weiterhin sorgfältig beobachtet werden. „Als natürlich werden weniger als 5 mm Sohleneintiefung pro Jahr angesehen.“ [Fleischhacker et al., 2000].

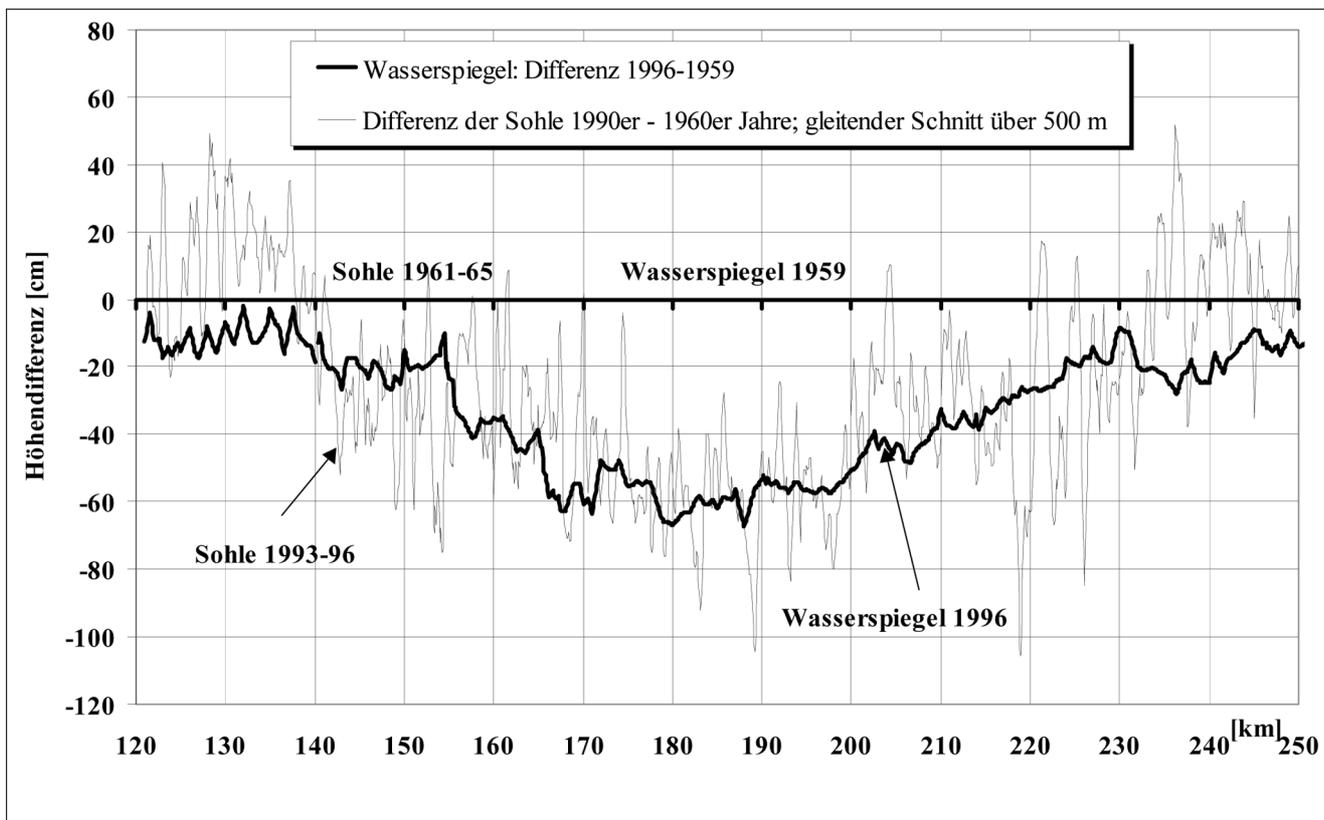


Bild 3: Differenz der auf Q_{GIV} normierten Wasserspiegel und der mittleren Sohlenhöhen

Zwischen Tangermünde und Schnackenburg (km 474) ist in den betrachteten 35 Jahren kaum Erosion zu verzeichnen sondern teilweise eine leichte Wasserstands-anhebung. Zwischen Schnackenburg und Neu Darchau (km 536) ist abschnittsweise (Fortführung des unterbrochenen Niedrigwasserausbaus in 1950er-/60er-Jahren) leichte Erosion festzustellen. Unterhalb von Neu Darchau kam es seit der Fixierung von 1959 zur Wasserspiegelstützung durch das Wehr Geesthacht (EI-km 586).

3.2 Wasserspiegelgefälle

Für den Vergleich der Gefälle der letzten 100 Jahre wurden Wasserspiegelfixierungen genutzt. Es lagen historische Daten von 1886 bis 1896 vor (hauptsächlich aus [Elbstrom, 1898]). Die aktuellen Daten stammen aus Messungen der Wasser- und Schifffahrtsämter in den Jahren 1959 bis 1999. Die Gefälle wurden für den Durchflussbereich zwischen langjährigem mittlerem Niedrigwasser und etwa 20jährlichem Hochwasser ermittelt. Zur Berechnung des Gefälles wurden unter verschiedenen Aspekten Abschnitte definiert. Beispielhaft sind hier die Analysen für zwei unterschiedliche Abschnittsaufteilungen angegeben.

In Bild 4 wurden die im Tabellenband des [Elbstrom, 1898] vorgegebenen großräumigen Abschnitte entsprechend der damaligen administrativen (z.B. ehemalige sächsisch-preußische Landesgrenze bei km 120,5 bzw. 121,54) oder hydrologischen Grenzen (z.B. Neben-

flussmündungen) genutzt. Diese Abschnittseinteilung ist zum Vergleich hilfreich, auch wenn sie den heutigen Gegebenheiten nicht mehr entspricht. So treten Gefälleknickpunkte kaum an administrativen Grenzen auf, (allerdings bleibt die Abschnittsteilung an der ehemaligen sächsisch-preußischen Landesgrenze wegen des Bruches in der Kilometrierung weiterhin sinnvoll,) und die Lage der Nebenflussmündungen hat sich im Laufe der Zeit oftmals geändert.

Bild 5 bietet eine kleinräumigere Darstellungsform. Hier sind äquidistante (10 km) Berechnungsabschnitte aufgetragen, indem der Gefällewert aus den Fixierungswerten der Wasserspiegel an den Abschnittsgrenzen der Abschnittsmitte zugeordnet wurde. In allen Vergleichen zeigte sich, dass man nicht generell von einer Vergrößerung des Gefälles innerhalb der letzten 100 Jahre sprechen kann. In einigen Bereichen ist eine Vergleichmäßigung des Gefälles zu verzeichnen, was Ziel der wasserbaulichen Maßnahmen im 19. und 20. Jahrhundert war. Am Beispiel der Strecke km 0 bis 100 ist dem Vergleich von Bild 4 und Bild 5 zu entnehmen, dass bei gleichem Gefälle für längere Abschnitte kleinräumig aktuell Gefälleunstetigkeiten ausgeglichen wurden.

In der Erosionsstrecke ist oberhalb des Torgauer Felsens eine Gefälleverstärkung, unterhalb eine Gefälleverminderung festzustellen (die Höhe des Felsens verminderte sich durch wiederholtes Abmeißeln ebenfalls [Alexy/Fuehrer/Kühne, 1995]). Im Nahbereich des Torgauer Felsens wird die Situation vor dem Schwellen-einbau der 1990er-Jahre wiedergegeben. Im Bereich

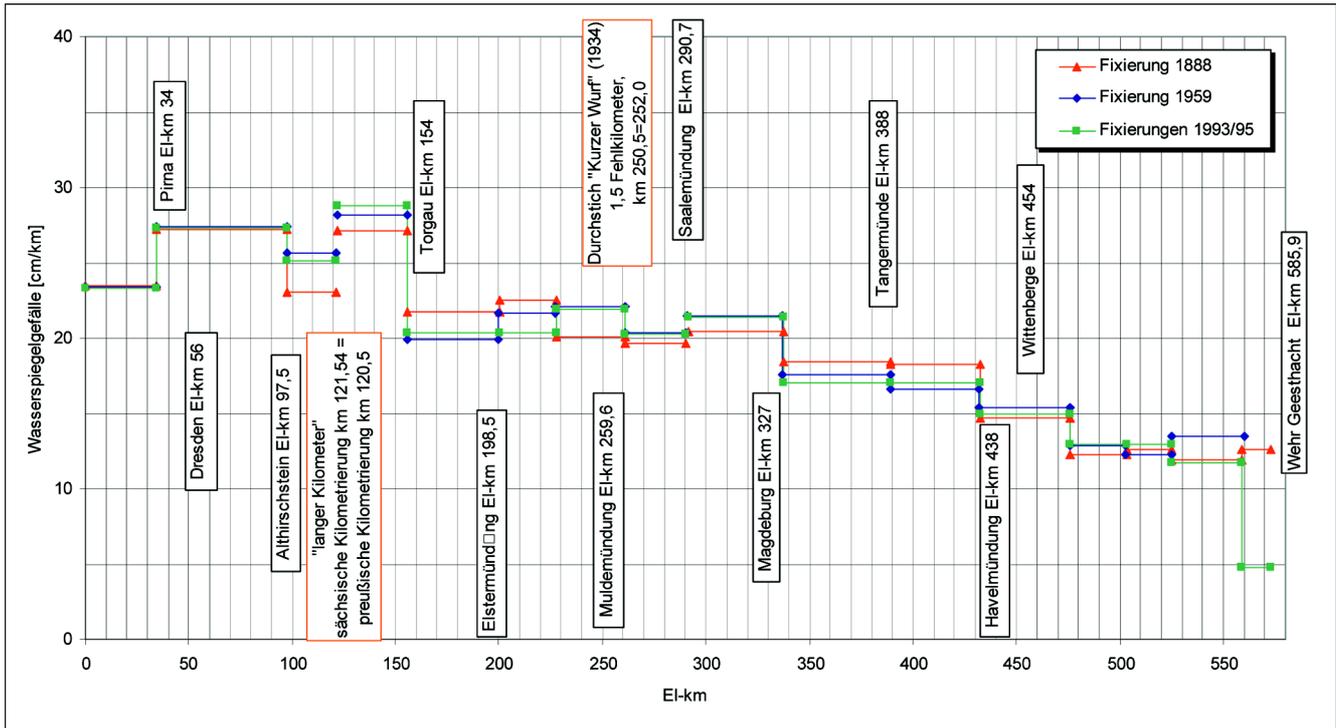


Bild 4: Wasserspiegelgefälle im MNW-Bereich innerhalb der historisch [Elbestrom, 1898] vorgegebenen großräumigen Abschnitte

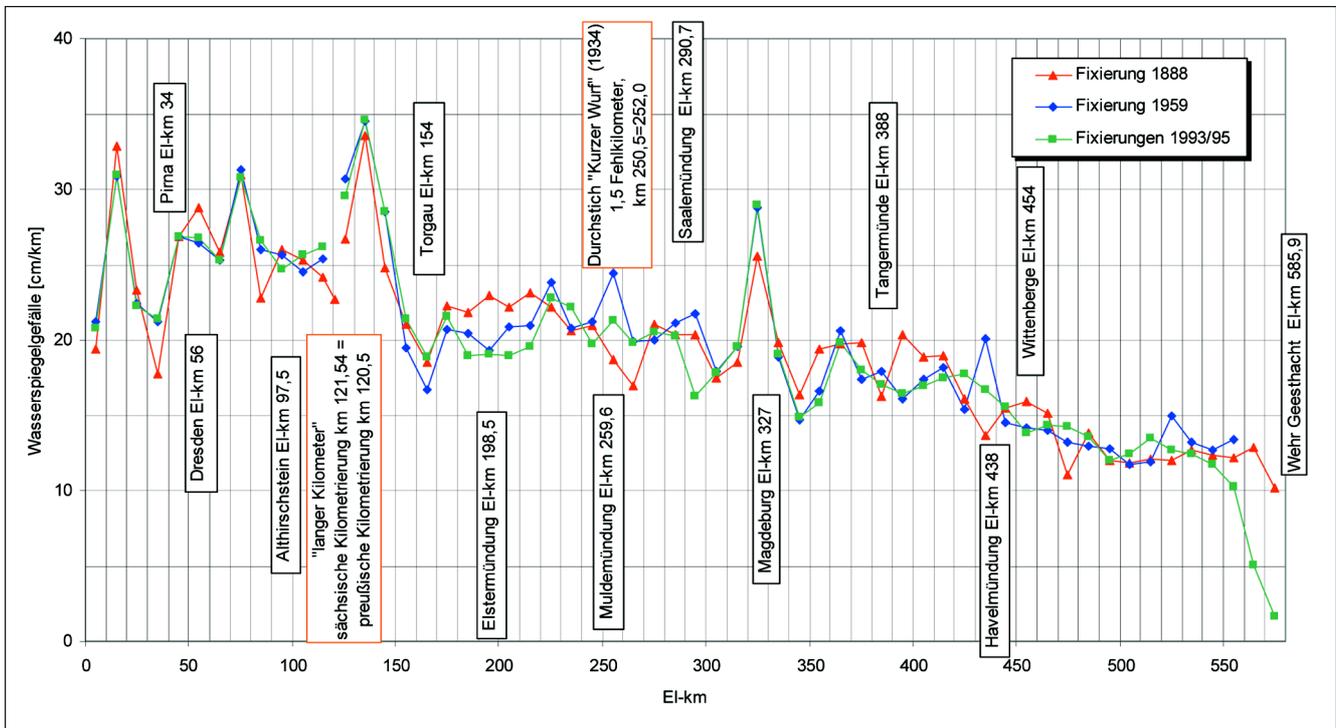


Bild 5: Für 10 km - Abschnitte berechnetes Gefälle im MNW-Bereich

Magdeburg befindet sich durch die ähnliche Situation (Felsenriegel im Flussbett) ebenfalls eine sich verstärkende Gefälleunstetigkeit.

Das geringe aktuelle Gefälle ab El-km 550 ist auf die Staustufe Geesthacht zurückzuführen.

In Bild 6 wird für die Erosionsstrecke eine Darstellung des Wasserspiegelgefälles für 10 km lange Abschnitte aus den Mittelwerten der Einzelfixierungspunkte einschließlich Variationskoeffizient (= Standardabweichung/Mittelwert) aufgezeigt. Die so ermittelten mittleren Wasserspiegelgefälle je 10 km unterscheiden sich nur unwesentlich von den in Bild 5 gezeigten Darstellungen aus den Wasserspiegeln an den Grenzen der 10 km – Abschnitte. Besonders im oberen Teil der Erosionsstrecke schwankte 1888 das Gefälle lokal stärker als es aktuell der Fall ist. Es ist nicht auszuschließen, dass diese Abweichungen auf die unterschiedliche Qualität der Messungen und deren Auswertung und nicht auf die Änderung der Parameter zurückzuführen ist.

3.3 Wassertiefen, Wasserspiegelbreiten, Durchflussflächen, und Geschwindigkeiten im Bereich des mittleren Niedrigwassers

Zur Darstellung der Entwicklung hydraulischer Parameter (z.B. Durchflussfläche, Wasserspiegelbreite, mittlere Wassertiefe) wurden historische Peildaten zwischen den Buhnen und aktuelle Geometrieaufmessungen ausgewertet. Es lagen historische Daten [Bauverwaltung, 1885] vor, wobei allerdings auf die damaligen Auswertungen und nicht auf die Rohdaten zurückgegriffen werden musste. Analog zu diesen Auswertungen wurden die aktuellen Peildaten der 1990er-Jahre und die mit Hilfe eindimensionaler hydronumerischer Modelle errechneten aktuellen Wasserspiegel für die Vergleichsdurchflüsse aufbereitet.

An Hand der Darstellung der in [Bauverwaltung, 1885] ausgewiesenen Durchflussflächen zwischen den Buhnen und den analog für den Bereich des MNW ermittel-

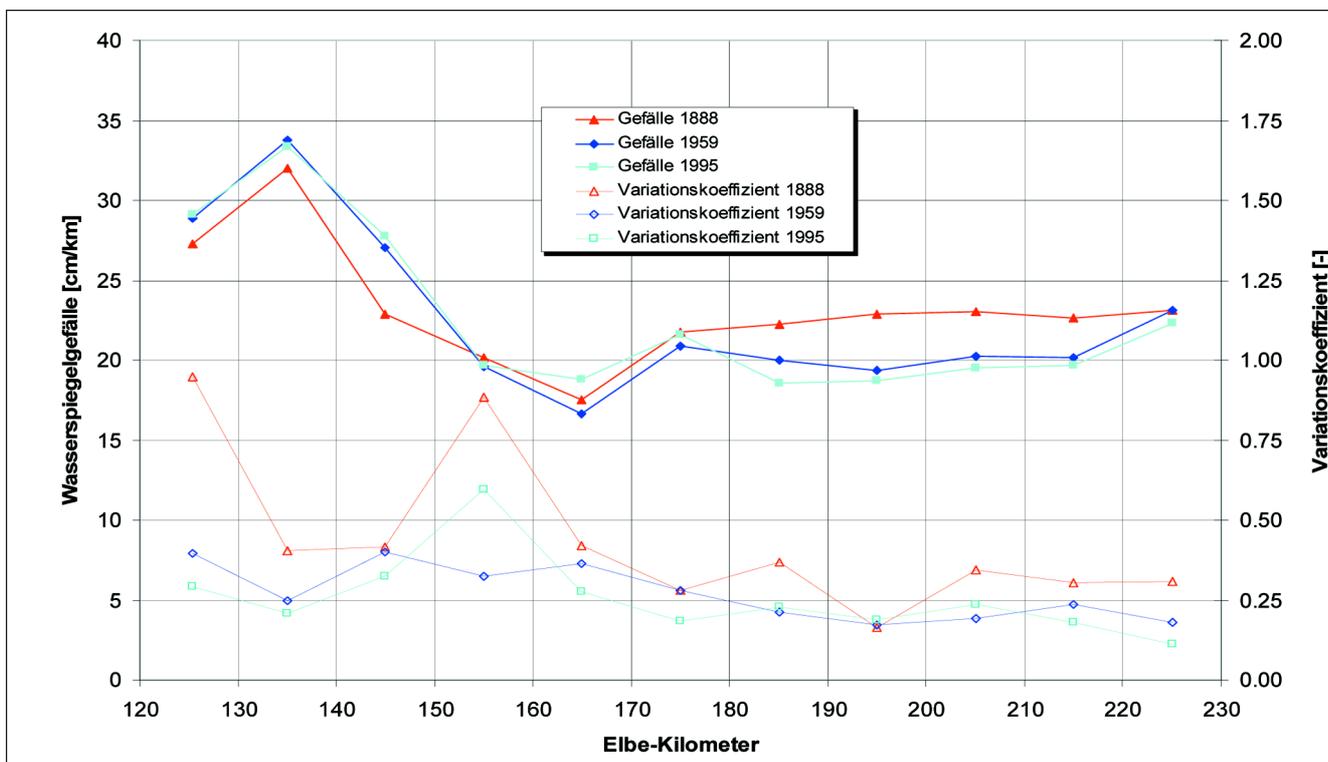


Bild 6: Gefällevergleich für 10 km - Abschnitte über Mittelwerte in der Erosionsstrecke

Die Gefälleentwicklung bei Mittelwasser entspricht in etwa der im MNW-Bereich. Hochwasserbetrachtungen sind deutlich schwieriger, da weniger Naturmessungen zur Verfügung stehen, die Durchflussereignisse häufig stark instationär sind, die Zuordnung der Wasserspiegelwerte zur Flusskilometrierung eine genaue Kenntnis der örtlichen Gegebenheiten erfordert und darüber hinaus die Lauflänge bei Hochwasser nicht immer der Flusskilometrierung entspricht (Laufabkürzungen über die Vorländer in Krümmungen).

ten aktuellen Werten (1990er-Jahre) für die Erosionsstrecke (Bild 7) wird deutlich, dass auf Grund der starken Streuung der hydraulischen Parameter an den Einzelstationen auf eine Mittelwertbildung über definierte Abschnittslängen (hier 10 km) übergegangen werden musste, um generelle Trends in der Entwicklung zu erkennen.

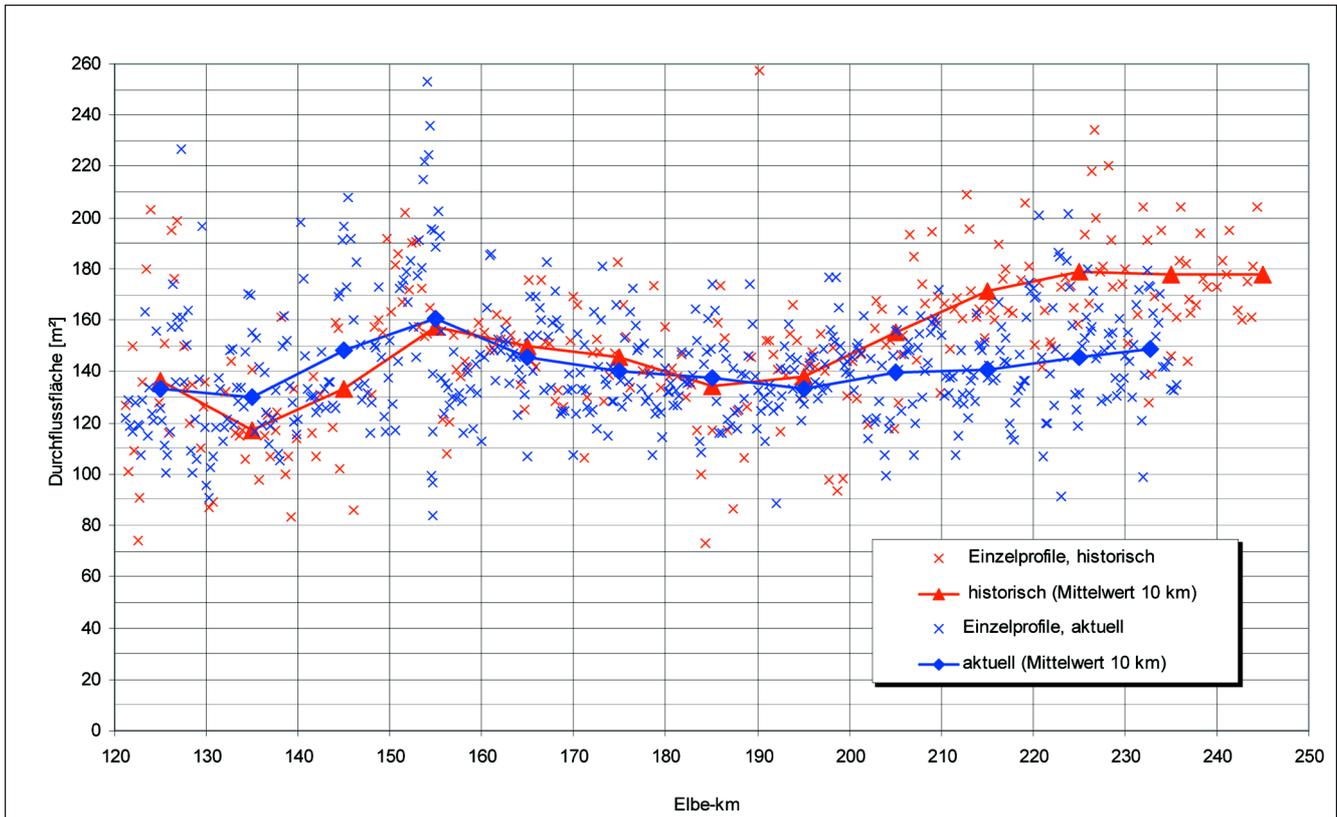


Bild 7: Durchflussflächen bei MNW für Einzelprofile und Mittelwerte für 10 km–Abschnitte in der Erosionsstrecke

In Bild 8 wird der Vergleich der mittleren Tiefe (nicht der Fahrrinntiefe sondern der aus Durchflussfläche/Wasserspiegelbreite für die Querprofile zwischen den Buhnen berechneten Tiefe) im Bereich des langjährigen mitt-

leren Niedrigwassers für verschiedene Strecken aufgezeigt. Trotz der Mittelbildung über Abschnittslängen von 10 km und Fehlereinflüssen (unterschiedliche Messmethoden, Durchflusszuordnung u. a.) sind die Auswer-

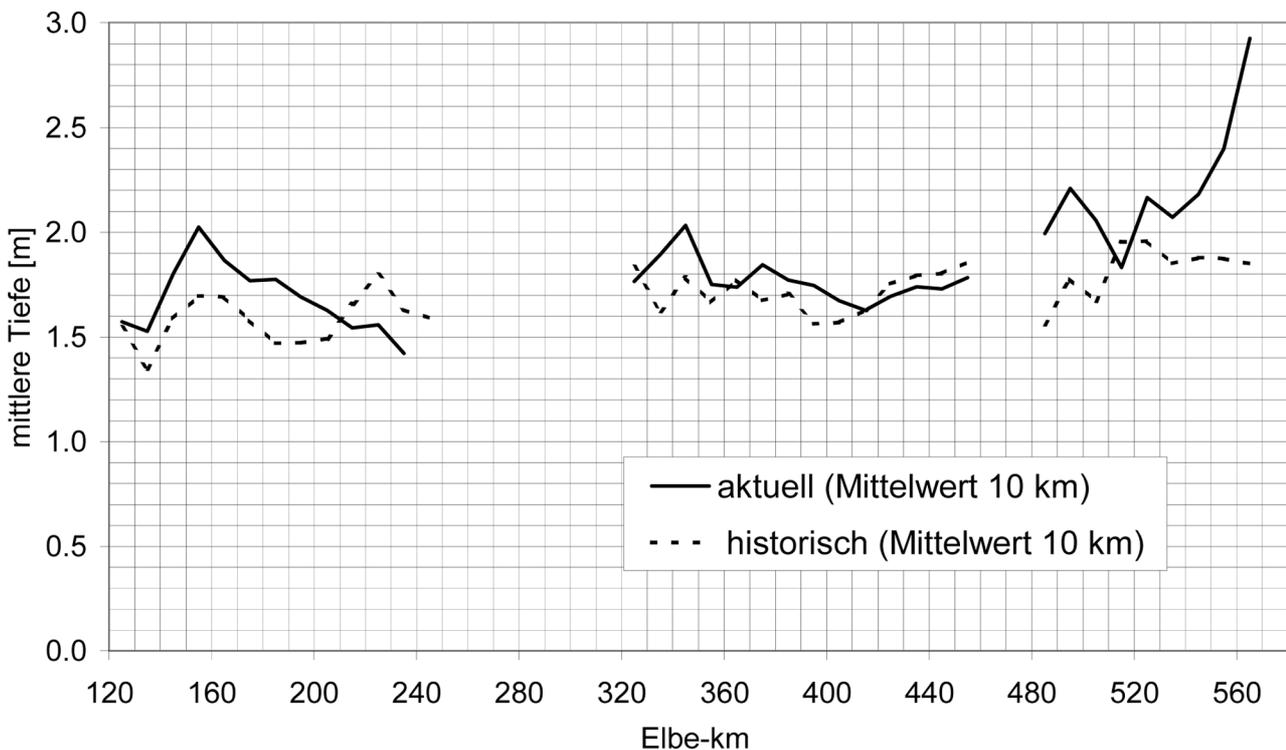


Bild 8: Vergleich der mittleren Tiefe bei langjährigem Mittelniedrigwasser

tungen gut geeignet für grundsätzliche Bewertungen. So ist z.B. in der Erosionsstrecke (hier im Abschnitt km 120 bis 210) der starke Tiefengewinn durch die Eintiefung der Stromsohle (kompaktere Profile) feststellbar. Die Strecke mit aktuellen Akkumulationsproblemen bei El-km 230, in der sich die Tiefe gegenüber dem Zustand am Ende des 19. Jahrhunderts verringert hat, lässt sich identifizieren. Es ist auch die „Reststrecke“ der Elbe (km 508 bis 521) als kurze Strecke zu erkennen, in der sich die Tiefenverhältnisse in 100 Jahren im Gegensatz zu den benachbarten Abschnitten nicht verbessert haben. Der starke Tiefengewinn im unteren Bereich ist wiederum auf die Staustufe Geesthacht zurückzuführen.

Die Extremwerte und die Variationskoeffizienten für Abschnittslängen von 10 km ermöglichen am Beispiel der Erosionsstrecke in Bild 9 weiterführende Interpretationen: Die aktuell deutlichen Extremwerte zwischen km 150 und 160 sind auf den sich verstärkenden, großräumigen Kolk oberhalb vom Torgauer Felsen und die geringen Tiefen über dem Felsen zurückzuführen. Für

Verringerungen der Sollstreichlinienbreite⁵ (siehe Bild 12) bzw. der Sohlbreiten.

*Anmerkung:*⁵ *Streichlinie: Planmäßige seitliche Begrenzung des Wasserspiegels im Bereich des abflusswirksamen Querschnitts beim Ausbauabfluss, z.B. Verbindungslinie entlang der Bühnenköpfe (DIN 4054). Streichlinienbreite an der Elbe - Normalbreite des Stromes zwischen den Regelungsbauwerken bei Mittelwasser.*

Da in der Vergangenheit umfangreiche Messungen an der Elbe (z.B. Geometrie und Wasserstand) nahezu ausschließlich mit Blick und im Auftrag wirtschaftlicher Nutzungen (hauptsächlich Schifffahrt) vorgenommen wurden, konzentrierte man sich auf Parameter, die für diese Nutzungen bedeutsam waren. Somit wurden und werden die Messkapazitäten auf den Bereich des Fahrwassers konzentriert, so dass ein Vergleich der gesamten Wasserspiegelbreite (einschließlich z.B. Bühnenfelder) für die gesamte Binnelbe kaum möglich ist. In

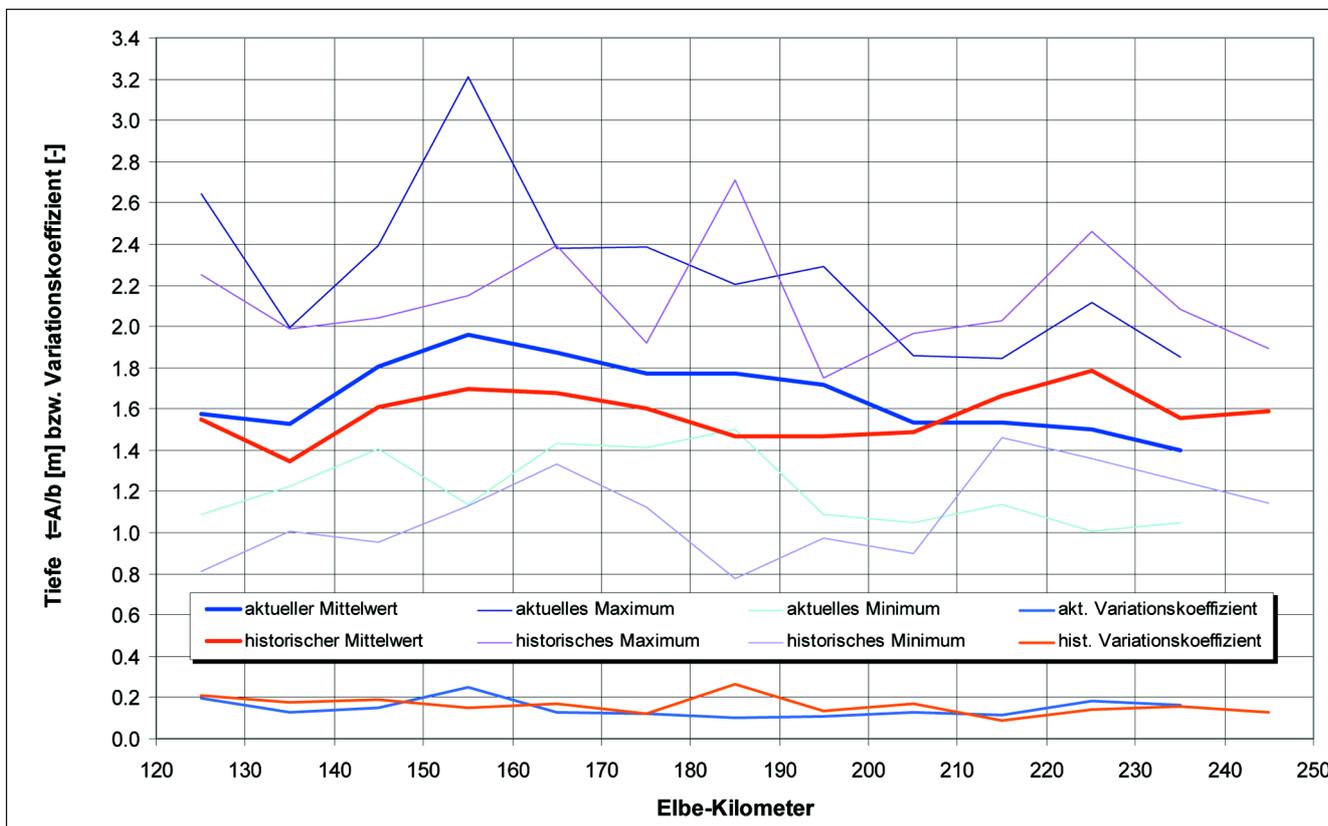


Bild 9: Mittel-, Extremwerte und Variationskoeffizient der Tiefe in Abschnitten von 10 km Länge innerhalb der Erosionsstrecke

den historischen Zustand fallen die Extremwerte zwischen km 180 und 190 ins Auge, die auf die knieartige Krümmung bei Klöden (Klödener Enge) zurückzuführen waren.

In Bild 10 ist deutlich die aktuelle Verengung des Fahrwasserbereiches zu erkennen. Diese ergibt sich bereits aus den über die Zeit immer wieder vorgenommenen

der Vergangenheit wurden z.B. Querprofile meist zwischen den Bühnenköpfen gepeilt, so dass Bühnenfelder u.ä. nicht erfasst sind. Zur Bewertung der Funktion des Ökosystems Elbe sind aber gerade diese Bereiche bedeutsam.

Um den Einfluss der für die historischen Angaben relativ unsicheren Durchflussannahme für die Auswertun-

gen festzustellen, wurden die aktuellen Berechnungen mit jeweils einer niedrigen und einer höheren Durchflussannahme durchgeführt (Bild 10). Die niedrige Durchflussannahme entsprach den - basierend auf den im [Elbestrom, 1898] angegebenen Durchflussmessungen - für die Wasserstände am Bezugspegel in [Bauverwaltung, 1885] ermittelten Durchflüssen. Für die höhere Durchflussannahme wurde dieser Wert um 10 % erhöht. In allen Auswertungen ergeben sich für beide Durchflussannahmen ähnliche Aussagen.

Die Wasserspiegelbreiten zwischen den Buhnen bei gleichem Durchfluss im Bereich des langjährigen mittleren Niedrigwassers haben sich in den letzten 100 Jahren in der Erosionsstrecke kaum, zwischen km 480 und 568 deutlich verringert. Dies ist auf den in der unteren Strecke im Rahmen der Niedrigwasserregelung ab 1931 noch durchgeführten „Grobausbau“ zurückzuführen, während in der Erosionsstrecke und zwischen km 290,7 und 394,6 entsprechend der Angaben in [Arp/Hirsch, 1935] bereits vor der Niedrigwasserregelung die heute

die Breiteneinengung verantwortlich. Die Problematik der Reststrecke der Elbe mit dem fehlenden „Grobausbau“ entsprechend der um ca. 40 m verringerten Normalbreite wird auch durch die Spitze der aktuellen Breitenwerte in Bild 10 sichtbar.

Anmerkung: ⁶Bei einer Bühnenkopfneigung von 1:5 an jedem Ufer entspricht ein Wasserspiegelverfall von 1 m einer Breiteneinengung des Wasserspiegels von 10 m.

Für den aktuellen Zustand wurden zum Vergleich zusätzlich zu den Angaben zwischen den Buhnen die Abschnittsmittel der Gesamtwasserspiegelbreiten (an Hektometerprofilen) aufgetragen (hellblaue Linie in Bild 10). Diese Auswertungen „ohne Buhnen“ basieren auf den Originalpeilungen, d.h. Buhnen sind nur dann enthalten, wenn sie durch das Querprofil geschnitten werden. Da bei biotischen Betrachtungen oft das Verhältnis von Maximum zu Minimum der Breite in einem Untersuchungsabschnitt bewertet wird [Fleischhacker et al., 2000], ergänzen diese Angaben für die aktuellen Pei-

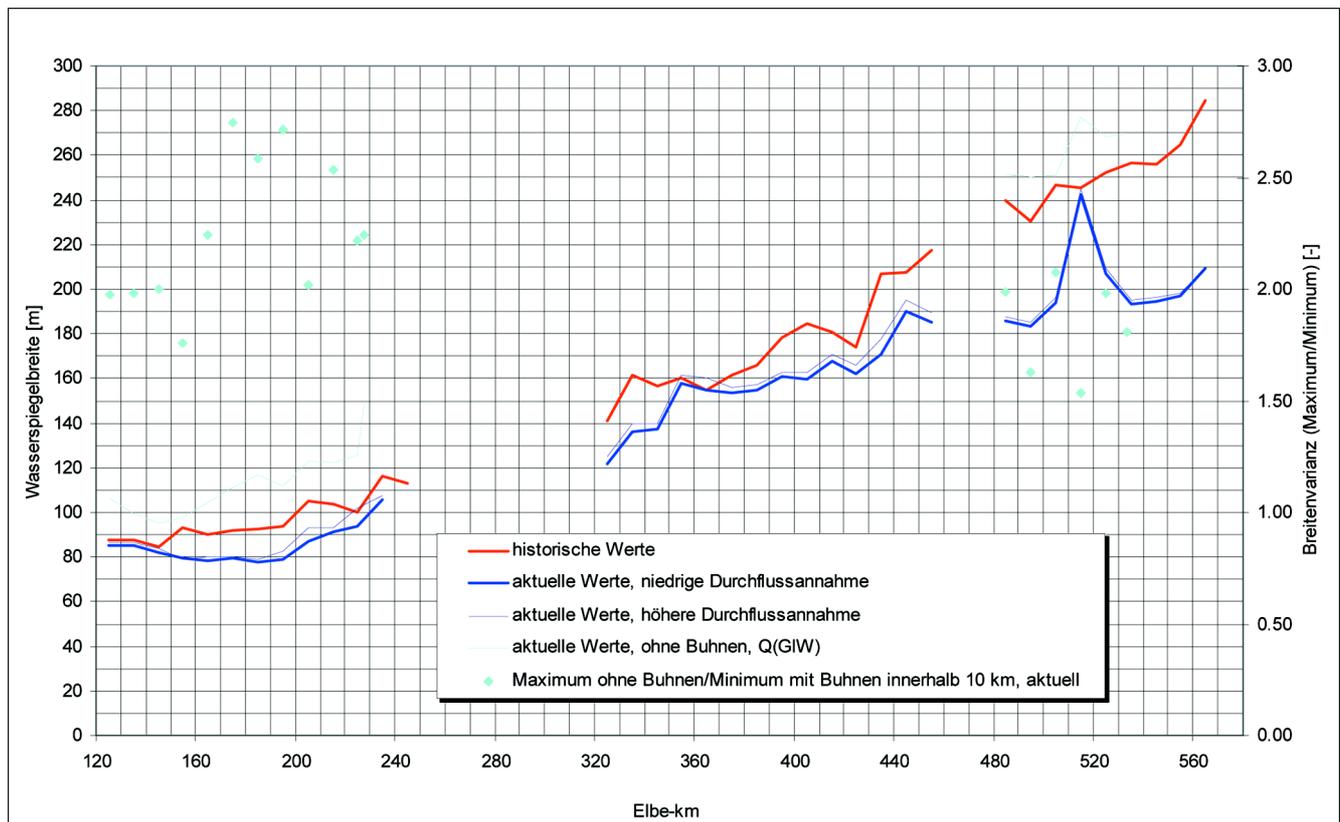


Bild 10: Vergleich der Wasserspiegelbreite in 10 - km-Abschnitten bei langjährigem Mittelniedrigwasser

geforderten Normalbreiten vorhanden waren (Bild 12). Die leichte Verringerung der Breiten in der Erosionsstrecke und zwischen km 320 und 395 ist in den hauptsächlich mit Buhnen geregelten Strecken auf den Wasserspiegelverfall in Folge der Sohleneintiefung zurückzuführen⁶. Zwischen km 395 und 455, wo in weiten Teilen keine wesentliche Sohleintiefung in 100 Jahren auftrat (Bild 2), ist der nochmalige Ausbau mit um 18 bis 30 m verringerten Normalbreiten (siehe Bild 12) für

lungen Bild 10. Die Minima entsprechen der im 10 km-Abschnitt geringsten Wasserspiegelbreite bei MNW zwischen den Buhnen. Die Maxima wurden aus den Querprofilen „ohne Buhnen“ ermittelt. Vergleicht man die mittlere Wasserspiegelbreite bei MNW („ohne Buhnen“) mit der zwischen den Buhnen, so ist in beiden Strecken aktuell eine mittlere beidseitige Bühnenfeldtiefe von etwa 30 % der Gesamtbreite bei MNW festzustellen. Die deutlich geringeren Verhältniswerte von

Maximum („ohne Buhnen“) zu Minimum (mit Buhnen) in der Strecke km 480 bis 540 gegenüber der Erosionsstrecke sind deshalb wahrscheinlich nicht einer grundsätzlich schwächeren Einengung durch den Ausbau gegenüber dem vorgefundenen Zustand geschuldet, eher führten die wegen der natürlichen Gegebenheiten engeren Querschnitte in der Erosionsstrecke zu geringerer Verlandung der Buhnenfelder. Ohne genaue Kenntnis der ursprünglichen Wasserspiegelbreiten vor dem Mittelwasserausbau sind Bewertungen dieser Art jedoch schwierig, zumal keine exakten Angaben zum Verlandungsverhalten in der gesamten Binnenelbe verfügbar sind.

Durch die Veränderung der hydraulisch wirksamen Durchflussflächen und Gefälle innerhalb von 100 Jahren ist ebenfalls eine Veränderung der mittleren Geschwindigkeiten (ermittelt aus bekanntem Durchfluss und zugehöriger Fläche) zu verzeichnen (Bild 11). Grundsätzlich kann – abgesehen von der Stadtstrecke Magdeburg - von einer Vergleichmäßigung der im Längsschnitt betrachteten Fließgeschwindigkeiten gesprochen werden. Bei MNW hat sich im aktuellen Zustand des Strombettes die mittlere Fließgeschwindigkeit im Mittel um etwa 10 % gegenüber dem Zustand am Ende des 19. Jahrhunderts erhöht, bei Verringerung der Fließgeschwindigkeit in einigen Strecken (z.B. km 130 bis 150). Die exakte Bewertung des Vergleichs der mittleren Fließgeschwindigkeiten gestaltet sich u.a. wegen folgender Einflussgrößen schwierig:

- Die historischen Querprofile wurden zwischen den Buhnenköpfen aufgemessen und sind deshalb tendenziell breiter als die aktuell senkrecht zur Achse gepellten Profile. Daraus ergeben sich für den historischen Zustand generell zu niedrig (etwa bis 10 %) angesetzte mittlere Geschwindigkeiten.
- Fehler in der Zuordnung der historischen Durchflusswerte (denkbar in der Größenordnung von 10 %) führen zu entsprechenden Fehlern bei den Fließgeschwindigkeiten.
- Die Durchfluss-Messverfahren änderten sich in 100 Jahren deutlich.

Aussagen hinsichtlich der Transportkräfte des Flusses und ihrer Veränderung innerhalb der letzten 100 Jahren sind auf der Grundlage des bisher ausgewerteten historischen Datenmaterials nicht möglich:

- Bewertungen hinsichtlich der Transportkräfte müssten bei „bettbildenden“ Durchflüssen vorgenommen werden. Diese Durchflüsse liegen in allen Strecken deutlich über den mittleren Niedrigwasserdurchflüssen. Für höhere Durchflüsse liegen die historischen Daten großräumig nicht vor.
- Schlussfolgerungen bezüglich z.B. der Erosionsgefährdung müssten die Verfügbarkeit von transportierbarem Feststoffmaterial mit einbeziehen. Hierüber sind aus der Vergangenheit keine Angaben vorhanden.

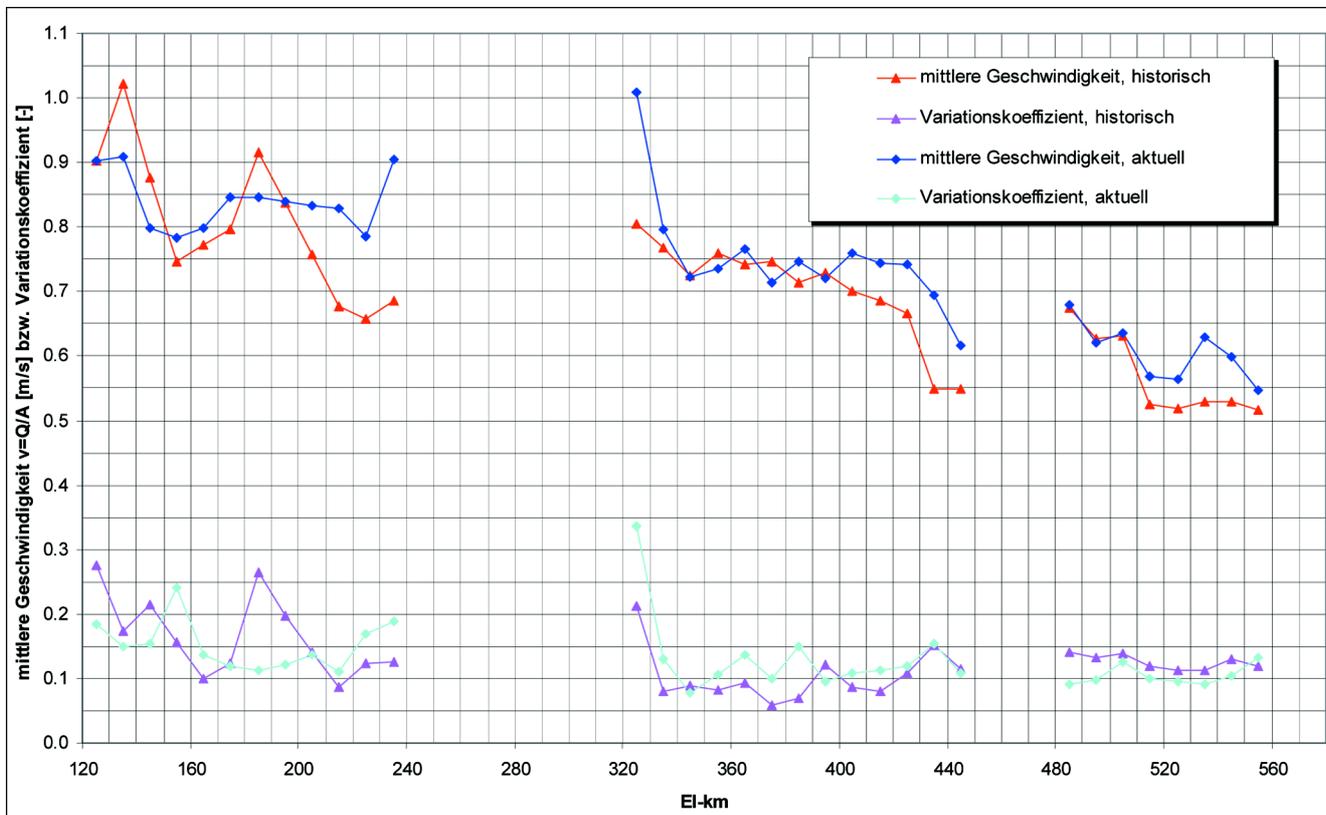


Bild 11: Vergleich der mittleren Geschwindigkeiten bei MNW und deren Standardabweichungen für 10 km - Abschnitte für die 1880er- und 1990er-Jahre

4 Normalbreiten und Bauwerkssollhöhen

Die Zusammenstellung der vorhandenen und der Sollbreiten bei mittlerem Durchfluss seit 1898 in Bild 12 verdeutlicht ergänzend zu Bild 10 die Verschmälerung des Fahrwassers zugunsten der Vergrößerung der Tiefe (Bild 8). Allerdings änderten sich die vorhandenen Breiten zwischen den natürlichen Ufern kaum. Sie betragen 1898 in der Erosionsstrecke 200 bis 350 m [Elbestrom, 1898], während sich aktuell bei den Uferbreiten lediglich die Minimalwerte durch Baumaßnahmen (z.B. Krümmungsabflachung bei Klöden 1926/27, neue Breite ca. 100 m) verringert haben. In der Strecke zwischen km 480 und 536,5 sind keine signifikanten Veränderungen der Uferbreiten festzustellen (226 bis 600 m [Elbestrom, 1898]).

In Bild 12 wurden neben den Normalbreiten in der historischen Entwicklung die Wasserspiegelbreiten bei Mittelwasser (bei MQ1964/95) für den Zustand der 1990er Jahre in zwei Strecken eingetragen. In der Erosionsstrecke basieren die Werte auf den Messungen der Hektometerprofile, während in dem Abschnitt ab El-km 480 die Peilungen teilweise nur im 500 m – Abstand vorlagen. Durch den 100 m – Profilabstand beinhalten die Peilungen in der Erosionsstrecke auch Profile, die über den Buhnen liegen, was sich in den Minima widerspiegelt. Die Maxima sind aber generell geringer als die Breiten zwischen den Ufern des Gewässerbettes, da

die Höhe der Ufer nicht dem MW sondern dem Wasserspiegel bei langjährigem mittlerem Hochwasser bis etwa fünfjährigem Hochwasser entspricht. Für die Strecke unterhalb km 480 wurden die Breitenminima zusätzlich auch für Datensätze von Profilen mit „Buhenschatten“ ermittelt. Diese Minima entsprechen jeweils in etwa der vorhandenen Normalbreite. Der nicht realisierte „Grob-ausbau“ in der Reststrecke (km 508 bis 521) ist auch in dieser Darstellung zu erkennen.

Als Bauwerke zur Regelung des Gewässerbettes kamen hauptsächlich Mittelwasserbauwerke (Buhnen, Längswerke) zum Einsatz. Die Kronenhöhe dieser Bauwerke wurden in der Flachlandstrecke in Höhe des langjährigen Mittelwassers ausgeführt. Die Untersuchungen der BfG [BfG, 1999] zeigten keine signifikanten Trends im langjährigen Abflussverhalten im MQ-Bereich. Durch die Baumaßnahmen des Mittel- und Niedrigwasser-ausbau - einschließlich der dadurch bedingten Veränderung der Sohlengestalt – veränderten sich jedoch die Wasserspiegel der langjährigen Durchflussreihen. So sind in Strecken mit starker Sohlenerosion die ursprünglich als Mittelwasserbauwerke gebauten Buhnen aktuell noch bei Durchflüssen bis zum doppelten MQ regelungswirksam. Dies führt zu einer weiteren Verstärkung der Sohlenbelastung und fortschreitender Erosion. Ein Vergleich der Wasserspiegel bei langjährigem MQ zeigt die Abschnitte, in denen ggf. die Anwendung neuer Bauwerkssollhöhen bei Unterhaltungsmaßnahmen zu prüfen ist, da die historischen Bauwerkssollhöhen (aus

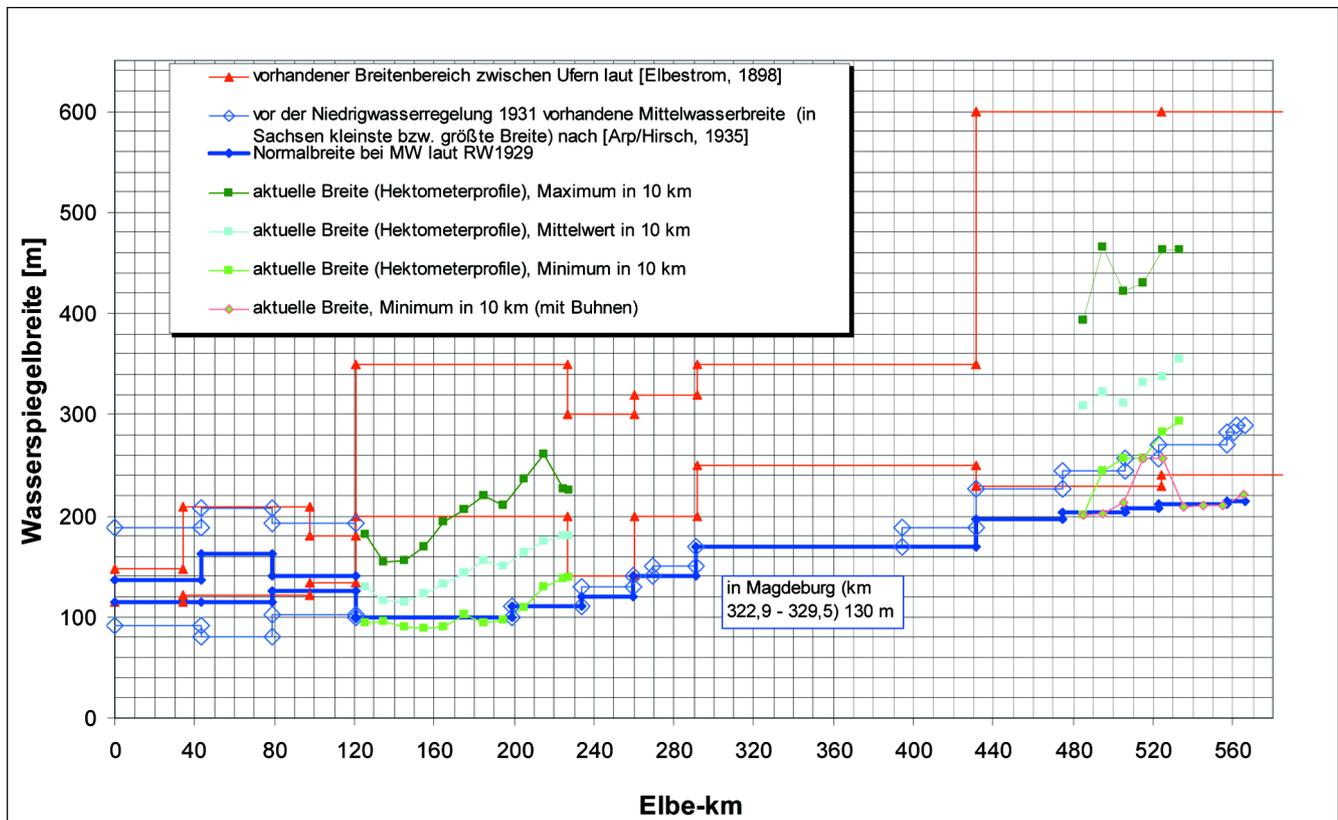


Bild 12: Vorhandene und Normalwasserspiegelbreiten bei mittlerem Durchfluss

Wasserstandsreihen⁷⁾ deutlich höher liegen als die aktuell berechneten Werte (Bild 13).

Anmerkung: ⁷⁾Langjährige Wasserstandsreihen sind in morphologisch veränderlichen Strecken nur eingeschränkt geeignet für die Festlegung von Sollhöhen [BAW, 1991 und 1998].

Niedrigwasser repräsentieren. Der aktuelle GIW wurde auf der Grundlage von Dauerzahlen ermittelt [BAW, 1991 und 1998].

Für die Ausbaurichtlinien und die erreichten Fahrwassertiefen wurde für den Oberlauf und die Untere Mittelelbe versucht, die historischen Angaben auf den GIW

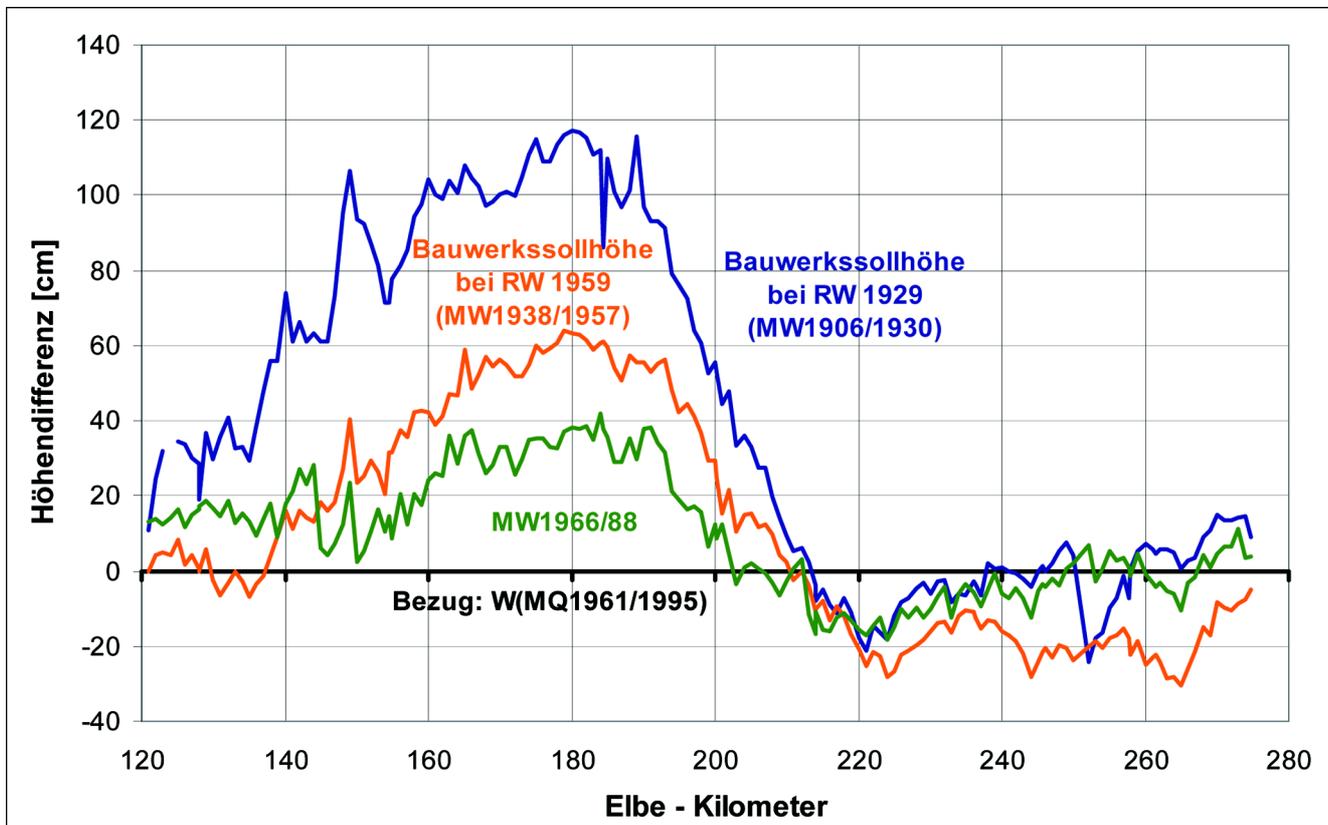


Bild 13: Differenz verschiedener Bauwerkssollhöhen bezogen auf die aktuell berechneten Sollhöhen (Wasserstand bei MQ 1961/95)

Untersuchungen der BAW [BAW, 2000] weisen jedoch darauf hin, dass die Anpassung der Mittelwasserbauwerke durch Tieferlegen der Bauwerkskrone als Standard-Regelungsmaßnahme nicht geeignet ist. Durch das Tieferlegen der Bauwerke kommt es auch zu späterer Ausuferung und Veränderungen in den angrenzenden Abschnitten, so dass je nach Streckencharakteristik durch die Anpassung der Bühnenhöhen sogar eine langfristig und großräumig größere Sohleneintiefung hervorgerufen werden kann als sie unter Beibehaltung der relativ zu hohen Bauwerke zu erwarten ist.

5 Fahrwassertiefen

Aussagen über Zielfahrwassertiefen beziehen sich jeweils auf definierte Durchflüsse und sind deshalb schlecht vergleichbar, wenn die Bezugsdurchflüsse stark voneinander abweichen. Ursprünglich wurden extreme Niedrigwasserereignisse für die Definition der Zielvorstellungen zu Grunde gelegt. Der RW 1959 basiert auf Beharrungswasserständen, die kein extremes

1989*(20d) zu normieren, um den Anspruch der Ziele und die erreichten Fahrwassertiefen vergleichen zu können. Die Normierung ist insofern problematisch, als sie zum Einen von der Güte der jeweiligen Wasserstands-Durchfluss-Beziehungen abhängig ist und zum Anderen die vorhandenen Fahrwassertiefen Veröffentlichungen entnommen wurden, die oftmals umfangreiche Tauchtiefenbetrachtungen für längere Strecken vereinfachend auf eine Zahl bringen mussten. Damit geht die Information verloren, ob nur eine oder mehrere Fehltiefenstellen diese Mindestfahrwassertiefe begründen. Nicht berücksichtigt wurde die abweichende Fahrrinnenbreite. Trotzdem ergeben sich interessante Vergleiche:

	aktuell	Dresden	Neu Darchau
Q_{GIW} [m ³ /s]		128	289
Ziel Fahrrinntiefe [cm]		160	160

historisch	MW-Ausbau		NW-Ausbau 1931 RW 1929		RW 1959	
	Dresden	Darchau	Dresden	Darchau	Dresden	Darchau
NW des Jahres	1893	1893	1904	1904	1959	1959
Bezugsdurchfluss [m³/s]	57,4	166	45	130	101	252
Ziel Fahrwassertiefe [cm]	94 (110)	94	110	140	125	135
Entspricht bezogen auf Q_{GIW} etwa einer Fahrwassertiefe von [cm] ⁸	147	154	176	215	152	145
Vor Ausbau vorhandene (geringste) Fahrrinntiefe [cm]	70 ⁹	75 ⁹	55 ¹⁰	80 ¹⁰	116 ¹¹	115 ¹¹
Entspricht bezogen auf Q_{GIW} etwa einer Fahrwassertiefe von [cm] ⁸	123	135	121	155	143	125

Anmerkungen:

⁸ Nutzung der jeweils gültigen Schlüsselkurven nach [Glazik, 1963]

⁹ nach [Elbestrom, 1898] für km 0 bis 121,8 bzw. zwischen km 432 bis 524

¹⁰ nach [Arp/Hirsch, 1935] vorhandene Mindestfahrwassertiefen oberhalb der Saalemündung bzw. unterhalb der Havelmündung

¹¹ erforderliche Verbesserung nach [VE Projektierung, 1961] an mehreren Stellen bis km 109,4 bzw. Stabilisierung wandernder Sänder (Annahme: Verbesserung 20 cm)

Für den Zustand am Beginn der 1990er-Jahre wurde in [WSD Ost, 1995] festgestellt, dass das Ziel des RW 1959 in Trockenjahren unterschritten wurde:

Beginn der 1990er Jahre	Landesgrenze bis Magdeburg	Havelberg bis Lauenburg
Fehlende Tiefe [cm]	15	40
Vorhandenen Tiefe bezogen auf RW 1959 [cm]	110	95
Vorhandenen Tiefe bezogen auf Q_{GIW} [cm]	137	105

Die Aussage, dass z.B. im Oberlauf der deutschen Elbe beim Mittelwasserausbau Ende des 19. Jahrhunderts 94 cm Fahrwassertiefe, beim Niedrigwasserausbau laut RW 1929 110 cm, für den RW 1959 125 cm erreicht werden sollten und für den GIW aktuell 160 cm angestrebt werden, assoziiert eine immer stärkere Herausforderung des Flusses. Betrachtet man die auf den GIW normierten Fahrwassertiefen, zeigt sich, dass die Forderungen des Mittelwasserausbaus und des RW 1959 nur etwa einen Dezimeter geringer waren als das aktuelle Ziel. Das Ziel des Niedrigwasserausbaus war aber deutlich anspruchsvoller als alle anderen Vorstellungen.

Mittlerweile hat sich herausgestellt, dass die Zielvorstellungen des RW 1929 in weiten Bereichen mit strom-

baulichen Maßnahmen nicht zu erfüllen sind, zumal ergänzende Maßnahmen (Zuschusswasser aus Talsperren, Staustufe bzw. nach heutiger Definition „Kulturwehr“ bei Magdeburg) nicht mehr zur Verfügung stehen. In der Unteren Mittelelbe ergibt sich eine noch größere Diskrepanz. Auf Grund der großen Sohldynamik (starke Transportkörperbewegung) konnten die ehrgeizigen Ziele bisher nicht annähernd erreicht werden, was sich in einer drastischen Reduzierung der aktuell angestrebten Fahrrinntiefe gegenüber dem Niedrigwasserausbau zeigt.

Der Vergleich der mittleren Tiefen in Bild 8 verdeutlicht, wenn auch nicht für die Fahrrinne, dass sich die verfügbare Wassertiefe innerhalb der letzten 100 Jahre deut-

lich vergrößert hat. Bild 8 zeigt aber auch, dass in einigen Strecken keine Verbesserung erreicht werden konnte. Diese Strecken bestimmen die von der Schifffahrt nutzbare Tiefe. Trotz der generellen Erhöhung der Wassertiefe haben sich deswegen die in den vorangegangenen Tabellen zusammengestellten geringsten vorhandenen Tiefen innerhalb der letzten 100 Jahre erstaunlich wenig geändert. Allerdings treten die Fehltiefen nur noch in wenigen kurzen Abschnitten auf.

6 Zusammenfassung

Prinzipiell ist festzustellen, dass sich die Gewässerstrukturen an der Elbe innerhalb des 19. Jahrhunderts deutlich verändert haben. Wenn auch durch den Deichbau die Begrenzung des Hochwasserbettes erfolgte, die schon im ersten, großräumig und ausreichend genau auswertbaren Kartenmaterial des 18. Jahrhunderts dokumentiert ist, so leitete der Mittelwasserausbau nicht nur eine neue Ära für die Schifffahrt sondern auch für die Flussmorphologie ein. Durch die Einschränkung der Flussdynamik innerhalb eines Hochwasserbettes durch den Deichbau änderten sich zwar wesentliche Phänomene wie Hochwasserablauf und Feststofftransport, vom Grundsatz her konnte der Fluss aber durch Seitenerosion, Insel-, Bank- und Laufverlagerung seine Laufbedingungen auf ähnliche Art wie bisher ständig verändern. Zwischen den Deichen war nach wie vor die Bildung neuer Strukturen (z.B. Rinnen) möglich.

Mit dem Mittelwasserausbau wurde der Fluss nicht nur im Hoch- sondern auch im Gewässerbett begrenzt und damit sein Lauf „eingefroren“. Statt seitliche waren hauptsächlich nur noch Reaktionen in der Tiefe möglich. Auf Änderungen von Parametern wie Gefälle (gestreckterer Gefälleverlauf) und hydraulischer Radius (kompaktere Querprofile) reagierte der Fluss mit Modifikation der Sohlgeometrie, der transportierten Feststoffmengen und der Sohlrauheit (Kornzusammensetzung der Sohle) bzw. änderte sich in Abschnitten mit stark beweglichem Sohlmaterial die Art der Transportkörper (in engeren Querschnitten sind Transportkörper kürzer und weisen eine größere Standardabweichung ihrer Höhen auf [Hentschel, 1999]).

Obwohl eine im Grundriss sichtbare Laufveränderung durch die erfolgte Regelung an der Elbe heute dem Fluss nicht mehr möglich ist, erlauben die vielfältigen Strukturelemente und die verbliebene Abflusssdynamik des hauptsächlich frei fließenden Stromes zeitliche und räumliche Veränderungen verschiedener abiotischer Parameter (z.B. Fließgeschwindigkeit nach Größe, Richtung, Turbulenz; Wassertiefe), die für die Funktion und Erneuerungsfähigkeit des Fluss-Aue-Ökosystems von grundsätzlicher Bedeutung sind. Bedeutsam ist, dass die Ufer über weite Strecken nicht durchgängig befestigt (Laufverlegung verhindert, aber lokale Ufererosion und Anlandung noch möglich) und mit Wegen erschlossen sind. Die Bühnenfelder als im 19. Jahrhundert im

großen Stil neu entstandene Biotope sind dynamischen Veränderungen ausgesetzt und die Auen noch relativ offen mit dem Fluss verbunden (vergleichsweise wenig Siedlungs-, Gewerbe- und Transportflächen in der Aue). „Trotz aller Einschränkungen sind jedoch die gesamte Struktur und das Arteninventar der Elbauen, sowohl wasser- als auch landseitig der Dämme, relativ naturnah erhalten geblieben...“ [Rast, 1992].

Hydraulische Parameter wie Wasserspiegelhöhe, -gefälle und -breite, mittlere Tiefe und Fließgeschwindigkeit konnten nicht für den Zustand einer „ursprünglichen“ Elbe ohne anthropogene Eingriffe sondern lediglich für die Stromzustände am Ende des 19. und 20. Jahrhunderts untersucht werden. Damit wurde der Zustand während bzw. kurz nach dem Mittelwasserausbau mit der aktuellen Situation verglichen.

Nimmt man die Wasserspiegelhöhe bei niedrigen Durchflüssen als Indiz für die Sohlenhöhen, so ist innerhalb der letzten 100 Jahre eine nahezu durchgängige Eintiefung der Stromsohle der Elbe zu verzeichnen. Diese Eintiefung ist sowohl auf die Baumaßnahmen selbst (Baggerungen) als auch auf Materialaufnahme aus der Sohle durch den Fluss zurückzuführen und bewirkte einen Wasserspiegelverfall bei mittlerem Niedrigwasser von bis zu 1,6 m. In einigen Abschnitten ist die ursprüngliche Sohleneintiefung mittlerweile zum Stillstand gekommen bzw. sind nur noch sehr geringe Erosionsgeschwindigkeiten zu verzeichnen, in anderen Strecken hält die Erosion auch aktuell an. Bis El-km 130 sowie zwischen Wittenberg und Geesthacht kann aktuell von keiner ausgeprägten Erosionstendenz mehr gesprochen werden, nachdem der Wasserstandsverfall infolge Mittel- und Niedrigwasserausbau (Ende 19./Anfang 20. Jahrhundert bzw. 30er-Jahre des 20. Jahrhunderts) abgeklungen ist. Die höchsten Eintiefungsgeschwindigkeiten traten und treten in der „Erosionsstrecke“ auf. Hier müssen neben den durch die Wasser- und Schifffahrtsverwaltung bereits eingeleiteten Gegenmaßnahmen (z.B. Geschiebemanagement) Wege der Zusammenarbeit mit den Ländern gefunden werden, um akzeptable Entwicklungsziele abzustimmen und umzusetzen.

Die verschiedenen Baumaßnahmen im 19. und 20. Jahrhundert zur Verbesserung der Schifffahrtsbedingungen sahen hauptsächlich Einschränkungen der Mittelwasserbreiten um bis zu 50 % vor. Mit Ausnahme der Niedrigwasserregelung der 1930er-Jahre - hier waren zu den strombaulichen noch ergänzende Maßnahmen geplant - sahen alle Ausbauziele eine Verbesserung der Mindestfahrwassertiefe im Bereich von zwei bis drei Dezimetern bei Niedrigwasser gegenüber dem jeweils vorliegenden Zustand an den Tauchtiefen bestimmenden Stellen vor. Mit strombaulichen Maßnahmen allein sind – mit vertretbarem (Unterhaltungs-) Aufwand - keine größeren Tiefengewinne erzielbar, und so wurden – mit Ausnahme der Niedrigwasserregelung – bisher sehr ähnliche Ansprüche an die Elbe gestellt. Für den dau-

erhaften Erfolg einer Flussregelung ist allerdings neben der sorgfältig geplanten und ausgeführten einmaligen baulichen Veränderung an kritischen Stellen eine regelmäßige Unterhaltung erforderlich, die die dauerhafte Regelungswirksamkeit der Bauwerke sicher stellt. Unterbleibt diese kontinuierliche Unterhaltung an vergleichsweise morphologisch dynamischen Flüssen wie der Elbe, so werden die durch die Baumaßnahme erreichten Schifffahrtsverhältnisse nicht dauerhaft verfügbar sein. Letztendlich zeigt sich die erreichte Verbesserung der Schifffahrtstiefe nicht an dem Maß der erreichten Fahrwassertiefe allein, wesentlich (auch für den Unterhaltungsaufwand) ist, dass sich die Anzahl der Tauchtiefen bestimmenden Stellen in den letzten 100 Jahren deutlich verringert hat. Die aktuell angestrebte Wassertiefe von 1,6 m unter GIW ist in weiten Bereichen der Elbe bereits verfügbar. Darüber hinaus konnten weitere bedeutsame Schifffahrtsbedingungen, wie z.B. Krümmungsradien, Veränderlichkeit der Lage der Fahrrinne, Querprofilform (besonders Fahrinnenbreite) im historischen Vergleich bisher nicht berücksichtigt werden.

Der Vergleich von historischem mit dem aktuellem Stromzustand wird künftig weitergeführt, um die Entwicklung abiotischer Parameter besser quantifizieren zu können. Das Wissen um die Art und Größe dieser Veränderungen und deren Auswirkungen auf die Funktionsfähigkeit des Ökosystems Elbe sowie die Nutzungen des Flusses ist eine Grundlage für die Wahl angemessener wasserbaulicher Methoden bei Ausbau und Unterhaltung der Elbe.

7 Literaturverzeichnis

- [Alexy/Fuehrer/Kühne, 1995] Alexy, M., Fuehrer, M., Kühne, E.: Verbesserung der Schifffahrtsverhältnisse auf der Elbe bei Torgau. Vorbereitung, Ausführung, Erfolgskontrolle. In HANSA, Band 90, Hamburg, 1995, S. 71 - 78
- [Arp/Hirsch, 1935] Arp, (Ministerialrat); Hirsch, Arnold: Die Pläne zur Niedrigwasserregulierung der Elbe von der Reichsgrenze bis Hamburg. In Deutsche Wasserwirtschaft 15 (1935)1 1, S. 223 - 234 und 15 (1935) 12, S. 254 - 256
- [Bauverwaltung, 1885] Königliche Elbstrom – Bauverwaltung: Die Bestimmung von Normalprofilen für die Elbe von der sächsisch-preußischen Grenze bis Geesthacht, Magdeburg, 1885
- [BAW, 1991] Bericht über die Entwicklung der Mittel- und Niedrigwasserstände der Elbe seit Festlegung des Regulierungswasserstandes 1959, Bundesanstalt für Wasserbau, Berlin, 1991 (unveröffentlicht)
- [BAW, 1996] Vorträge zum BAW - Kolloquium "Flussbauliche Untersuchung zur Stabilisierung der Erosionsstrecke der Elbe" am 9.3.1995 in Berlin, BAW - Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau Nr. 74, Karlsruhe 1996
- [BAW, 1998] Pflege des GIW an der Elbe, Gutachten der Bundesanstalt für Wasserbau (unveröffentlicht), Berlin, 1998
- [BAW, 1999] Untersuchungen der Auswirkung von Maßnahmen im Elbevorland auf die Strömungssituation und die Flussmorphologie am Beispiel der Erosionsstrecke und der Rückdeichungsbereiche zwischen Wittenberge und Lenzen, Zwischenbericht 1998, Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe, 1999, (FKZ0339575 - unveröffentlicht)
- [BAW, 2000] Erosionsstrecke der Elbe. Hydraulisches Modell „Mockritz-Döbern“, Elbe-km 160,2 bis 164,0, Gutachten der Bundesanstalt für Wasserbau (unveröffentlicht), Karlsruhe, 2000
- [BfG, 1994] Historische Entwicklung der aquatischen Lebensgemeinschaft (Zoobenthos und Fischfauna) im deutschen Abschnitt der Elbe, Bundesanstalt für Gewässerkunde, (unveröffentlicht) Koblenz, 1994
- [BfG, 1999] Untersuchungen zum Abflussregime der Elbe, Bundesanstalt für Gewässerkunde, Bericht Nr. 1228 (unveröffentlicht) Berlin, 1999
- [Bornhöft/Gruber, 1998] Bornhöft, Dirk; Gruber, Bettina: Stromlandschaft der Elbe. In Wasserwirtschaft Wassertechnik, Nr. 7, 1998, S. 8 - 12
- [Deutsches Historisches Museum, 1992] Die Elbe – Ein Lebenslauf, Ausstellungskatalog, Deutsches Historisches Museum und Nicolaische Verlagsbuchhandlung Beuermann GmbH, Berlin 1992
- [Dohms/Fröhlich/Faist, 1990] Hydrologische und flussmorphologische Veränderungen der Elbe. In Deutsche Gewässerkundliche Mitteilungen 1990, Nr. 4, S. 106 - 110
- [Eckholdt, 1998] Eckholdt, Martin: Flüsse und Kanäle. Die Geschichte der deutschen Wasserstraßen, DSV-Verlag, Hamburg, 1998
- [Elbestrom, 1898] Königliche Elbstrombauverwaltung Magdeburg, Herausgeber: Der Elbstrom, sein Stromgebiet und seine wichtigsten Nebenflüsse. Eine hydrographische, wasserwirtschaftliche und wasserrechtliche Darstellung. Im Auftrag der deutschen Elb- uferstaaten und unter Bethheiligung des preußischen Wasser-Ausschusses, Berlin: Verlag von Dietrich Reimer, (1898)
- [Engel, 1991] Engel, H.: Wasserstände und Abflüsse der Elbe im Bereich der ehemaligen Grenzstrecke zur DDR; Bundesanstalt für Gewässerkunde. In Elbe-Aussprachetag in der BAW – Außenstelle Berlin, Bundesanstalt für Wasserbau (Hrsg.), Karlsruhe 1991 (unveröffentlicht)
- [Faist, 1969] Faist, Helmut: Zur Geschichte der Abflussmessung in der Elbe. In Wasserwirtschaft Wassertechnik, 19 (1969) Heft 7/8
- [Faist/Trabandt, 1996] Faist, Helmut; Trabandt, Willi: Stromregelung und Ausbau der Elbe. In Wasserwirtschaft Wassertechnik, Nr. 7, 1996, S. 22 - 27
- [Faist, 1997] Faist, Helmut: Die Elbe als Schifffahrtsweg. In Historisches vom Strom, Dampf- und Motorschiffe auf der Elbe, Verlag Krüpf Ganz, Band XV / I, Duisburg, 1997

- [FAS, 1964] Bericht über Modellversuche für den Hochwasserabfluss der Elbe von Ferchland bis Hitzacker – km 375 bis 523, Forschungsanstalt für Schifffahrt, Wasser- und Grundbau, Berlin, 1964 (unveröffentlicht)
- [Faulhaber, 1998] Faulhaber, P.: Entwicklung der Wasserspiegel- und Sohlenhöhen in der deutschen Binnenelbe innerhalb der letzten 100 Jahre – Einhundert Jahre „Elbestromwerk“ in Gewässerschutz im Einzugsgebiet der Elbe. In 8. Magdeburger Gewässerschutzseminar, Teubner Stuttgart, Leipzig, 1998
- [Fleischhacker et al., 2000] Fleischhacker, Th.; Kern, K.; Sommer, M.: Ecomorphological Survey of Large Rivers - Monitoring and Assessment of Physical Habitat Conditions. In Archiv für Hydrobiologie – Supplement „Large Rivers“ (im Druck)
- [Fügner, 1984] Fügner, D.: Neue Ergebnisse der Hochwasserberechnung für den Elbstrom in Dresden. In Wasserwirtschaft Wassertechnik, Nr. 8, 1984, S. 189-192
- [Fügner, 1990] Fügner, D.: Die historische Entwicklung des hydrologischen Messwesens in Sachsen. In Deutsche Gewässerkundliche Mitteilungen 34 (1990) Nr. 5/6, S. 156-160
- [Fügner, 1995] Fügner, D.: Hochwasserkatastrophen in Sachsen, Tauchaer Verlag, Leipzig, 1995
- [Gierloff-Emden, 1953] Gierloff-Emden, H. G.: Flussbettveränderungen in rezenter Zeit, Ein Beitrag zur Morphologie der Flusssohle von Flachlandflüssen am Beispiel der Elbe. In Erdkunde, Band VII, Nr. 4, 1953
- [Glazik, 1963] Glazik, G.: Studie über die Möglichkeiten zur Erhöhung der Tauchtiefe der Elbe durch Niedrigwasserregelung. (ausführliche Fassung, unveröffentlicht), Forschungsanstalt für Schifffahrt, Wasser- und Grundbau Berlin, 1963
- [Glazik, 1964] Glazik, G.: Veränderungen der Wasserspiegel- und Sohlenlagen der Elbe. In Wasserwirtschaft Wassertechnik 14 (1964), Nr. 11, S. 332 - 337
- [Glazik, 1993] Glazik, G.: Zur Abschätzung der Sedimenttransportverhältnisse in der Elbe als Grundlage wasserbaulicher Maßnahmen, Wustrow 1993 (unveröffentlicht)
- [Glazik, 1994] Glazik, G.: Die Sohlenerosion der Elbe (Teil 1 und 2). In Wasserwirtschaft Wassertechnik, Nr. 7, S. 32 - 35 und Nr. 8, S. 36 - 43, 1994
- [Gölz, 1991] Gölz, Emil: Geologisch-morphologische Übersicht der Elbe zwischen Schnackenburg und Geesthacht, Bundesanstalt für Gewässerkunde. In Elbe-Aussprachetag in der BAW – Außenstelle Berlin, Bundesanstalt für Wasserbau (Hrsg.), Karlsruhe 1991 (unveröffentlicht)
- [Harms/Kiene/Nestmann, 1998] Harms, O., Kiene, S. Nestmann, F.: Gewässerstrukturen der Elbe, ihre Entwicklung, ihre ökologische Bedeutung und ihre Entwicklungsmöglichkeiten. In Auenreport – Beiträge aus dem brandenburgischen Naturpark Elbtalau, Nr. 4, Landesanstalt für Großschutzgebiete (Hrsg.), Rühstädt, 1998
- [Häusler, 1907] Häußler, Gustav: Beiträge zur Kenntnis der Stromlaufveränderungen der mittleren Elbe; Diss. Philosoph. Fakultät, Friedrichs-Uni. Halle Wittenberg, 1907
- [Helms/Belz/Ihringer, 1999] Helms, M., Belz, S., Ihringer, J.: Analyse und Simulation von Abflusszeitreihen der Elbe. In Dynamik und Interaktion von Fluss und Aue, Tagungsband der Fachtagung Elbe vom 4.-7.5.1999 in Wittenberge, Universität Karlsruhe (Hrsg.), IWK, Karlsruhe, 1999
- [Hentschel, 1999] Hentschel, Bernd: Morphologische Untersuchungen zur Verbesserung der Schifffahrtsverhältnisse zwischen Dömitz und Hitzacker. In Tagungsband Hafenbautechnische Gesellschaft, HTG-Kongress '99, Häfen, Wasserstraßen, Küstenschutz, Magdeburg 22. - 25.9.1999
- [IKSE, 1994] Ökologische Studie zum Schutz und zur Gestaltung der Gewässerstrukturen und der Uferandregionen, Internationale Kommission zum Schutz der Elbe (Hrsg.), Magdeburg, 1994
- [IKSE, 1995a] Die Elbe und ihr Einzugsgebiet, Internationale Kommission zum Schutz der Elbe (Hrsg.), Magdeburg, 1995
- [IKSE, 1995b] Die Elbe. Erhaltenswertes Kleinod in Europa, Broschüre Internationale Kommission zum Schutz der Elbe (Hrsg.), Magdeburg, 1995
- [IKSE, 1996] Simon, M.: Hochwasserschutz im Einzugsgebiet der Elbe, Internationale Kommission zum Schutz der Elbe (Hrsg.), Magdeburg, 1996
- [Jüngel, 1993] Jüngel, Karl: Die Elbe, Geschichte um einen Fluss. Anita Tykve Verlag 1993,
- [Kanowski, 1992] Historische Entwicklung und heutige Bedeutung des Hochwasserschutzes an der Elbe im Bundesland Sachsen-Anhalt. In Tagungsband 4. Magdeburger Gewässerschutzseminar in Špindleruv Mlyn 1992, S. 225
- [Käubler, 1962] Käubler, Rudolf: Zur Geschichte der sächsischen Elbe. In Wiss. Zeitschrift der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Jahrgang XI 1962, Math.-Naturwiss. Reihe, Heft 8, S. 941 ff., 1962
- [Kersten, 1930] Kersten, W.: Ein Beitrag zur Geschichte der Elbverlegungen im 17. und 18. Jahrhundert. In Geschichtsblätter für Stadt und Land Magdeburg 65 (1930) S. 130 - 146
- [Klaus, 1949] Klaus, O.: Die Niedrigwasserregelung der Elbe. Die Bautechnik 26 (1949), Nr. 8, Seite 236-241 und Nr. 11, S. 338 - 341
- [Kleeberg, 1996] Kleeberg, H.-B.: Hochwassertrends in Deutschland. In Tagungsband Klimaänderung und Wasserwirtschaft, 27. - 28.11.1995 in München, Institut für Wasserwesen der Universität der Bundeswehr München, Heft 56a/1996, S. 155 - 167
- [Kranawettreiser, 1983] Kranawettreiser, Jörg: Vorzugslösung für das Hochwasser-Schutzsystem im Flachland unter besonderer Berücksichtigung der unteren Elbe, Dissertation TU Dresden, 1983
- [Leßmann, 1994] Leßmann, W.: Vorschläge zur Verbesserung des gewässerökologischen Zustandes der Elbe im Auebereich zwischen südöstlicher Landesgrenze Sachsen-Anhalts und Aken. In Tagungs-

- band 6. Magdeburger Gewässerschutzseminar in Cuxhaven 1994, S. 321-325
- [Metschies, 1939] Metschies, W.: Der Ausbau der Elbe zum schiffbaren Strom. In Bautechnik, Berlin, 1939, Nr. 45
 - [Naumann, 1990] Naumann, Karl-Eduard: Die Wasserstraßen im Elbegebiet, Verein zur Förderung des Elbstromgebietes e.V. (Hrsg.), Hamburg, 1990
 - [Paluska, 1992] Biografie und geologische Vorgeschichte der norddeutschen Ästuare, erläutert am Beispiel der Elbe. In Berichte Zentr. Meeres- und Klimaforschung, Hamburg, 1992, Nr. 19, S. 1 - 32
 - [Rast, 1992] Rast, Georg: Wasserbau und Naturschutz an großen Flüssen – Konflikte, Möglichkeiten zur Zusammenarbeit. In Berichte des Landesamtes für Umweltschutz Sachsen/Anhalt, Halle (1992) 5, S. 12 - 21
 - [Rohde, 1971] Rohde, H.: Eine Studie über die Entwicklung der Elbe als Schifffahrtsstraße. In Mitteilungen des Franzius Institut, Hannover, 1971, Nr. 36
 - [Rommel, 1998] Rommel, Jochen: Geologie des Elbtales nördlich von Magdeburg. Diplomarbeit, Geologisches Institut der Universität Karlsruhe, 1998
 - [Rommel, 2000] Rommel, J.: Studie zur Laufentwicklung der deutschen Elbe bis Geesthacht seit ca. 1600, im Auftrag der Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz – Berlin, 2000 (unveröffentlicht)
 - [Schmidt/Faulhaber, 1998] Schmidt, A., Faulhaber, P.: Geschiebezugabe in der Erosionsstrecke der Elbe. In Binnenschifffahrt (ZfB) Nr. 23, Dezember 1998, S. 41 - 45
 - [Simon, 1993] Simon, Manfred: Die Elbe und ihr Einzugsgebiet. In Wasserwirtschaft Wassertechnik, Nr. 7, 1993
 - [Simon, 1996] Simon, M.: Anthropogene Einflüsse auf das Hochwasserabflussverhalten im Einzugsgebiet der Elbe. In Wasser und Boden, Nr. 2, 1996, S. 19 - 23
 - [Staatsbib, 1993] Flüsse im Herzen Europas, Ausstellungskatalog Kartenabteilung, Staatsbibliothek zu Berlin, 1993,
 - [STAU MD, 1993] Auswirkungen wasserbaulicher Maßnahmen auf die Struktur der Elbauen – prognostisch mögliche ökologische Verbesserungen, Informationsschrift des Staatlichen Amtes für Umweltschutz Magdeburg (Hrsg.), 1993
 - [StAWA, 1992] Ökologische Aufwertung von Bühnenfeldern und Vorlandgewässern an der Elbe, Informationsschrift des Staatlichen Amtes für Wasser und Abfall Lüneburg (Hrsg.), 1992
 - [TU Dresden, 1994] Die Elbe im Kartenbild, Vermessung und Kartierung eines Stromes, TU Dresden, Inst. für Kartographie, Dresden 1994
 - [VE Projektierung, 1961] Berechnung des RW 1959 und Festlegung der Mindestfahrwassertiefen und Sollsohlen der Elbe und Bauwerkssollhöhen, VE Projektierungsbetrieb für Wasserstraßen Berlin, Außenstelle Magdeburg, 1961 (unveröffentlicht)
 - [WSD OST, 1995] Strombaumaßnahmen an der Elbe, El-km 0,0 bis 607,5, Entwurf -HU, Wasser- und Schifffahrtsdirektion Ost, Berlin, 1995 (unveröffentlicht)