



Forschungskonzeption

Ökologische Forschung in der Stromlandschaft Elbe (Elbe-Ökologie)

des Bundesministeriums für Bildung, Wissenschaft und Forschung (BMBF)

Verbundvorhaben (FKZ 0339566)

“Morphodynamik der Elbe”

Abschlußbericht der Verlängerungsphase

Teilprojekt I.3

**1-D-Modellierung der Wasserspiegellagen
und des Feststofftransports**

Dezember 2000

Verbundprojekt "Morphodynamik der Elbe"

Teilprojekt I.3

1D-Berechnung der Wasserspiegellagen und des Feststofftransports

Projektlaufzeit: 01. August 1996 – 30. September 1999, verlängert bis 31.12.2000

Projektleitung: Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. F. Nestmann

Institut für Wasserwirtschaft und Kulturtechnik
Universität Karlsruhe (TH)
Kaiserstr. 12
76128 Karlsruhe

Projektpartner: Prof. Dr.-Ing. G. Meon (Hydrologie und Wasserwirtschaft)

Prof. Dr.-Ing. K. Rathke (Hydraulik und Wasserbau)

Fachbereich Technischer Umweltschutz (FBTU)
Universität-GH Paderborn / Abteilung Höxter
An der Wilhelmshöhe 44
37671 Höxter

Bearbeitung: **Dipl.-Ing. K. Otte-Witte**

Fachbereich Technischer Umweltschutz (FBTU)
Universität-GH Paderborn / Abteilung Höxter

Inhaltsverzeichnis

1 ZUSAMMENFASSUNG.....	1
2 EINLEITUNG.....	2
3 BERECHNUNGSSTRECKE DESSAU.....	3
3.1 Beschreibung des Untersuchungsgebietes.....	3
3.2 Datengrundlage	4
3.3 Datenaufbereitung.....	5
3.4 Modelleichung.....	7
3.5 Synthetische Ereignisse und Parameteranalyse.....	12
4 BERECHNUNGSSTRECKE BARBY.....	15
4.1 Beschreibung des Untersuchungsgebietes.....	15
4.2 Datengrundlage	16
4.3 Datenaufbereitung.....	17
4.4 Modelleichung.....	18
4.5 Synthetische Ereignisse und Parameteranalyse.....	25
5 BERECHNUNGSSTRECKE HOHENWARTHE.....	27
5.1 Beschreibung des Untersuchungsgebietes.....	27
5.2 Datengrundlage	27
5.3 Datenaufbereitung.....	29
5.4 Modelleichung.....	31
5.5 Synthetische Ereignisse und Parameteranalyse.....	38
6 ÜBERBLICK ÜBER DIE GESAMTERGEBNISSE.....	39

6.1 Ansatz für die Gesamtbetrachtung.....	39
6.2 Parameterauswahl und Datenumfang.....	42
6.3 Erläuterungen zu den Ergebnissen anhand von Beispielen.....	43
6.4 Verallgemeinernde Darstellungen von Einzelparametern.....	53
7 FAZIT DER PROJEKTBEARBEITUNG	56
8 DANKSAGUNG	58
9 LITERATUR.....	59
ANLAGE 1.....	DESSAU
ANLAGE 2.....	BARBY
ANLAGE 3.....	HOHENWARTHE

1 Zusammenfassung

In der dreijährigen Hauptphase des Verbundprojekts "Morphodynamik der Elbe" (FKZ 0339566) wurde im Teilprojekt "1D-Modellierung der Wasserspiegellagen und des Feststofftransports" mittels hydraulischer und sedimentologischer Berechnungen der Ist-Zustand für einen großen Teil der deutschen Elbe von der tschechisch-deutschen Grenze bis zur Staustufe Geesthacht erfaßt. Hierzu liegt ein Abschlußbericht (Adam, Meon und Rathke 1999) vor.

Im Rahmen der Projektverlängerung wurden drei weitere Streckenabschnitte bearbeitet, die für den Gesamtüberblick bedeutsam sind. Somit wurden zusammen mit den Projektpartnern BAW und BfG insgesamt 12 Teilstrecken mit einer Summe von ca. 507 Fließkilometern (von den ca. 585 Fließkilometern der gesamten deutschen Elbe) untersucht.

Für die drei Streckenabschnitte der Projektverlängerung Dessau (Elbe-km 252 - 272), Barby (Elbe-km 291 - 299) und Hohenwarthe (Elbe-km 332 - 343) wurden hydraulische Modelle aufgestellt und an Hand vorhandener Wassspiegelfixierungen geeicht, wobei eine insgesamt sehr gute Anpassung der Modelle an die Meßdaten erreicht werden konnte. Die zur Eichung verfügbaren Wasserspiegelfixierungen deckten allerdings nicht das komplette Abflußspektrum ab. Vor allem im Hochwasserbereich oberhalb des HQ₁₀ waren kaum Daten vorhanden.

Mit den geeichten Modellen wurden synthetische Hochwasserereignisse simuliert. Das Spektrum erstreckte sich dabei von $Q_{GIW1989^{*(20d)}} (\approx MNQ)$ bis hin zum HQ₁₀₀. Die statistischen Abflüsse wurden aus dem hydrologischen Längsschnitt des Teilprojektes I.4 „Hydrologische Analyse und Datenmanagement“ übernommen.

Für die in der ursprünglichen Projektlaufzeit bearbeiteten Streckenabschnitte wurden die synthetischen Ereignisse ebenfalls simuliert. Zusätzlich wurden für alle Strecken geometrische Parameter wie z. B. mittlere Sohlhöhen, Uferneigung etc. ermittelt.

Auf der Basis dieser Berechnungen wurde zusammen mit den Projektpartnern ein hydraulischer Gesamtüberblick über die Elbe erstellt.

Die Ergebnisse sind auszugsweise im Anhang enthalten. Umfassend sind die Ergebnisse in Form einer Datenbank auf CD-ROM abgelegt und stehen zur weiteren Verwendung zur Verfügung.

2 Einleitung

Das Verbundprojekt "Morphodynamik der Elbe" (FKZ 0339566) ist in die Forschungskonzeption "Elbe-Ökologie" des BMBF eingebunden. Ziel des Vorhabens ist die Erfassung der hydrologischen, morphologischen und landschaftsökologischen Zusammenhänge und Wechselwirkungen im Bereich der überfluteten Vorländer zwischen den Hochwasserdeichen.

Das Teilprojekt "1D-Modellierung der Wasserspiegellagen und des Feststofftransports" erfaßt mittels hydraulischer und sedimentologischer Berechnungen den Ist-Zustand für fast die gesamte deutsche Elbe von der tschechisch-deutschen Grenze bis zur Staustufe Geesthacht. Die aus den Berechnungen gewonnenen abiotischen Parameter gehen dann in die Erstellung ökologischer Leitbilder für Teilabschnitte der Elbe ein.

Der vorliegende Bericht bezieht sich auf die Verlängerung des ursprünglichen Projekts und stellt damit eine Ergänzung des Abschlußberichts (Adam et al. 1999) vom September 1999 dar.

Ziel der Verlängerung des Projekts war es, vorhandene Lücken im Gesamtüberblick der Elbe zu schließen und Längsschnitte entlang der Elbe zur Charakterisierung von Teilstrecken zu erstellen. Die Methodik wurde gegenüber dem ursprünglichen Projekt nicht wesentlich geändert, sodaß an dieser Stelle nichtmehr auf das grundsätzliche Vorgehen eingegangen wird. Für Informationen zur Methodik wird auf den Abschlußbericht vom September 1999 verwiesen.

Für die Darstellung der Ergebnisse wurde in großen Teilen auf gedruckte Anlagen verzichtet. Die Ergebnisse sind auf einer CD zusammengestellt, die einen gut strukturierten Zugriff auf die Modellergebnisse erlaubt und damit die Ergebnis wesentlich besser verfügbar macht, als es in gedruckter Form möglich ist.

3 Berechnungsstrecke Dessau

3.1 Beschreibung des Untersuchungsgebietes

Das Modell beginnt bei Elbe-km 252,0 und endet nach 19,9 km Fließlänge bei Elbe-km 271,9. Bei Elbe-km 260 liegt am linken Ufer die Stadt Dessau. Im Untersuchungsgebiet durchfließt die Elbe einen großen Mäanderbogen, das sogenannte Unterluch zwischen Dessau und Rosslau. Die Vorländer sind in diesem Gebiet sehr unterschiedlich. Auf der rechten Stromseite sind nur sehr schmale Vorlandbereiche vorhanden. Der Bereich des Unterluchs bildet hier eine Ausnahme. Auf der linken Stromseite sind zum Teil weite Vorländer mit einer Breite von bis zu 2,5 km vorhanden.

Am oberstromigen Beginn des Modells bei Elbe-km 252,0 befinden sich auf der linken Stromseite ausgedehnte Vorlandbereiche, die reich strukturiert sind. So wechseln sich dort kleinere Waldflächen, Wiesen und offene Wasserflächen ab. bei Elbe-km 258 queren eine Eisenbahn- und eine Straßenbrücke die Elbe. Oberstrom der Brücken gehen die Auenbereiche von Elbe und Mulde ineinander über. Auf der rechten Stromseite sind nur schmale Vorländer vorhanden. Am Modellbeginn wird das Vorland durch ein Hochufer begrenzt. Ab Elbe-km 252,500 wird das Vorland durch einen Deich begrenzt. Die vorhandenen Vorländer sind auch hier reich strukturiert und weisen wechselnde Wald- und Wiesenbereiche auf.

Unterhalb der Eisenbahnbrücke bei Rosslau schließt sich die Mäanderschleife, das Unterluch, an. Das Unterluch zeichnet sich durch viele kleine Rinnenstrukturen aus. Es wird nahezu komplett als Grünland genutzt.

Bei Elbe-km 259,600 mündet die Mulde in die Elbe. Bei Elbe-km 261 befindet sich der Hafen der Stadt Dessau. Im Bereich der Stadt Dessau befindet sich auf der rechten Stromseite ein Hochwasserdeich, der direkt am Strom liegt. Unterhalb der Stadt hört dieser Deich auf und es schließen sich weite Vorlandbereiche an, die als Natur- bzw. Landschaftsschutzgebiete ausgewiesen sind. Ab Elbe-km 265 bis zum Modellende bildet auf der rechten Stromseite ein steiles Hochufer die Begrenzung des Vorlandes.

3.2 Datengrundlage

Geometrie

Als Grundlage der Berechnungen und der weiteren Bearbeitung dienten Sohlpeilungen der Elbe. Sie wurde vom WSA Dresden im Zeitraum der Jahre 1995 bis 1998 im Abstand von 100 m durchgeführt. Die Zeiträume und die Gewässerabschnitte sind in Tabelle 3.1 aufgeführt.

Abschnitt [Elbe-km]	Jahr der Peilung
252,1 bis 267,4	1998
267,5 bis 271,0	1995
271,1 bis 272,0	1997

Tabelle 3.1 Jahre der Sohlpeilungen

Die Aufnahme umfaßt die Gewässersohle und das Flußufer bis hinauf zur Böschungsoberkante. Vereinzelt reichen Profile bis zu 1000 m in das Vorland hinein.

Die Lage der Hektometersteine ist auf die Flußachse bezogen. Die Hektometersteine liegen jeweils 100 m links und rechts der gerechneten Flußachse.

Für diesen Elbeabschnitt liegen Buhnenvermessungen des WSA Dresden aus dem Jahr 1997 vor. Zusätzlich liegen digitale Stromkarten der WSD Ost vor. Die Buhnendaten wurden an Hand der Stromkarten überprüft und mußten zum Teil überarbeitet werden.

Hydrologie

Für die Eichung dieses Streckenabschnittes lagen Wasserspiegelfixierungen des WSA Dresden vor. Im Hochwasserbereich liegen nur wenige Wasserspiegelfixierungen vor. Der höchste fixierte Abfluß lag bei ca. 1700 m³/s.

Als Bezugspegel für dieses Bearbeitungsgebiet wurde für die Elbe der Pegel Aken bei Elbe-km 274,7 gewählt. Da sich im Untersuchungsgebiet die Mündung der Mulde befindet wurde die Mulde über den Pegel Bad Düben berücksichtigt.

Nachstehende Tabelle 3.2 zeigt einen Überblick der für die Eichung des hydronumerischen Modells verwendeten Fixierungen unter Angabe der Wasserstände und Abflüsse am Pegel Aken (Elbe-km 274,7).

Datum/Kennwerte	Wasserstand [m+NN]	Abfluß [m³/s]
Q _{GIW1989*(20d)}		167
25.05.1998	52,21	172
15.10.1996	51,85	273
MQ		437
09.05.1994	52,68	442
2MQ		874
31.01.1995	55,03	1186
HQ2		1460
MHQ		1496
05.11.1998	55,87	1689
HQ5		2049

Tabelle 3.2 Wasserspiegelfixierungen und gewässerkundliche Hauptzahlen

Zur besseren Einordnung sind statistische Abflüsse wie z. B. das HQ₅ oder das Q_{GIW1989*(20d)}¹ aufgeführt

3.3 Datenaufbereitung

Geometrie

Da die Sohlpeilung im Abstand von 100 m erfolgte, war die Interpolation von Zwischenprofilen nicht notwendig.

Bei diesem Streckenabschnitt wurde die fehlende Vorlandinformation aus dem von TPI.1 „Geländemodell und GIS“ erstellten Digitalen Geländemodell gewonnen. Es wurde in Karlsruhe durch Digitalisieren der Höhenlinien, Bruchkanten, Deiche, Gräben und Seen der Topographische Karten im Maßstab 1:10.000 erzeugt. Durch die Hektometersteine ist die räumliche Lage der Querprofile vorgegeben. Die Schnitte durch das Digitale Geländemodell wurden als Verlängerung der Geraden durch die Hektometersteine bis zu den Deichen festgelegt. Auf Grund der Krümmungen der Elbe und der zum Teil sehr breiten Vorländer wurden in einigen Bereichen die Profile abgeknickt. Die Profile wurden

¹ GIW: Gleichwertiger Wasserstand, definiert als die einander entsprechenden Wasserstände in verschiedenen Durchflussquerschnitten eines Fließgewässers bei gleicher Unterschreitungsdauer. Der GIW1989*(20d), der gültige Bezugswasserstand der Elbe, ist der Wasserstand, der im Mittel von sieben trockenen und mittleren Jahren zwischen 1973 und 1986 an durchschnittlich 345 eisfreien Tagen überschritten wird. Er liegt in der Größenordnung des mittleren Niedrigwassers (Beispiele: Pegel Dresden: Q(GIW) = 120 m³/s; MNQ_(1964/95) = 121 m³/s; Pegel Neu Darchau: 282/288 resp.). Bei den HN-Berechnungen im Projekt wurden die dem GIW1989*(20d) zugehörigen Abflusswerte den MNQ-Werten vorgezogen.

derart abgeknickt, daß sie senkrecht zur Strömungsführung im Vorland lagen (siehe Anlage 1).

Die Buhndaten des WSA Dresden stammen aus den Jahren 1995 bis 1998. Die Buhnen wurden mit dem Programm PROFIL in das DXF-Format konvertiert und in AutoCAD über die digitalen Stromkarten gelegt. Auf diesem Weg konnten Fehler in der Lage behoben werden. Zum Einbau der Buhnenschatten in die Querprofile wurde, ebenfalls mit PROFIL, eine Steuerdatei aus den Buhndaten erzeugt. Nach dem Einbau in die vorhandenen Querprofile wurden offensichtlich fehlerhaft eingebaute Buhnen korrigiert.

In diesem Abschnitt wird die Dreiteilung der Querprofile nicht durch die Böschungskante definiert, sondern durch die Buhnenköpfe. Durch das Setzen der Uferpunkte auf die Buhnenköpfe wird der Bereich des Buhnenrückens bereits als Vorland definiert. Mit einer wasserstandsabhängigen Funktion der Rauheit im Vorland kann jetzt der Einfluß der Buhnen besser erfaßt werden. Wenn die Buhnen gerade überströmt werden, wird ihnen ein Rauheitsbeiwert von $0,10 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ zugeordnet. Dieser Wert wird als Funktion in Abhängigkeit der Überströmung der Buhnen bis hin zu einer ungehinderten Strömungsführung über dem Vorland herabgesetzt.

Die hydraulische Aufbereitung der Vorländer wurde in einigen Bereichen unterschiedliche durchgeführt. Der Bereich oberstrom von Elbe-km 264,5 wurde nicht das gesamte Vorland aufgenommen. Das Unterloch wird bei größeren Abflußereignissen überströmt. Dieser Fall ist mit HEC-6 nicht berechenbar. Zusätzlich treten Probleme mit der Mündung der Mulde auf. Bei größeren Hochwasserereignissen kommt es weit oberhalb der Mittelwassermündung zu einer Vereinigung von Mulde und Elbe. Dies ist ebenfalls mit HEC-6 nicht faßbar. Aus diesem Grund wurden die Vorländer nur bis zu einem Wasserspiegel, der ca. dem Wasserspiegel bei einem mittleren Hochwasser entspricht, aufbereitet. Der Bereich unterstrom von Elbe-km 264,5 wurde dagegen bis zu den Deichen bzw. dem Hochufer einbezogen.

Die gesamten Vorländer wurden hydraulisch aufbereitet. So wurden nicht strömungsaktive Bereiche in der Geometrie abgetrennt. Dies betrifft z. B. Mulden und Gräben, die zwar bei Hochwasser eingestaut werden, aber nicht aktiv durchströmt sind. Dies betrifft aber auch Bereiche hinter Leitdeichen wie z. B. unterstrom der Kläranlage der Stadt Dessau ab Elbe-km 265,7. Der Strömungsschatten des Deiches wurde von der effektiven Abflußfläche ausgenommen und danach eine Aufweitung der Strömung bis zum Hochwasserdeich nach der 10° -Ablöseregeln angenommen. Welche Bereiche nicht durchströmt werden ist dabei wasserstandsabhängig. Da HEC-6 keine unterschiedlichen Geometrien für verschiedene Wasserstände zuläßt, sind die Geometrien für einen Abfluß optimiert, der dem MHQ entspricht.

Die Fließlängen wurden als Verbindungslinien der Massenschwerpunkte unter einem fiktiven Hochwasser getrennt nach Flußschlauch sowie linkem und rechtem Vorland mit dem Programm PROFIL ermittelt. In Abschnitten mit abgeknickten Profilen im rechten Vorland wurden die Fließlängen im Lageplan in AutoCAD ausgemessen.

Das Untersuchungsgebiet und die Lage der Querprofile ist in Anlage 1 dargestellt.

Hydrologie

Aus den vorhandenen Wasserspiegelfixierungen und dem unterstrom vorliegenden hydraulischen Modell wurde eine Schlüsselkurve für den unterstromigen Modellrand bei Elbe-km 271,9 erstellt (Anlage 1). Diese Schlüsselkurve ist Basis aller nachfolgenden Berechnungen.

3.4 Modelleichung

Die Eichung des Streckenabschnittes Elbe-km 252,0 - 271,9 wurde mit fester Sohle durchgeführt. Dabei kamen tiefenabhängige Rauheitsbewerte nach dem Ansatz vom Manning (Manning n). Der Beiwert Manning n entspricht dem Kehrwert des in Deutschland gebräuchlichen Beiwerts $k_{\text{Strickler}}$.

Eichung 172 m³/s (25.05.1998)

Für die Eichung wurde die Fixierung vom 25.05.1998 mit einem Abfluß von $Q = 172 \text{ m}^3/\text{s}$ am Pegel Aken herangezogen. Der Zufluß durch die Mulde betrug an diesem Tag $26 \text{ m}^3/\text{s}$. Aus der zuvor erstellten Abflußkurve für Elbe-km 271,9 wurde ein Startwasserspiegel von $51,84 \text{ mNN}$ angesetzt.

Die Rauheitsbeiwerte für die Eichung sind in der nachfolgenden Tabelle 3.3 dargestellt. Zur besseren Anschaulichkeit sind die bei der Berechnung verwendeten Manning-Werte (n -Werte) und die entsprechenden Strickler-Werte (k_{st} -Werte) für den Flußschlauch aufgeführt.

Die verwendeten Rauheitsbeiwerte liegen im Bereich der nach DVWK 92 angegebenen Werte für ein natürliches Gerinne. Nur die Spitzenwerte von $48 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ sind selbst für sandiges Sohlmaterial sehr groß, wobei der Minimalwert von $36 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ relativ rauh ist. Da bei der Eichung sämtliche Modellfehler über den Rauheitsbeiwert ausgeglichen werden müssen, entspricht der im Modell verwendete Rauheitsbeiwert nur bedingt den tatsächlichen Rauheitsverhältnissen im Fluß.

Elbe-km	n [s/m ^{1/3}]	k _{st} [m ^{1/3} /s]
252,0 – 253,0	0,027	37
253,1 – 254,9	0,025	40
255,0 – 255,9	0,026	38
256,0 – 257,0	0,028	36
257,1 – 257,9	0,025	40
258,0 – 259,9	0,024	42
260,0 – 261,0	0,023	43
261,1 – 264,9	0,025	40
265,0 – 266,9	0,026	38
267,0 – 268,0	0,027	37
268,1 – 269,9	0,022	45
271,0 – 271,9	0,021	48

Tabelle 3.3 Rauheitsbeiwerte für Q = 172 m³/s (Pegel Aken)

Gerade bei geringen Abflüssen wirken sich z. B. fehlerhaft eingebaute bzw. vermessene Buhnen oder fehlerhafte Sohlpeilungen stark auf die Wasserspiegellage aus. Bei der Eichung spiegelt sich dies dann in den angesetzten Rauheitsbeiwerten wieder.

Abbildung 3.1 zeigt das Ergebnis der Eichung. Die Abweichungen zwischen den Meßwerten vom 25.5.1998 und den berechneten Werten liegen zwischen – 0.06 m und

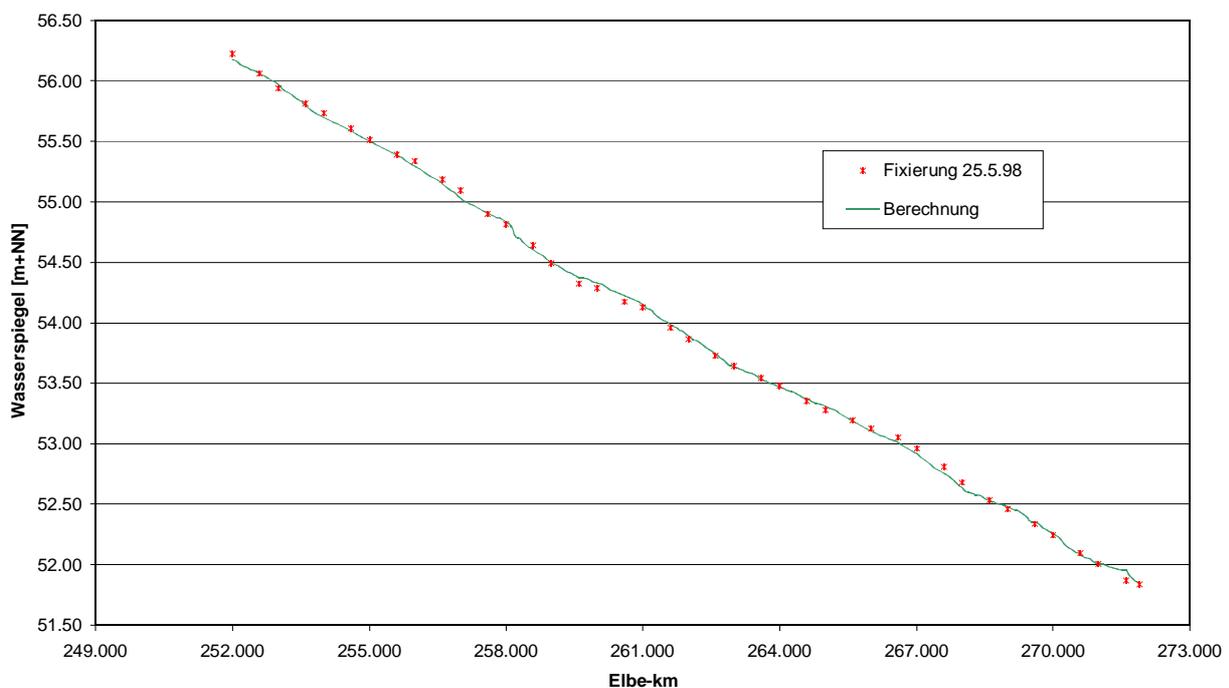


Abbildung 3.1 Ergebnis der Eichung für Q = 172 m³/s

0.08 m. Darstellungen der Sohlschubspannungen, Fließgeschwindigkeiten und Abflußflächen befinden sich in Anlage 1. Es konnte eine gute Anpassung des Modells erreicht werden.

Eichung 273 m³/s (15.10.1996)

Für die Eichung wurde die Fixierung vom 15.10.1996 mit einem Abfluß von $Q = 273 \text{ m}^3/\text{s}$ am Pegel Aken herangezogen. Der Zufluß durch die Mulde betrug an diesem Tag $36 \text{ m}^3/\text{s}$. Aus der zuvor erstellten Abflußkurve für Elbe-km 271,9 wurde ein Startwasserspiegel von 52,25 mNN angesetzt. Bei diesem Abfluß werden erste Bühnenköpfe überströmt.

Die Rauheitsbeiwerte für die Eichung sind in der nachfolgenden Tabelle 3.4 dargestellt. Zur besseren Anschaulichkeit sind die bei der Berechnung verwendeten

Elbe-km	$n \text{ [s/m}^{1/3}\text{]}$	$k_{\text{st}} \text{ [m}^{1/3}\text{/s]}$
252,0 – 255,9	0,025	40
256,0 – 257,0	0,026	38
257,1 – 258,0	0,023	43
258,1 – 259,1	0,022	45
259,2 – 262,0	0,023	43
262,1 – 267,9	0,025	40
268,0 – 269,4	0,023	43
269,5 – 271,9	0,022	45

Tabelle 3.4 Rauheitsbeiwerte für $Q = 273 \text{ m}^3/\text{s}$

Manning-Werte (n -Werte) und die entsprechenden Strickler-Werte (k_{st} -Werte) für den Flußschlauch aufgeführt. Die verwendeten Rauheitsbeiwerte liegen auch hier im Bereich der nach DVWK 92 angegebenen Werte für ein natürliches Gerinne.

Durch die teilweise überströmten Bühnenköpfe liegen hier, zusätzlich zu den oben genannten Fehlerquellen, komplexe Strömungsvorgänge vor, die mit eindimensionalen Modellen nur sehr pauschal faßbar sind. Dies kann bei der Eichung zu Schwierigkeiten führen.

Abbildung 3.2 zeigt das Ergebnis der Eichung. Die Abweichungen zwischen den Meßwerten vom 15.10.1996 und den berechneten Werten liegen zwischen -0.07 m und 0.07 m . Darstellungen der Sohlschubspannungen, Fließgeschwindigkeiten und Abflußflächen befinden sich in Anlage 1. Es konnte eine gute Anpassung des Modells erreicht werden.

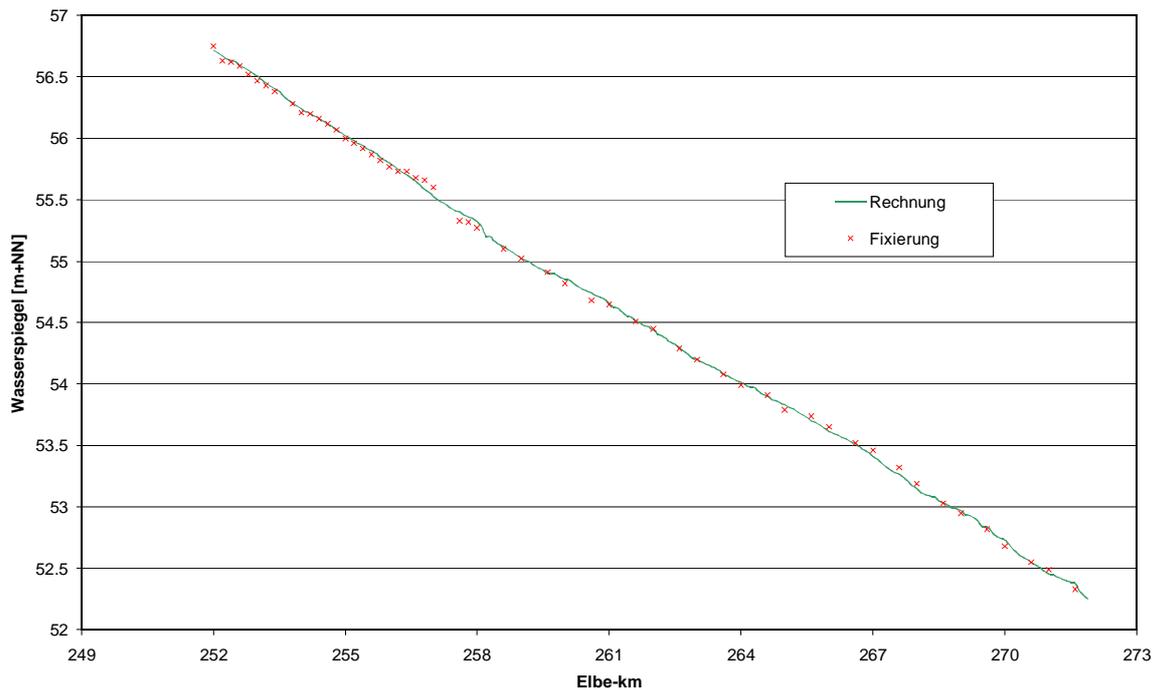


Abbildung 3.2 Ergebnis der Eichung für $Q = 273 \text{ m}^3/\text{s}$

Eichung 442 m³/s (09.05.1994)

Für die Eichung wurde die Fixierung vom 09.05.1994 mit einem Abfluß von $Q = 442 \text{ m}^3/\text{s}$ am Pegel Aken herangezogen. Der Zufluß durch die Mulde betrug an diesem Tag $51 \text{ m}^3/\text{s}$. Aus der zuvor erstellten Abflußkurve für Elbe-km 271,9 wurde ein Startwasserspiegel von 53,30 mNN angesetzt. Die Rauheitsbeiwerte für die Eichung sind in der nachfolgenden Tabelle 3.5 dargestellt. Zur besseren Anschaulichkeit sind die bei

Elbe-km	$n \text{ [s/m}^{1/3}]$	$k_{st} \text{ [m}^{1/3}/\text{s}]$
252,0 – 264,9	0,027	37
265,0 – 267,9	0,029	35
268,0 – 269,0	0,028	36
269,1 – 270,0	0,029	35
270,1 – 271,9	0,026	38

Tabelle 3.5 Rauheitsbeiwerte für $Q = 442 \text{ m}^3/\text{s}$

der Berechnung verwendeten Manning-Werte (n-Werte) und die entsprechenden Strickler-Werte (k_{st} -Werte) für den Flußschlauch aufgeführt. Die verwendeten Rauheitsbeiwerte liegen auch hier im Bereich der nach DVWK 92 angegebenen Werte für

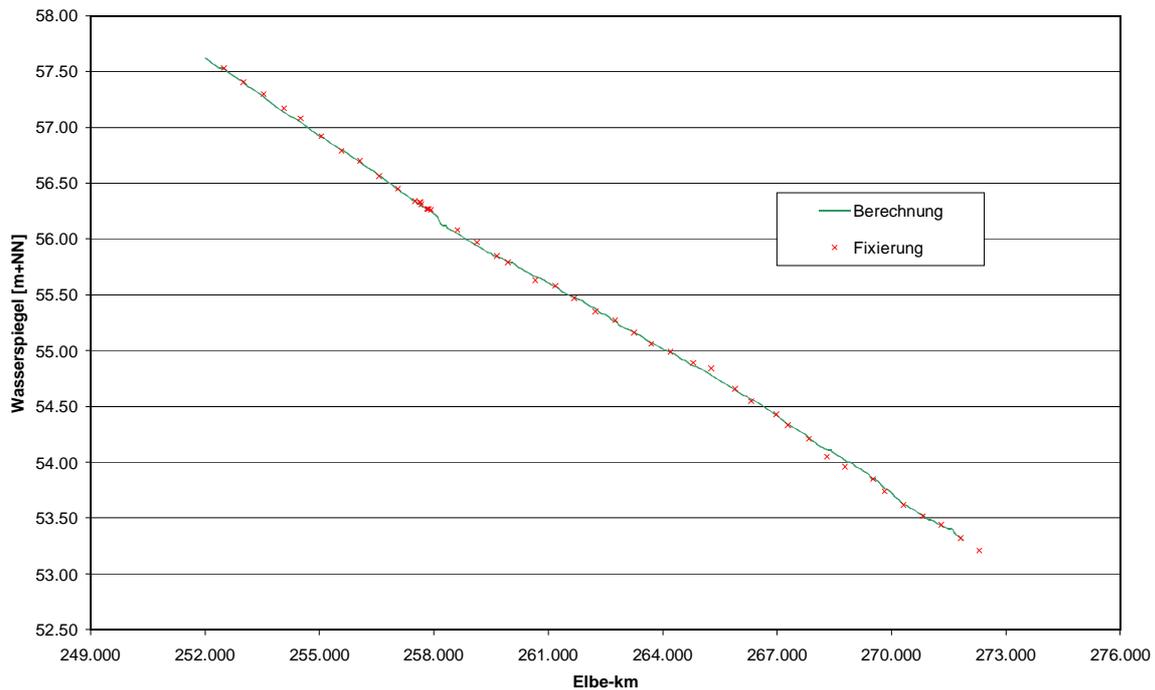


Abbildung 3.3 Ergebnis der Eichung für $Q = 442 \text{ m}^3/\text{s}$

ein natürliches Gerinne. Insgesamt ist der Flußschlauch bei diesem Abfluß sehr rauh. Hierfür könnten die bei diesem Abfluß überströmten Buhnen verantwortlich sein.

Abbildung 3.3 zeigt das Ergebnis der Eichung. Die Abweichungen zwischen den Meßwerten vom 09.05.1994 und den berechneten Werten liegen zwischen -0.07 m und 0.06 m . Darstellungen der Sohlschubspannungen, Fließgeschwindigkeiten und Abflußflächen befinden sich in Anlage 1. Es konnte eine gute Anpassung des Modells erreicht werden.

Eichung für $1186 \text{ m}^3/\text{s}$ (31.01.1995)

Für die Eichung wurde die Fixierung vom 31.01.1995 mit einem Abfluß von $Q = 1186 \text{ m}^3/\text{s}$ am Pegel Aken herangezogen. Aus der zuvor erstellten Abflußkurve für Elbe-km 271,9 wurde ein Startwasserspiegel von $55,58 \text{ mNN}$ angesetzt. Der bei Dessau vorhandene Elbmäander, das Unterluch, stellt bei diesem Abfluß eine Besonderheit dar. Hier kommt es zu ersten Überströmungen des Mäanders. Aus diesem Grund wurde der Bereich oberhalb von Elbe-km 264,500 nicht in die weiteren Berechnungen einbezogen. Die hydraulische Situation in diesem Bereich ist mit HEC-6 nicht zufriedenstellend beschreibbar.

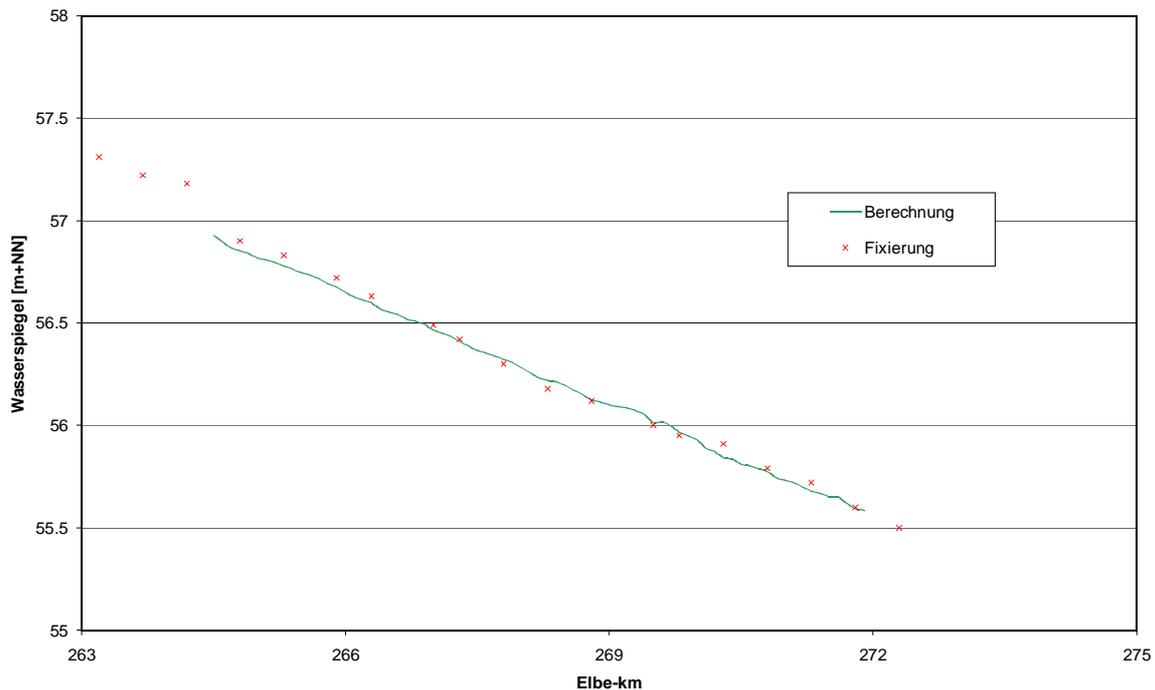


Abbildung 3.4 Ergebnis der Eichung für $Q = 1186 \text{ m}^3/\text{s}$

Bei der Eichung ergab sich für den Flußschlauch ein durchgehender Rauheitsbeiwert von $n = 0.025$ bzw. $k_{\text{st}} = 40 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$. Für die zum Teil überströmten Vorländer wurden je nach Struktur und Bewuchs Reiheitsbeiwerte zwischen $n = 0,05$ ($k_{\text{st}} = 20 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$) und $n = 0,033$ ($k_{\text{st}} = 30 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$) angesetzt. Die verwendeten Rauheitsbeiwerte liegen auch hier im Bereich der nach DVWK 92 angegebenen Werte für ein natürliches Gerinne.

Abbildung 3.4 zeigt das Ergebnis der Eichung. Die Abweichungen zwischen den Meßwerten vom 31.01.1995 und den berechneten Werten liegen zwischen -0.07 m und 0.04 m . Darstellungen der Sohlschubspannungen, Fließgeschwindigkeiten und Abflußflächen befinden sich in Anlage 1. Es konnte eine gute Anpassung des Modells erreicht werden.

Eichung für 1689 m³/s (05.11.1998)

Für die Eichung wurde die Fixierung vom 05.11.1998 mit einem Abfluß von $Q = 1689 \text{ m}^3/\text{s}$ am Pegel Aken herangezogen. Aus der zuvor erstellten Abflußkurve für Elbe-km 271,9 wurde ein Startwasserspiegel von $56,33 \text{ mNN}$ angesetzt. Auch bei diesem Ereignis wurde der Elbeabschnitt oberhalb von Elbe-km 264,500 nicht berücksichtigt.

Die Rauheitsbeiwerte für die Eichung sind in der nachfolgenden Tabelle 3.6 dargestellt. Zur besseren Anschaulichkeit sind die bei der Berechnung verwendeten Manning-Werte (n -

Werte) und die entsprechenden Strickler-Werte (k_{st} -Werte) für den Flußschlauch aufgeführt.

Elbe-km	n [$s/m^{1/3}$]	k_{st} [$m^{1/3}/s$]
264,5 – 266,9	0,025	40
267,0 – 267,9	0,024	42
268,0 – 269,8	0,022	45
270,0 – 271,9	0,021	48

Tabelle 3.6 Rauheitsbeiwerte für $Q = 1689 \text{ m}^3/\text{s}$

Die verwendeten Rauheitsbeiwerte liegen auch hier im Bereich der nach DVWK 92 angegebenen Werte für ein natürliches Gerinne. Lediglich der Wert $n = 0,021$ ($k_{st} = 48 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$) ist relativ glatt. Da der Rauheitsbeiwert tiefenabhängig ist, ist dieser Wert aber für hohe Abflüsse akzeptabel. Für die zum Teil überströmten Vorländer wurden je nach Struktur und Bewuchs Reiheitsbeiwerte zwischen $n = 0,05$ ($k_{st} = 20 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$) und $n = 0,033$ ($k_{st} = 30 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$) angesetzt.

Abbildung 3.5 zeigt das Ergebnis der Eichung. Die Abweichungen zwischen den Meßwerten vom 05.11.1998 und den berechneten Werten liegen zwischen $-0,05 \text{ m}$ und $0,08 \text{ m}$. Darstellungen der Sohlschubspannungen, Fließgeschwindigkeiten und Abflußflächen befinden sich in Anlage 1. Es konnte eine gute Anpassung des Modells erreicht werden.

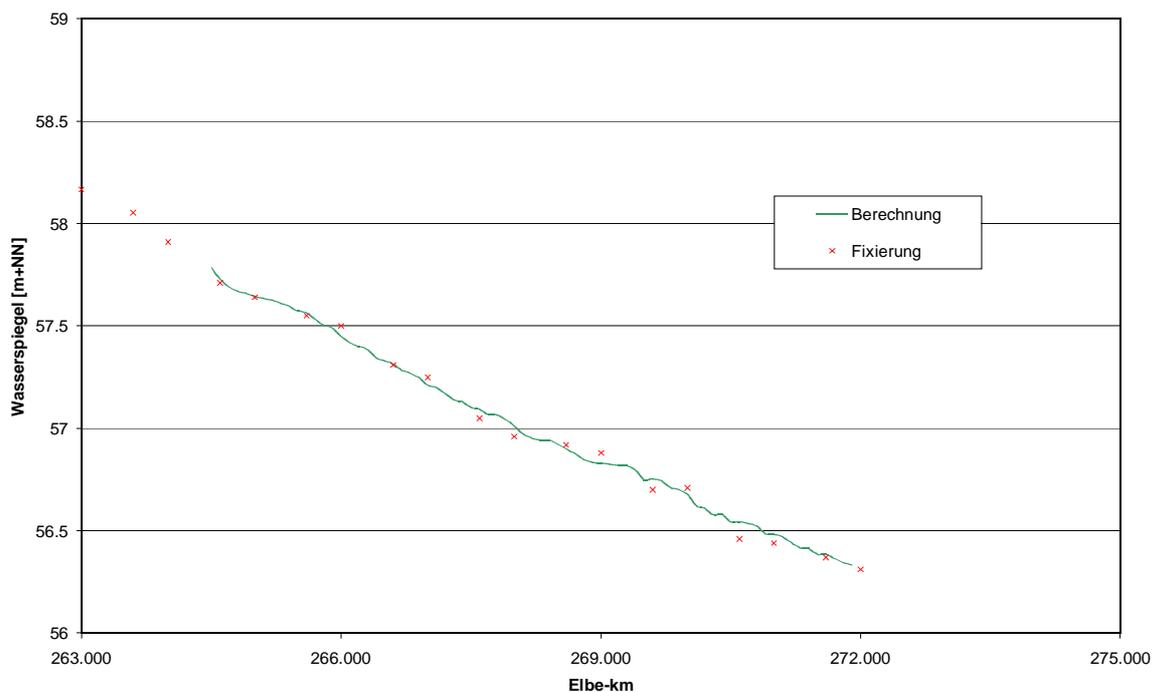


Abbildung 3.5 Ergebnis der Eichung für $Q = 1698 \text{ m}^3/\text{s}$

Für die gesamte Eichung gilt, daß das Modell gut an die Fixierungen angepaßt werden konnte. Für den Bereich hoher Abflüsse im Bereich HQ5 und größer liegen keine Fixierungsdaten vor. Im Bereich dieses Abflußspektrums sind lediglich näherungsweise Angaben zu Wasserständen möglich.

3.5 Synthetische Ereignisse und Parameteranalyse

Für weitergehende Aussagen über die hydraulischen Verhältnisse wurden synthetische Abflußereignisse berechnet. Die berechneten Abflüsse decken das Spektrum zwischen dem $Q_{GIW1989^{*(20d)}}$ und dem HQ100 ab (näheres siehe Kap.5.1). Insgesamt wurden für die in Tabelle 3.7 angegebenen Durchflüsse Berechnungen durchgeführt.

	Durchfluß [m ³ /s]
$Q_{GIW1989^{*(20d)}}$	167
MQ	437
2MQ	874
HQ2	1460
MHQ	1496
HQ5	2049
HQ10	2353
HQ20	2617
HQ50	2942
HQ100	3151

Tabelle 3.7 Synthetische Abflußereignisse
(unterstromiger Modellrand)

Die Ergebnisse müssen vor dem Hintergrund der für die Eichung verwendeten Daten gesehen werden. Gerade in den Hochwasserbereichen liegen nur ungenügende Daten für eine Eichung des Modells vor. Die berechneten Wasserspiegellagen können sich daher durchaus lokal beträchtlich von den in der Natur auftretenden unterscheiden.

Es liegen bisher keine besser abgesicherten Daten über die Wasserspiegellagen der Elbe im Hochwasserfall vor, so daß die hier vorgestellten Daten trotz der ungenügenden Datengrundlage ihre Berechtigung haben.

In Abbildung 3.6 sind die Wasserspiegel dargestellt.

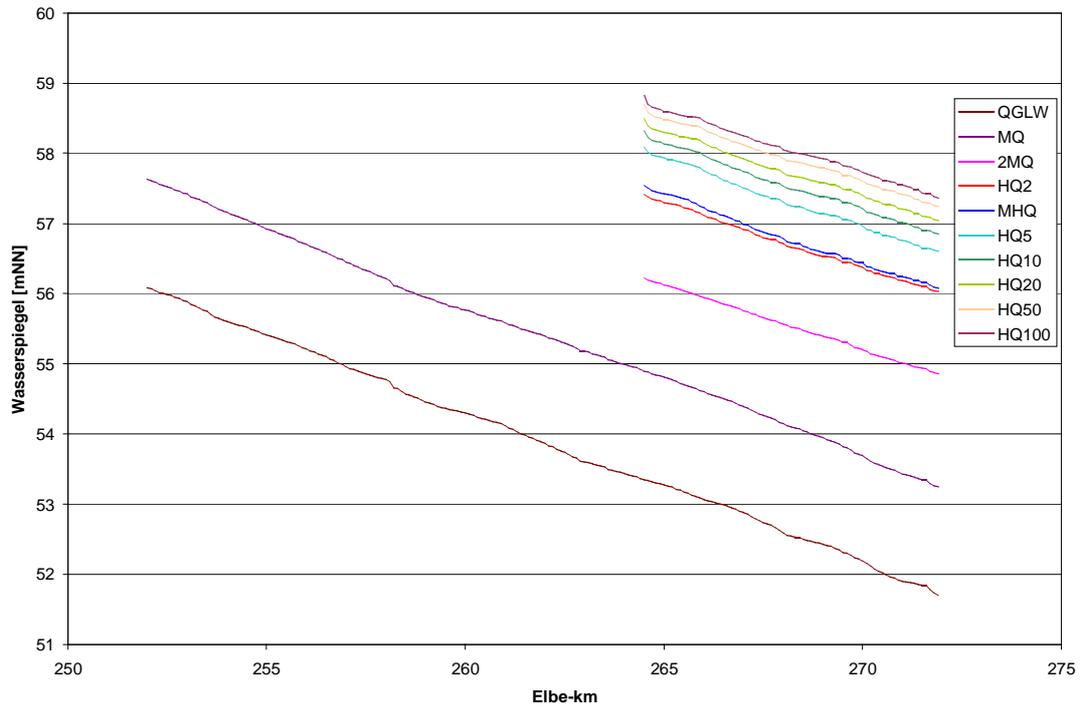


Abbildung 3.6 Darstellung der Wasserspiegellagen für synthetische Abflüsse

4 Berechnungsstrecke Barby

4.1 Beschreibung des Untersuchungsgebietes

Der Berechnungsabschnitt Barby beginnt bei Elbe-km 291,0 und endet bei Elbe-km 299,2. Der oberstromige Modellrand liegt damit ca. 400 Meter oberhalb der Elbefähre bei Barby und damit direkt unterhalb der Saalemündung. Der unterstromige Modellrand liegt oberstrom der Ableitung zum Pretziner Wehr, in der Nähe der Ortschaft Dornburg. Innerhalb des Modellgebiets befindet sich der Pegel Barby bei Elbe-km 294,8. Die Vorländer sind auf der rechten Stromseite wesentlich ausgedehnter als auf der linken Seite. Am oberstromigen Modellrand ist das Vorland auf der linken Seite anfangs mit ca. 2 km Breite noch sehr ausgedehnt, es wird aber bis zur Ortschaft Barby schnell schmaler. Unterstrom von Barby verläuft der Deich zum Teil direkt am Hauptstrom. Auf der rechten Seite wird das Vorland durch das Hochufer begrenzt. An der breitesten Stelle ist das Hochufer ca. 3 km vom Flußbett entfernt.

Bei Elbe-km 294,1 kreuzt eine Eisenbahnbrücke die Elbe. Das linke Wiederlager der Brücke beginnt direkt am Deich. Hier kommt es daher nicht zu einer weiteren Beeinträchtigung des Vorlandabflusses. Die Brücke überspannt eine Weite von ca. 750 m und endet an einem Schüttdamm für den weiterführenden Schienenstrang. Dieser Damm quert das rechte Vorland an seiner breitesten Stelle und wird kurz vor dem Erreichen des rechten Hochufers von einer Flutbrücke unterbrochen. Bei größeren Hochwasserereignissen hat dieser unterbrochene Querriegel erheblichen Einfluß auf das Abflußgeschehen.

Stromoberhalb der Eisenbahnbrücke befindet sich auf der rechten Elbeseite ein Sommerdeich, der bis kurz vor der Eisenbahnbrücke reicht. Hier vereinigt er sich mit einem Deich der Nuthe, einem kleinen Gewässer, daß bei Elbe-km 296,3 in die Elbe mündet.

Der größte Teil der Vorländer wird als Grünland genutzt. Im Bereich der Eisenbahnbrücke befindet sich ein größeres zusammenhängendes Waldstück.

4.2 Datengrundlage

Geometrie

Als Grundlage der Berechnung und der weiteren Bearbeitung dienten Sohlpeilungen der Elbe. Sie wurde vom WSA Magdeburg im Zeitraum der Jahre 1994 bis 1995 mit Profilabständen von 500 m aufgenommen.

Die Aufnahme umfaßt die Gewässersohle und das Flußufer bis hinauf zur Böschungsoberkante. Vorlandinformationen sind nicht enthalten.

Die Hektometersteine sind auf die Flußachse bezogen. Die Hektometersteine liegen jeweils 200 m links und rechts der gerechneten Flußachse.

Für diesen Elbeabschnitt liegen keine terrestrischen Buhnenvermessungen vor. Die Buhnendaten wurden an Hand der digitalen Stromkarten der WSD Ost ermittelt. Für die Erstellung der digitalen Karten wurden Mitte der 90'er Jahre Befliegungen vorgenommen. Dabei wurden auf der Grundlage von Stereophotos auch die Buhnen erfaßt. Diese Daten wurden für das Modell verwendet.

Hydrologie

Für die Eichung dieses Streckenabschnittes lagen einige Wasserspiegelfixierungen vor. Im Hochwasserbereich liegen nur wenige Wasserspiegelfixierungen vor. Der höchste fixierte Abfluß lag bei ca. 2330 m³/s.

Als Bezugspegel für dieses Bearbeitungsgebiet wurde der im Gebiet liegende Pegel Barby verwendet. Nachstehende Tabelle 4.1 zeigt den Überblick der für die Eichung des

Datum/Kennwerte	Abfluß [m ³ /s]
Q _{GLW}	214
11.10.93	245
10.05.89	541
MQ	577
2MQ	1154
12.05.69	1251
HQ2	1811
MHQ	1846
06.11.98	2070
11.03.99	2330 (s. Kap. 3.4)
HQ5	2395

Tabelle 4.1 Verwendete Wasserspiegelfixierungen

hydronumerischen Modells verwendeten Fixierungen unter Angabe der Abflüsse am Pegel Barby. Es lagen für die Eichung zum Teil nur ältere Wasserspiegelfixierungen vor.

4.3 Datenaufbereitung

Geometrie

Da die Sohlpeilung für den Bereich zwischen Elbe-km 291,0 und 299,2 im Abstand von 500 m erfolgte, war die Interpolation von Zwischenprofilen notwendig, um die für die Berechnungen verwendeten Profile im Abstand von 100 m zu erlangen. Dies geschah mit der Interpolationsfunktion des Programms PROFIL schon im Rahmen der ursprünglichen Projektlaufzeit.

Bei diesem Streckenabschnitt wurde die fehlende Vorlandinformation aus dem von TPI.1 erstellten Digitalen Geländemodell gewonnen. Die Höhenlinien und Strukturinformationen der Topographische Karten im Maßstab 1:10.000 wurden digitalisiert. Aus diesen Informationen wurde das digitale Geländemodell generiert. Aus diesem Geländemodell wurden dann die Querprofile als Geländeschnitte erzeugt.

Durch die Hektometersteine ist die räumliche Lage der Querprofile vorgegeben. Die Schnitte durch das Digitale Geländemodell wurden als Verlängerung der Geraden durch die Hektometersteine bis zu den Deichen festgelegt. Auf Grund der Krümmungen der Elbe und der zum Teil sehr breiten Vorländer wurden in einigen Bereichen die Profile abgeknickt. Die Profile wurden derart abgeknickt, daß sie senkrecht zur Strömungsführung im Vorland lagen.

Die Buhnenenden wurden größtenteils aus den digitalen Bundeswasserstraßenkarten entnommen. Zusätzlich zu den Grundrißdaten enthalten die Bundeswasserstraßenkarten Höhenpunkte, die durch die Auswertung von Stereophotos ermittelt wurden. An Hand dieser Daten wurden die Höhen der Buhnenköpfe festgelegt. Für die Kopfeigung wurde ein Standardwert von 1:5 angesetzt. Die Rückenneigung konnte aus den Höhenpunkten der Bundeswasserstraßenkarten ermittelt werden. Die Buhnen wurden jeweils auf die benachbarten Profile projiziert und als Buhnenschatten mit dem Programm Profil eingebaut.

In diesem Abschnitt wird die Dreiteilung der Querprofile nicht durch die Böschungskante definiert, sondern durch die Buhnenköpfe. Durch das Setzen der Uferpunkte auf die Buhnenköpfe wird der Bereich des Buhnenrückens bereits als Vorland definiert. Mit einer wasserstandsabhängigen Funktion der Rauheit im Vorland kann jetzt der Einfluß der Buhnen besser erfaßt werden. Wenn die Buhnen gerade überströmt werden, wird ihnen

ein Rauheitsbeiwert von $0,10 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ zugeordnet. Dieser Wert wird als Funktion in Abhängigkeit der Überströmung der Buhnen bis hin zu einer ungehinderten Strömungsführung über dem Vorland herabgesetzt.

Die gesamten Vorländer wurden hydraulisch aufbereitet. So wurden nicht strömungsaktive Bereiche in der Geometrie abgetrennt. Dies betrifft z. B. Mulden und Gräben, die zwar bei Hochwasser eingestaut werden, aber nicht aktiv durchströmt sind. Dies betrifft aber auch Bereiche hinter Leitdeichen und Ähnlichem. Der jeweilige Strömungsschatten wurde von der effektiven Abflußfläche ausgenommen und danach eine Aufweitung der Strömung bis zum Hochwasserdeich nach der 10° -Ablöseregeln angenommen.

Welche Bereiche nicht durchströmt werden ist dabei wasserstandsabhängig. Da HEC-6 keine unterschiedlichen Geometrien für verschiedene Wasserstände zuläßt, sind die Geometrien für einen Abfluß optimiert, der dem MHQ entspricht.

Die Fließlängen wurden als Verbindungslinien der Massenschwerpunkte unter einem fiktiven Hochwasser getrennt nach Flußschlauch sowie linkem und rechtem Vorland mit dem Programm PROFIL ermittelt. In Abschnitten mit abgeknickten Profilen im rechten Vorland wurden die Fließlängen im Lageplan in AutoCAD ausgemessen. Das Untersuchungsgebiet und die Lage der Querprofile ist in Anlage 2 dargestellt.

Hydrologie

Aus den vorhandenen Wasserspiegelfixierungen wurde eine Schlüsselkurve für den unterstromigen Modellrand bei Elbe-km 299,2 erstellt (Anlage 2). Diese Schlüsselkurve ist Basis aller nachfolgenden Berechnungen.

4.4 Modelleichung

Die Eichung des Streckenabschnittes Elbe-km 291,0 - 299,2 wurde mit fester Sohle durchgeführt. Dabei kamen tiefenabhängige Rauheitsbewerte nach dem Ansatz vom Manning (Manning n) zum Einsatz. Der Beiwert Manning n entspricht dem Kehrwert des in Deutschland gebräuchlichen Beiwerts $k_{\text{Strickler}}$. Bei den Hochwasserabflüssen wirkt sich die Eisenbahnbrücke stark auf das Abflußgeschehen aus. Da HEC-6 nicht in der Lage ist, mit Stromteilungen zu rechnen, mußten hier Vereinfachungen getroffen werden. Dadurch sind die Ergebnisse im Hochwasserbereich mit einer größeren Unsicherheit behaftet als es bei homogenen Vorländern der Fall wäre. Dies ist bei der weiteren Verwendung der erzielten Ergebnisse zu berücksichtigen.

Eichung 245 m³/s (11.10.1993)

Für die Eichung wurde die Fixierung vom 11.10.1993 mit einem Abfluß von $Q = 242 \text{ m}^3/\text{s}$ am Pegel Barby herangezogen. Aus der zuvor erstellten Abflußkurve für Elbe-km 299,2 wurde ein Startwasserspiegel von 46,25 mNN angesetzt. Die Rauheitsbeiwerte für die Eichung sind in der nachfolgenden Tabelle 4.2 dargestellt. Zur besseren Anschaulichkeit sind die bei der Berechnung verwendeten Manning-Werte (n-Werte) und die entsprechenden Strickler-Werte (k_{st} -Werte) für den Flußschlauch aufgeführt.

Elbe-km	n [s/m ^{1/3}]	k_{st} [m ^{1/3} /s]
299,2 – 297,0	0.022	46
296,9 – 295,0	0.025	40
294,9 – 293,0	0.024	42
292,9 - 291,0	0.025	40

Tabelle 4.2 Rauheitsbeiwerte für $Q = 245 \text{ m}^3/\text{s}$
(Pegel Barby)

Die verwendeten Rauheitsbeiwerte liegen im Bereich der nach DVWK 92 angegebenen Werte für ein natürliches Gerinne. Da bei der Eichung sämtliche Modellfehler über den Rauheitsbeiwert ausgeglichen werden müssen, entspricht der im Modell verwendete Rauheitsbeiwert nur bedingt den tatsächlichen Rauheitsverhältnissen im Fluß. Gerade bei geringen Abflüssen wirken sich z. B. fehlerhaft eingebaute bzw. vermessene Buhnen oder fehlerhafte Sohlpeilungen stark auf die Wasserspiegellage aus. Bei der Eichung spiegelt sich dies dann in den angesetzten Rauheitsbeiwerten wieder.

Abb. 4.1 zeigt das Ergebnis der Eichung. Die Abweichungen zwischen den Meßwerten

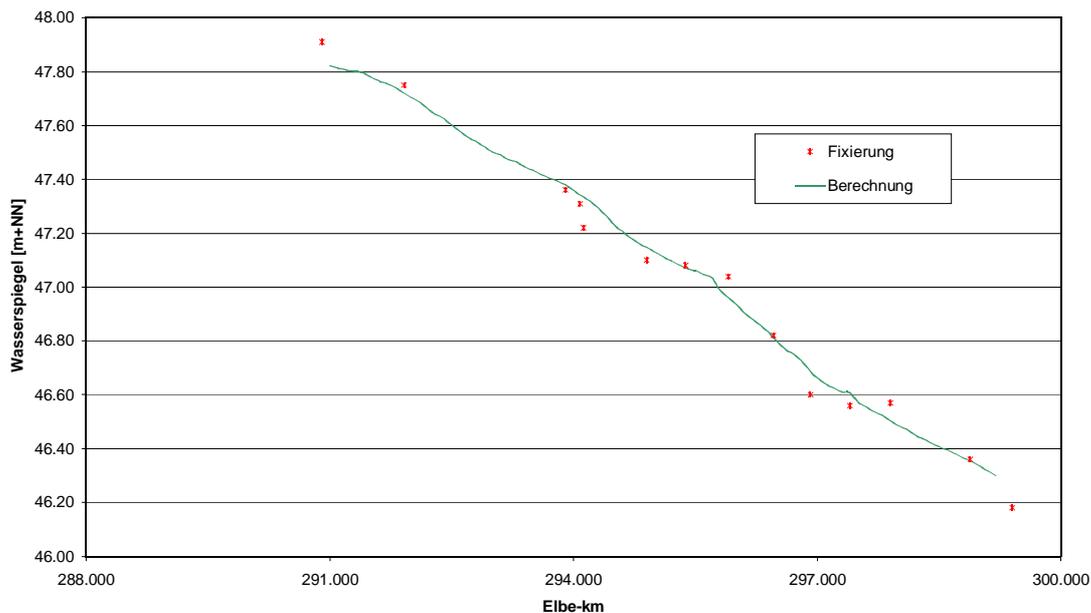


Abbildung 4.1 Ergebnis der Eichung für $Q = 245 \text{ m}^3/\text{s}$ (Pegel Barby)

vom 11.10.1993 und den berechneten Werten liegen zwischen -0.07 m und 0.08 m. Darstellungen der Sohlschubspannungen, Fließgeschwindigkeiten und Abflußflächen befinden sich in Anlage 2.

Bei niedrigen Abflüssen haben Sohlveränderungen einen großen Einfluß, dennoch konnte eine gute Anpassung des Modells erreicht werden.

Eichung 541 m³/s (10.05.1989)

Für die Eichung wurde die Fixierung vom 10.05.1989 mit einem Abfluß von $Q = 541$ m³/s am Pegel Barby herangezogen. Aus der zuvor erstellten Abflußkurve für Elbe-km 299,2 wurde ein Startwasserspiegel von $47,70$ mNN angesetzt. Bei diesem Abfluß werden noch keine Bühnenköpfe überströmt. Die Bühnenköpfe liegen in diesem Elbeabschnitt deutlich über dem Wasserspiegel des Mittelwassers. Die Rauheitsbeiwerte für die Eichung sind in der nachfolgenden Tabelle 4.3 dargestellt. Zur besseren Anschaulichkeit sind die bei der Berechnung verwendeten Manning-Werte (n-Werte) und die entsprechenden Strickler-Werte (k_{st} -Werte) für den Flußschlauch aufgeführt.

Die verwendeten Rauheitsbeiwerte liegen auch hier im Bereich der nach DVWK 92

Elbe-km	n [s/m ^{1/3}]	k_{st} [m ^{1/3} /s]
299,2 - 296,1	0,025	40
296,0 - 294,1	0,027	37
294,0 - 293,0	0,029	35
292,9 - 291,0	0,028	36

Tabelle 4.3 Rauheiten

angegebenen Werte für ein natürliches Gerinne, Der Flußschlauch ist im Vergleich zu anderen Bereichen der Elbe aber relativ rauh.

Abb. 4.2 zeigt das Ergebnis der Eichung. Die Abweichungen zwischen den Meßwerten vom 10.05.1989 und den berechneten Werten liegen zwischen $-0,08$ m und $0,04$ m. Darstellungen der Sohlschubspannungen, Fließgeschwindigkeiten und Abflußflächen befinden sich in Anlage 2. Es konnte eine gute Anpassung des Modells erreicht werden.

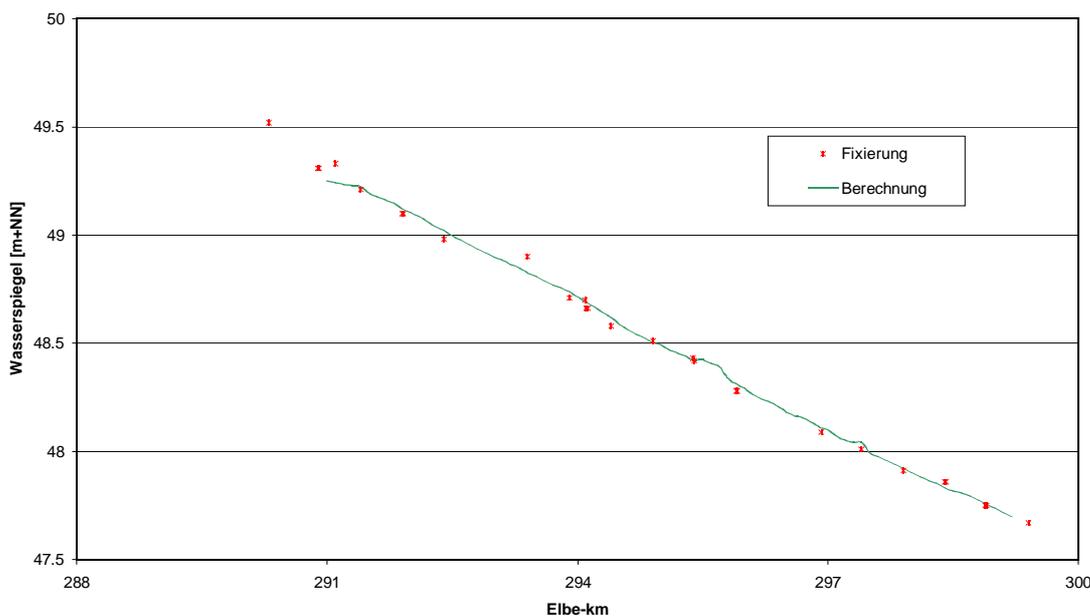


Abbildung 4.2 Ergebnis der Eichung für $Q = 541 \text{ m}^3/\text{s}$

Eichung 1251 m³/s (12.05.1969)

Leider liegen für den Abflußbereich zwischen $541 \text{ m}^3/\text{s}$ und $2070 \text{ m}^3/\text{s}$ keine aktuellen Wasserspiegelfixierungen vor. Gerade der Fall der knapp überströmten Bühnenköpfe ist komplex. Hier sind Eichdaten notwendig, die zur Zeit nicht verfügbar sind.

Die Wasserspiegelfixierung aus dem Jahr 1969 wurde verwendet, da ansonsten keine Daten für das genannte Abflußspektrum vorliegen. Die Ergebnisse sind vor dem hier beschriebenen Hintergrund der Ausgangsdaten zu sehen.

Für die Eichung wurde die Fixierung vom 12.05.1969 mit einem Abfluß von $Q = 1251 \text{ m}^3/\text{s}$ am Pegel Barby herangezogen. Aus der zuvor erstellten Abflußkurve für Elbe-km 299,2 wurde ein Startwasserspiegel von 49,72 mNN angesetzt. Bei diesem Abfluß sind die Bühnen komplett überströmt. Es kommt zu ersten Ausuferungen.

Die Rauheitsbeiwerte für die Eichung sind in der nachfolgenden Tabelle 4.4 dargestellt. Zur besseren Anschaulichkeit sind die bei der Berechnung verwendeten Manning-Werte (n-Werte) und die entsprechenden Strickler-Werte (k_{st} -Werte) für den Flußschlauch aufgeführt.

Elbe-km	n [s/m ^{1/3}]	k_{st} [m ^{1/3} /s]
299,2 - 296,3	0,025	40
296,2 - 291,0	0,028	36

Tabelle 4.4 Rauheiten

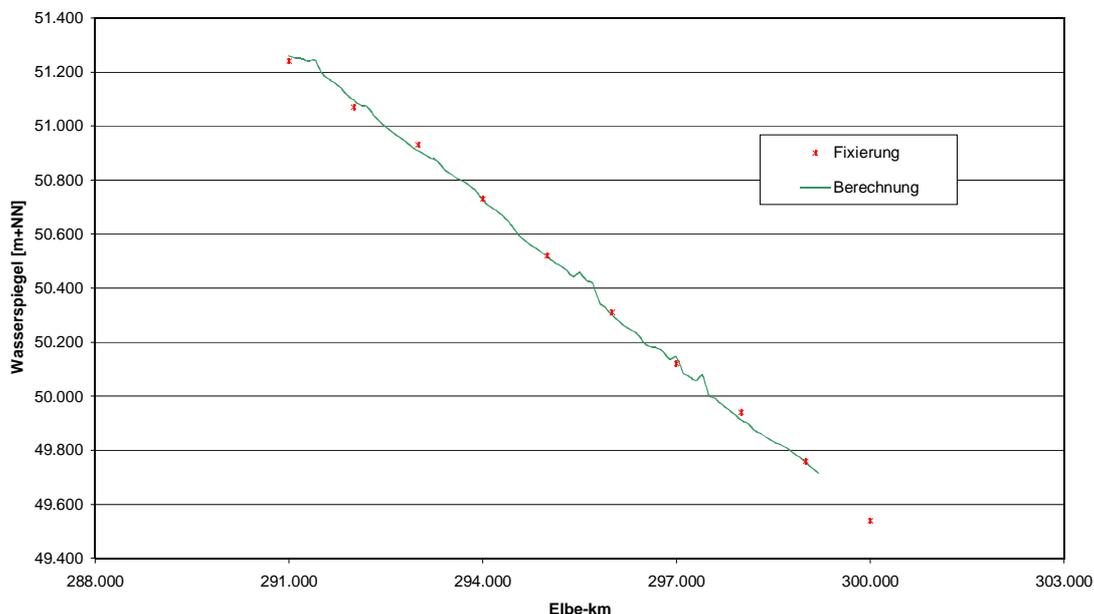


Abbildung 4.3 Ergebnis der Eichung für $Q = 1251 \text{ m}^3/\text{s}$

Die verwendeten Rauheitsbeiwerte liegen auch hier im Bereich der nach DVWK 92 angegebenen Werte für ein natürliches Gerinne.

Abb. 4.3 zeigt das Ergebnis der Eichung. Die Abweichungen zwischen den Meßwerten vom 12.05.1969 und den berechneten Werten liegen unter 0.05 m. Darstellungen der Sohlschubspannungen, Fließgeschwindigkeiten und Abflußflächen befinden sich in Anlage 2. Insgesamt konnte eine gute Anpassung des Modells erreicht werden, wobei der zeitliche Unterschied zwischen der Fixierung der Wasserspiegellage und der Peilung der Sohle von mehr als 25 Jahren nicht vergessen werden darf.

Eichung für 2070 m³/s (06.11.1998)

Für die Eichung wurde die Fixierung vom 06.11.1998 mit einem Abfluß von $Q = 2070 \text{ m}^3/\text{s}$ am Pegel Barby herangezogen. Aus der zuvor erstellten Abflußkurve für Elbe-km 299,2 wurde ein Startwasserspiegel von 50,97 mNN angesetzt. Bei diesem Abfluß werden große Teile der Vorländer überströmt. Durch den Sommerdeiche kommt es in großen Bereichen aber nur zu einem Einstau der Gebiete und nicht zu einer aktiven Durchströmung.

Die Rauheitsbeiwerte für die Eichung sind in der nachfolgenden Tabelle 4.5 dargestellt. Zur besseren Anschaulichkeit sind die bei der Berechnung verwendeten Manning-Werte (n-Werte) und die entsprechenden Strickler-Werte (k_{st} -Werte) für den Flußschlauch

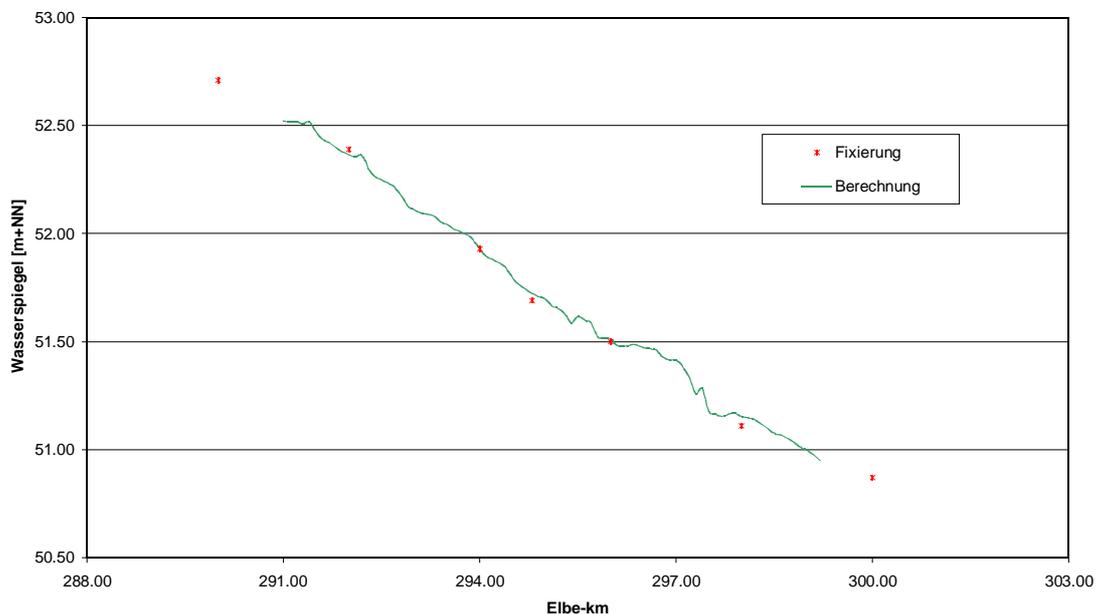
Elbe-km	n [s/m ^{1/3}]	k _{st} [m ^{1/3} /s]
299,2 - 296,1	0,024	42
296,0 - 294,1	0,026	39
294,0 - 291,0	0,027	37

Tabelle 4.5 Rauheiten

aufgeführt. Für die zum Teil überströmten Vorländer wurden je nach Struktur und Bewuchs Reiheitsbeiwerte zwischen $n = 0,033$ ($k_{st} = 30 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$) und $n = 0,038$ ($k_{st} = 26 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$) angesetzt.

Die verwendeten Rauheitsbeiwerte liegen auch hier im Bereich der nach DVWK 92 angegebenen Werte für ein natürliches Gerinne.

Abb. 4.4 zeigt das Ergebnis der Eichung. Die Abweichungen zwischen den Meßwerten vom 06.11.1998 und den berechneten Werten liegen unter 0.05 m. Darstellungen der Sohlschubspannungen, Fließgeschwindigkeiten und Abflußflächen befinden sich in Anlage 2. Es konnte eine gute Anpassung des Modells erreicht werden.

Abbildung 4.4 Ergebnis der Eichung für $Q = 2070 \text{ m}^3/\text{s}$

Eichung für 2330 m³/s (10.03.1999)

Für die Eichung wurde die Fixierung vom 10.03.1999 herangezogen. Bei dieser Fixierung traten im Nachhinein Ungereimtheiten auf. Die Fixierung wurde für eine sehr lange Strecke durchgeführt (Elbe-km 290 - 502). Als Datum der Fixierung wird der 11.03.99 angegeben. Dies wirft Fragen auf, da z. B. in Magdeburg nach Aussagen des WSA am 10.03.99 der Wasserspiegel fixiert wurde. Hier besteht weiterer Klärungsbedarf. Für die Eichung wurde der Abflußwert vom 11.03.99 am Pegel Barby verwendet.

Aus der zuvor erstellten Abflußkurve für Elbe-km 299,2 wurde ein Startwasserspiegel von 51,13 mNN angesetzt. Bei diesem Abfluß werden große Teile der Vorländer überströmt. Durch die Sommerdeiche kommt es in großen Bereichen aber nur zu einem Einstau der Gebiete und nicht zu einer aktiven Durchströmung.

Die Rauheitsbeiwerte für die Eichung sind in der nachfolgenden Tabelle 4.6 dargestellt. Zur besseren Anschaulichkeit sind die bei der Berechnung verwendeten Manning-Werte (n -

Elbe-km	n [s/m ^{1/3}]	k_{st} [m ^{1/3} /s]
299,2 – 296,3	0,025	40
296,2 – 291,0	0,028	36

Tabelle 4.6 Rauheiten

Werte) und die entsprechenden Strickler-Werte (k_{st} -Werte) für den Flußschlauch aufgeführt. Für die zum Teil überströmten Vorländer wurden je

nach Struktur und Bewuchs Reiheitsbeiwerte zwischen $n = 0,033$ ($k_{st} = 30$ m^{1/3}/s) und $n = 0,038$ ($k_{st} = 26$ m^{1/3}/s) angesetzt.

Die verwendeten Rauheitsbeiwerte liegen auch hier im Bereich der nach DVWK 92 angegebenen Werte für ein natürliches Gerinne. Es ist allerdings auffällig, daß das Gerinne für einen Hochwasserabfluß dieser Größenordnung relativ rauh ist. Dies könnte mit einer falschen Zuordnung zwischen dem angegebenen Datum der Fixierung (und damit dem zur Fixierung passenden Abfluß) und der tatsächlichen Meßaktion liegen.

Abb. 4.5 zeigt das Ergebnis der Eichung. Die Abweichungen zwischen den Meßwerten vom 11.03.1999 und den berechneten Werten liegen zwischen $-0,04$ m und $0,08$ m. Darstellungen der Sohlschubspannungen, Fließgeschwindigkeiten und Abflußflächen befinden sich in Anlage 2. Es konnte eine gute Anpassung des Modells erreicht werden.

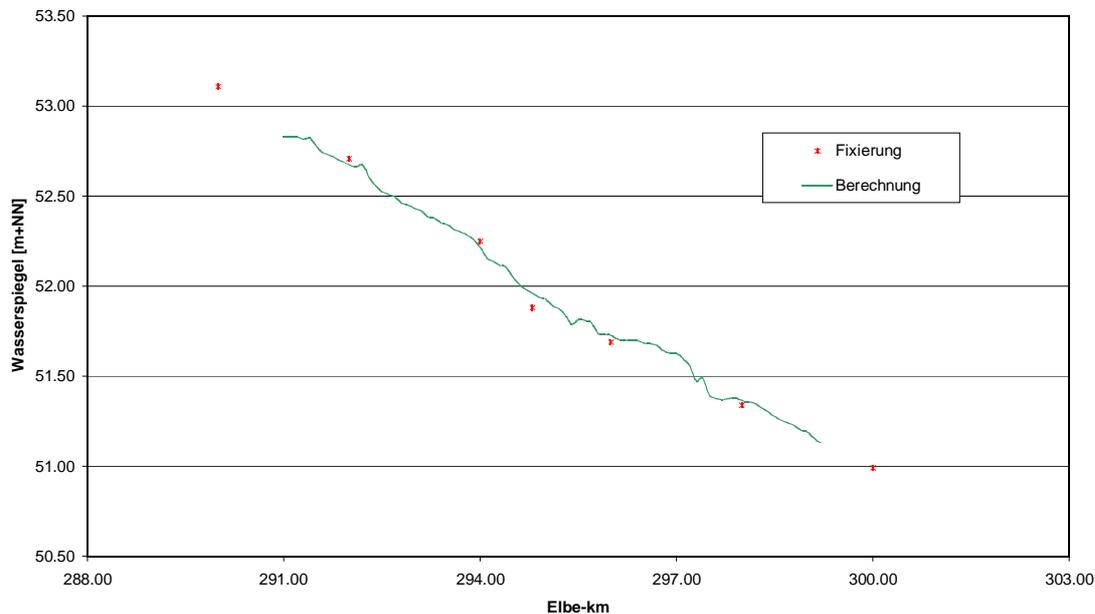


Abbildung 4.5 Ergebnis der Eichung für $Q = 2330 \text{ m}^3/\text{s}$

4.5 Synthetische Ereignisse und Parameteranalyse

Für weitergehende Aussagen über die hydraulischen Verhältnisse wurden synthetische Abflußereignisse berechnet. Die berechneten Abflüsse decken das Spektrum zwischen dem $Q_{\text{GIW}1989*(20d)}$ und dem HQ100 ab (Näheres siehe Kap.5.1). Insgesamt wurden für die in Tabelle 4.7 angegebenen Durchflüsse Berechnungen durchgeführt.

Die Ergebnisse müssen vor dem Hintergrund der für die Eichung verwendeten Daten gesehen werden. Gerade in den Hochwasserbereichen liegen nur ungenügende Daten für eine Eichung des Modells vor. Die berechneten Wasserspiegellagen können sich daher durchaus lokal beträchtlich von den in der Natur auftretenden unterscheiden.

Es liegen bisher keine besser abgesicherten Daten über die Wasserspiegellagen der Elbe im Hochwasserfall vor, so daß die hier vorgestellten Daten trotz der ungenügenden Datengrundlage ihre Berechtigung haben.

	Durchfluß [m³/s]
$Q_{GIW\ 1989^*(20d)}$	214
MQ	577
2MQ	1154
HQ2	1811
MHQ	1846
HQ5	2478
HQ10	2875
HQ20	3204
HQ50	3565
HQ100	3836

Tabelle 4.7 Synthetische Abflußereignisse

In Abbildung 4.6 sind die berechneten Wasserspiegel dargestellt.

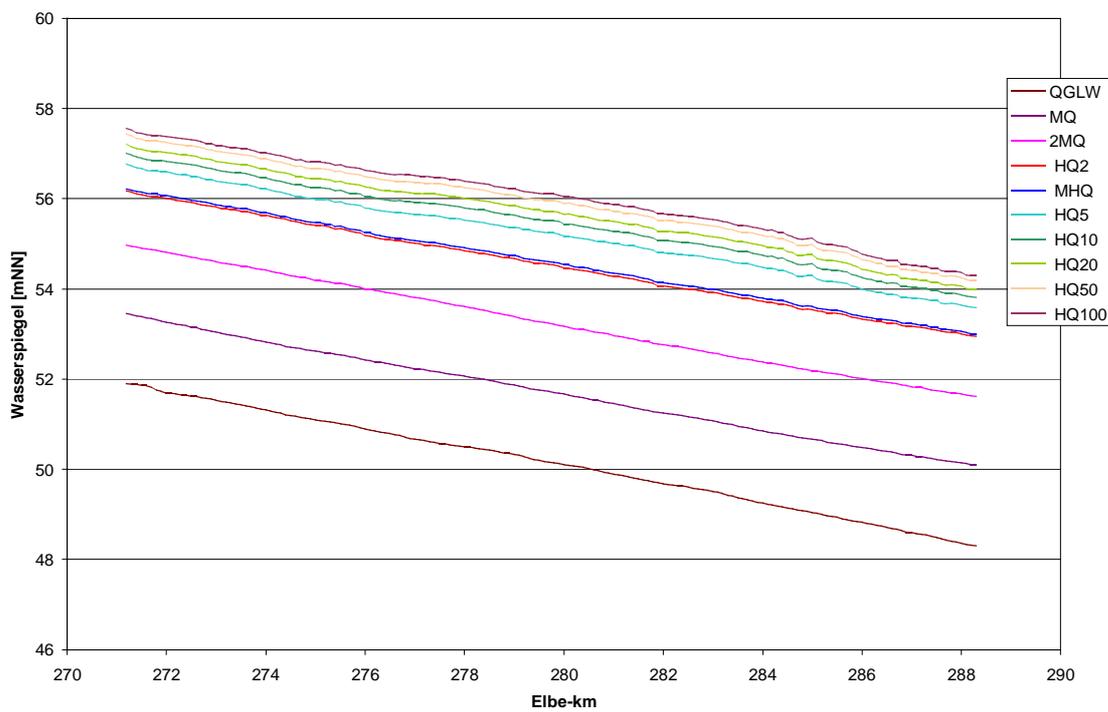


Abbildung 4.6 Darstellung der Wasserspiegellagen für synthetische Abflüsse

5 Berechnungsstrecke Hohenwarthe

5.1 Beschreibung des Untersuchungsgebietes

Der Berechnungsabschnitt Hohenwarthe beginnt bei Elbe-km 331,9 und endet bei Elbe-km 343,6. Der oberstromige Modellrand beginnt damit wenige hundert Meter oberhalb der Einfahrt zum Magdeburger Hafen. Der unterstromige Modellrand liegt direkt an der Einfahrt zur Schleuse Niegripp.

Die Vorländer sind in diesem Bereich von sehr unterschiedlicher Ausdehnung. Im südlichen Modellabschnitt befinden sich auf der rechten Stromseite ausgedehnte Vorländer von bis zu 3,4 km. In diesem Bereich endet direkt stromoberhalb der vom Pretziener Wehr kommende Umflutkanal der Elbe. Auf dieser Stromseite wird das Vorland von einem Hochufer begrenzt. Auf der linken Seite des Stroms bilden Deiche des Abstiegskanals Rothensee die Begrenzung des Vorlandes. Bei Elbe-km 337,3 rückt das Hochufer auf der rechten Seite bis direkt an den Flußschlauch heran. Auf der linken Seite erreicht das Vorland seine größte Ausdehnung mit ca. 1,5 km.

Bei Elbe-km 38,5 führt die Autobahnbrücke der A2 von Hannover nach Berlin über die Elbe. Bei Elbe-km 339,5 befindet sich die Baustelle des Magdeburger Wasserstraßenkreuzes. Hier ist die engste Stelle des gesamten Elbevorlandes für diesen Modellabschnitt mit nur ca. 1 km von der linken bis zur rechten Vorlandgrenze. Insgesamt bleiben die Vorländer stromabwärts von dieser Stelle sehr schmal.

Stromoberhalb der Autobahnbrücke sind die Vorländer von einigen Altarmen der Elbe geprägt. Unterhalb der Brücke sind im Vorlandbereich keine alten Gewässer von größerer Ausdehnung vorhanden.

5.2 Datengrundlage

Geometrie

Als Grundlage der Berechnung und der weiteren Bearbeitung dienten Sohlpeilungen der Elbe. Sie wurde vom WSA Magdeburg im Zeitraum der Jahre 1996 bis 1997 mit Profilabständen von 100 m bzw 200 m durchgeführt. Tabelle 5.1 enthält die Angaben zu den Streckenabschnitten.

Abschnitt [Elbe-km]	Profilabstand [m]	Jahr der Peilung
331,9 bis 339,9	100	1996
340,0 bis 343,6	200	1997

Tabelle 5.1 Jahre der Sohlpeilung

Die Aufnahme umfaßt die Gewässersohle und das Flußufer bis hinauf zur Böschungsoberkante. Vereinzelt reichen Profile bis zu 1000 m in das Vorland hinein.

Die Lage der Hektometersteine ist auf die Flußachse bezogen. Die Hektometersteine liegen jeweils 200 m links und rechts der gerechneten Flußachse.

Für diesen Elbeabschnitt liegen keine Buhnenvermessungen vor. Die Buhnendaten wurden an Hand der digitalen Stromkarten der WSD Ost ermittelt. Für die Erstellung der digitalen Karten wurden Mitte der 90'er Jahre Befliegungen vorgenommen. Dabei wurden auf der Grundlage von Stereophotos auch die Buhnen erfaßt. Diese Daten wurden für das Modell verwendet.

Für den Bereich der Baustelle für das Wasserstraßenkreuz war es nicht möglich, vom Wasserstraßen-Neubauamt aktuelle Vermessungsdaten zu bekommen.

Hydrologie

Für die Eichung dieses Streckenabschnittes lagen einige Wasserspiegelfixierungen vor. Im Hochwasserbereich liegen nur wenige Wasserspiegelfixierungen vor. Der höchste fixierte Abfluß lag bei ca. 2500 m³/s. Als Bezugspegel für dieses Bearbeitungsgebiet wurden mehrere Bezugspegel verwendet. Der nächstliegende Pegel ist der Pegel Magdeburg Strombrücke, der als vergleichsweise unsicher gilt. Zudem treten Probleme bei höheren Abflüssen auf. Bei größeren Hochwasserereignissen wird das Pretziener Wehr geöffnet. Dadurch wird ein Teil des Abflusses über ein Umflutgerinne abgeleitet und wird erst unterhalb des Pegels Magdeburg Strombrücke wieder der Stromelbe zugeleitet. Aus diesem Grund ist der Pegel für Hochwasserereignisse nicht verwendbar. Daher wurden die Pegel Tangermünde und Barby für Hochwasserabflüsse verwendet.

Nachstehende Tabelle 5.2 zeigt den Überblick der für die Eichung des hydronumerischen Modells verwendeten Fixierungen unter Angabe der Wasserstände und Abflüsse am Pegel Magdeburg Strombrücke.

Datum/Kennwerte	Abfluß [m³/s]
Q _{GIW 1989*(20d)}	226
11.10.93	242
10.05.89	561
MQ	579
14.08.87	911 (siehe Kap. 4.3)
2MQ	1158
HQ2	1731
MHQ	1796
06.11.98	1780
HQ5	2395
10.03.99	2520 (Pegel Barby/Tangermünde)

Tabelle 5.2 Wasserspiegelfixierungen und gewässerkundliche Hauptzahlen

Für die Eichung lagen zum Teil nur ältere Wasserspiegelfixierungen vor. Gerade bei den Niedrigen Abflüssen fallen hier Veränderungen der Sohle vergleichsweise stark ins Gewicht.

5.3 Datenaufbereitung

Geometrie

Da die Sohlpeilung für den Bereich zwischen Elbe-km 332 und 340 im Abstand von 100 m erfolgte, war die Interpolation von Zwischenprofilen hier nicht notwendig. Für den Bereich bis Elbe-km 343,6 wurden Zwischenprofile interpoliert, da hier nur Profile im Abstand von 200 m vorlagen.

Bei diesem Streckenabschnitt wurde die fehlende Vorlandinformation aus dem von TPI.1 erstellten Digitalen Geländemodell gewonnen. Es wurde in Karlsruhe durch Digitalisieren der Höhenlinien, Bruchkanten, Deiche, Gräben und Seen der Topographische Karten im Maßstab 1:10.000 erzeugt. Durch die Hektometersteine ist die räumliche Lage der Querprofile vorgegeben. Die Schnitte durch das Digitale Geländemodell wurden als Verlängerung der Geraden durch die Hektometersteine bis zu den Deichen festgelegt. Auf Grund der Krümmungen der Elbe und der zum Teil sehr breiten Vorländer wurden in einigen Bereichen die Profile abgeknickt. Die Profile wurden derart abgeknickt, daß sie annähernd senkrecht zur Strömungsführung im Vorland lagen.

Die Buhndaten wurden größtenteils aus den digitalen Bundeswasserstraßenkarten entnommen. Zusätzlich zu den Grundrißdaten enthalten die Bundeswasserstraßenkarten

Höhenpunkte, die durch die Auswertung von Stereophotos ermittelt wurden. An Hand dieser Daten wurden die Höhen Buhnenköpfe festgelegt. Für die Kopfneigung und die Rücken­neigung wurden Standardwerte von 1:5 bzw. 1:200 angesetzt. Die Buhnen wurden jeweils auf die benachbarten Profile projiziert und als Buhnenschatten mit dem Programm PROFIL eingebaut.

In diesem Abschnitt wird die Dreiteilung der Querprofile nicht durch die Böschungskante definiert, sondern durch die Buhnenköpfe. Durch das Setzen der Uferpunkte auf die Buhnenköpfe wird der Bereich des Buhnenrückens bereits als Vorland definiert. Mit einer wasserstandsabhängigen Funktion der Rauheit im Vorland kann jetzt der Einfluß der Buhnen besser erfaßt werden. Wenn die Buhnen gerade überströmt werden, wird ihnen ein Rauheitsbeiwert von $0,10 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ zugeordnet. Dieser Wert wird als Funktion in Abhängigkeit der Überströmung der Buhnen bis hin zu einer ungehinderten Strömungsführung über dem Vorland herabgesetzt.

Die gesamten Vorländer wurden hydraulisch aufbereitet. So wurden nicht strömungsaktive Bereiche in der Geometrie abgetrennt. Dies betrifft z. B. Mulden und Gräben, die zwar bei Hochwasser eingestaut werden, aber nicht aktiv durchströmt sind. Dies betrifft aber auch Bereiche hinter Leitdeichen und Ähnlichem. Der jeweilige Strömungsschatten wurde von der effektiven Abflußfläche ausgenommen und danach eine Aufweitung der Strömung bis zum Hochwasserdeich nach der 10° -Ablöseregel angenommen. Welche Bereiche nicht durchströmt werden ist dabei wasserstandsabhängig. Da HEC-6 keine unterschiedlichen Geometrien für verschiedene Wasserstände zuläßt, sind die Geometrien für einen Abfluß optimiert, der dem MHQ entspricht.

Die Fließlängen wurden als Verbindungslinien der Massenschwerpunkte unter einem fiktiven Hochwasser getrennt nach Flußschlauch sowie linkem und rechtem Vorland mit dem Programm PROFIL ermittelt. In Abschnitten mit abgeknickten Profilen im rechten Vorland wurden die Fließlängen im Lageplan in AutoCAD ausgemessen. Das Untersuchungsgebiet und die Lage der Querprofile ist in Anlage 3 dargestellt.

Hydrologie

Bei der graphischen Darstellung der fixierten und interpolierten Wasserspiegel zeigte sich, daß bei der Fixierung vom 14.08.87 entweder der zugehörige Abfluß oder das Datum der Fixierung nicht korrekt angegeben worden sind. Der Wasserspiegel liegt zwischen den Fixierungen vom 10.05.89 und dem 12.05.69, der Abfluß lag aber laut BfG-Messung nur in der Größenordnung des Wertes vom 10.05.89. Aus dem Vergleich mit dem Pegel Magdeburg-Strombrücke und der Verlängerung der Fixierung mit einem

Gefälle von 0,17‰ bis zum Pegel Tangermünde wurde der Abfluß für diese Fixierung mit $Q = 911 \text{ m}^3/\text{s}$ definiert.

Aus den vorhandenen Wasserspiegelfixierungen und dem unterstrom vorliegenden hydraulischen Modell wurde eine Schlüsselkurve für den unterstromigen Modellrand bei Elbe-km 343,6 erstellt (Anlage 3). Diese Schlüsselkurve ist Basis aller nachfolgenden Berechnungen.

5.4 Modelleichung

Die Eichung des Streckenabschnittes Elbe-km 331,9 - 343,6 wurde mit fester Sohle durchgeführt. Dabei kamen tiefenabhängige Rauheitsbewerte nach dem Ansatz vom Manning (Manning n). Der Beiwert Manning n entspricht dem Kehrwert des in Deutschland gebräuchlichen Beiwerts $k_{\text{Strickler}}$.

Eichung 242 m³/s (11.10.1993)

Für die Eichung wurde die Fixierung vom 11.10.1993 mit einem Abfluß von $Q = 242 \text{ m}^3/\text{s}$ am Pegel Magdeburg Strombrücke herangezogen. Aus der zuvor erstellten Abflußkurve für Elbe-km 343,6 wurde ein Startwasserspiegel von 37,01 mNN angesetzt.

Die Rauheitsbeiwerte für die Eichung sind in der nachfolgenden Tabelle 5.3 dargestellt. Zur besseren Anschaulichkeit sind die bei der Berechnung verwendeten Manning-Werte

Elbe-km	$n \text{ [s/m}^{1/3}\text{]}$	$k_{\text{st}} \text{ [m}^{1/3}\text{/s]}$
343,6 – 339,1	0,025	40
339,0 – 335,0	0,023	43
334,9 – 331,9	0,027	37

Tabelle 5.3 Rauheitsbeiwerte für $Q = 224 \text{ m}^3/\text{s}$

(n -Werte) und die entsprechenden Strickler-Werte (k_{st} -Werte) für den Flußschlauch aufgeführt.

Die verwendeten Rauheitsbeiwerte liegen im Bereich der nach DVWK 92 angegebenen Werte für ein natürliches Gerinne. Da bei der Eichung sämtliche Modellfehler über den Rauheitsbeiwert ausgeglichen werden müssen, entspricht der im Modell verwendete Rauheitsbeiwert nur bedingt den tatsächlichen Rauheitsverhältnissen im Fluß. Gerade bei geringen Abflüssen wirken sich z. B. fehlerhaft eingebaute bzw. vermessene Buhnen oder fehlerhafte Sohlpeilungen stark auf die Wasserspiegellage aus. Bei der Eichung spiegelt sich dies dann in den angesetzten Rauheitsbeiwerten wieder.

Abb. 5.1 zeigt das Ergebnis der Eichung. Die Abweichungen zwischen den Meßwerten vom 11.10.1993 und den berechneten Werten liegen zwischen -0.10 m und 0.08 m. Darstellungen der Sohlschubspannungen, Fließgeschwindigkeiten und Abflußflächen befinden sich in Anlage 3.

Die Anpassung des Modells bewegt sich knapp innerhalb akzeptabler Grenzen. Bei niedrigen Abflüssen haben Sohlveränderungen einen großen Einfluß. Hier liegen 3 bis 4 Jahre zwischen dem Datum der Wasserspiegelfixierung und den Sohlpeilungen. So können zwischenzeitlich aufgetretene Sohlveränderungen eine bessere Anpassung unmöglich machen.

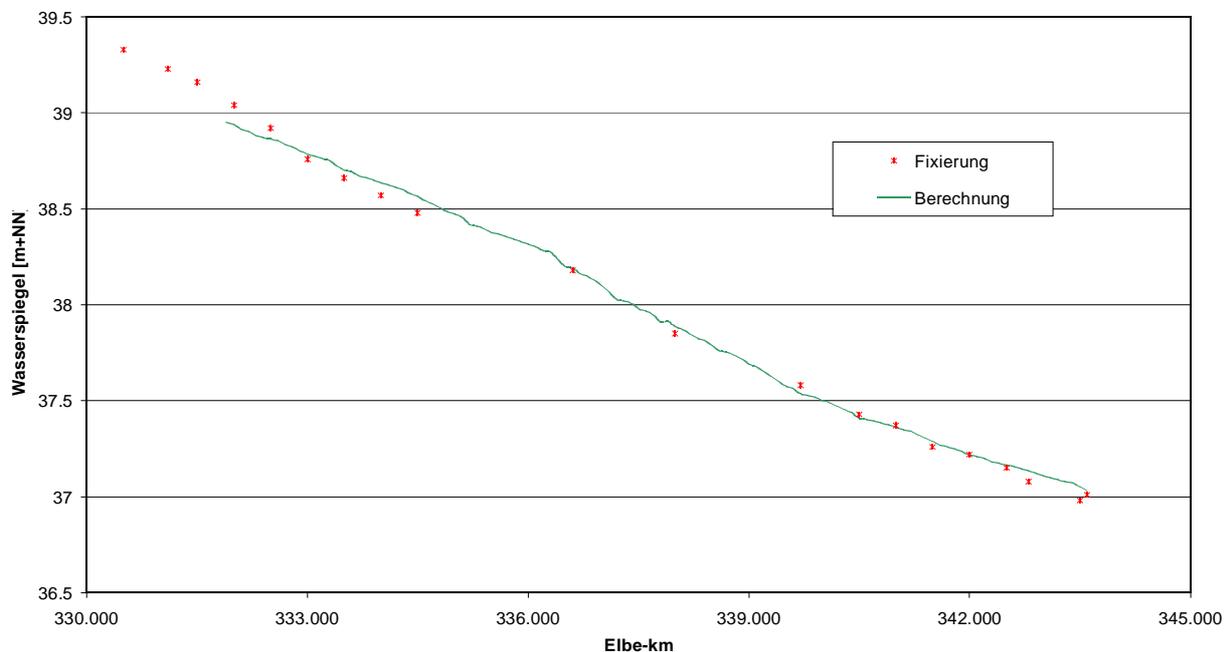


Abbildung 5.1 Ergebnis der Eichung für $Q = 224 \text{ m}^3/\text{s}$

Eichung 561 m³/s (10.05.1989)

Für die Eichung wurde die Fixierung vom 10.05.1989 mit einem Abfluß von $Q = 561 \text{ m}^3/\text{s}$ am Pegel Magdeburg Strombrücke herangezogen. Aus der zuvor erstellten Abflußkurve für Elbe-km 343,6 wurde ein Startwasserspiegel von 38,62 mNN angesetzt. Bei diesem Abfluß werden keine Bühnenköpfe überströmt.

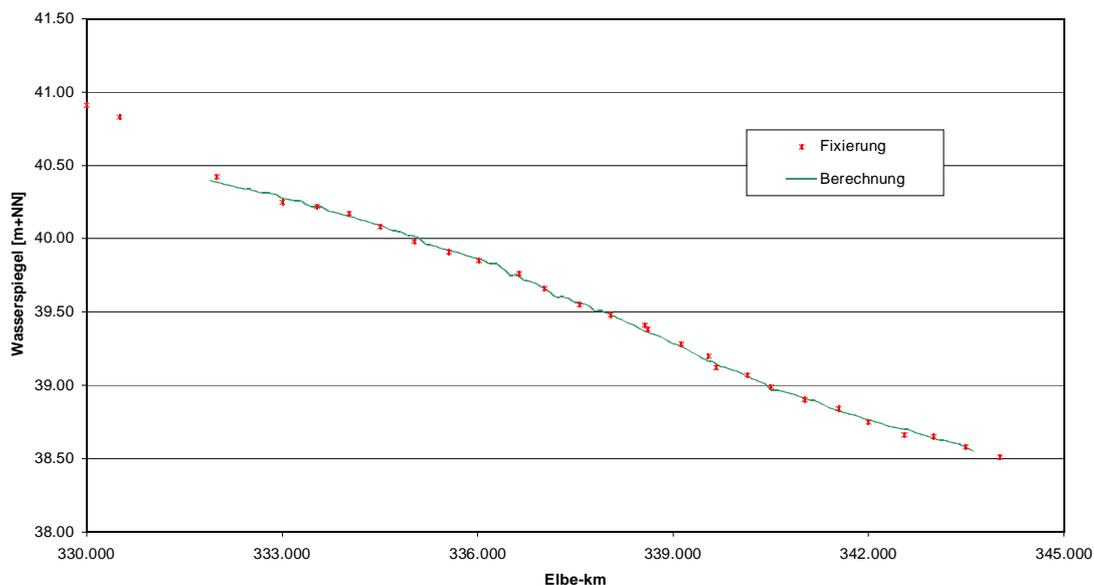
Die Rauheitsbeiwerte für die Eichung sind in der nachfolgenden Tabelle 5.4 dargestellt. Zur besseren Anschaulichkeit sind die bei der Berechnung verwendeten Manning-Werte (n -Werte) und die entsprechenden Strickler-Werte (k_{St} -Werte) für den Flußschlauch aufgeführt.

Elbe-km	n [s/m ^{1/3}]	k _{st} [m ^{1/3} /s]
343,6 – 341,1	0,025	40
340,0 – 339,0	0,028	36
338,9 – 338,6	0,027	37
338,5 - 338,1	0,025	40
338,0 - 331,9	0,023	44

Tabelle 5.4 Rauheiten für Q = 561 m³/s

Die verwendeten Rauheitsbeiwerte liegen auch hier im Bereich der nach DVWK 1992 angegebenen Werte für ein natürliches Gerinne.

Abbildung 5.2 zeigt das Ergebnis der Eichung. Die Abweichungen zwischen den Meßwerten vom 15.10.1996 und den berechneten Werten liegen zwischen –0.04 m und 0.05 m. Darstellungen der Sohlschubspannungen, Fließgeschwindigkeiten und Abflußflächen befinden sich in Anlage 3. Es konnte eine gute Anpassung des Modells erreicht werden.

Abbildung 5.2 Ergebnis der Eichung für Q = 561 m³/s

Eichung 911 m³/s (14.08.1987)

Für die Eichung wurde die Fixierung vom 14.08.1987 mit einem Abfluß von Q = 911 m³/s am Pegel Magdeburg Strombrücke herangezogen. Bei dieser Fixierung ergaben sich die unter dem Punkt Datenaufbereitung beschriebenen Unstimmigkeiten. Wie beschrieben wurde ein angeglicherer Abfluß verwendet. Aus der zuvor erstellten Abflußkurve für Elbe-

km 343,6 wurde ein Startwasserspiegel von 39,72 mNN angesetzt. Bei diesem Abfluß sind die Bühnenköpfe überströmt.

Die Rauheitsbeiwerte für die Eichung sind in der nachfolgenden Tabelle 5.5 dargestellt. Zur besseren Anschaulichkeit sind die bei der Berechnung verwendeten Manning-Werte (n -

Elbe-km	n [$s/m^{1/3}$]	k_{st} [$m^{1/3}/s$]
343,6 – 339,1	0,028	36
339,0 – 338,1	0,026	39
338,0 – 336,0	0,025	40
335,9 - 335,1	0,027	37
335,0 - 331,9	0,023	44

Tabelle 5.5 Rauheiten für $Q = 911 \text{ m}^3/\text{s}$

Werte) und die entsprechenden Strickler-Werte (k_{st} -Werte) für den Flußschlauch aufgeführt.

Die verwendeten Rauheitsbeiwerte liegen auch hier im Bereich der nach DVWK 92 angegebenen Werte für ein natürliches Gerinne.

Abbildung 5.3 zeigt das Ergebnis der Eichung. Die Abweichungen zwischen den Meßwerten vom 14.08.87 und den berechneten Werten liegen zwischen -0.05 m und 0.04 m . Darstellungen der Sohlschubspannungen, Fließgeschwindigkeiten und Abflußflächen befinden sich in Anlage 3. Es konnte eine gute Anpassung des Modells erreicht werden.

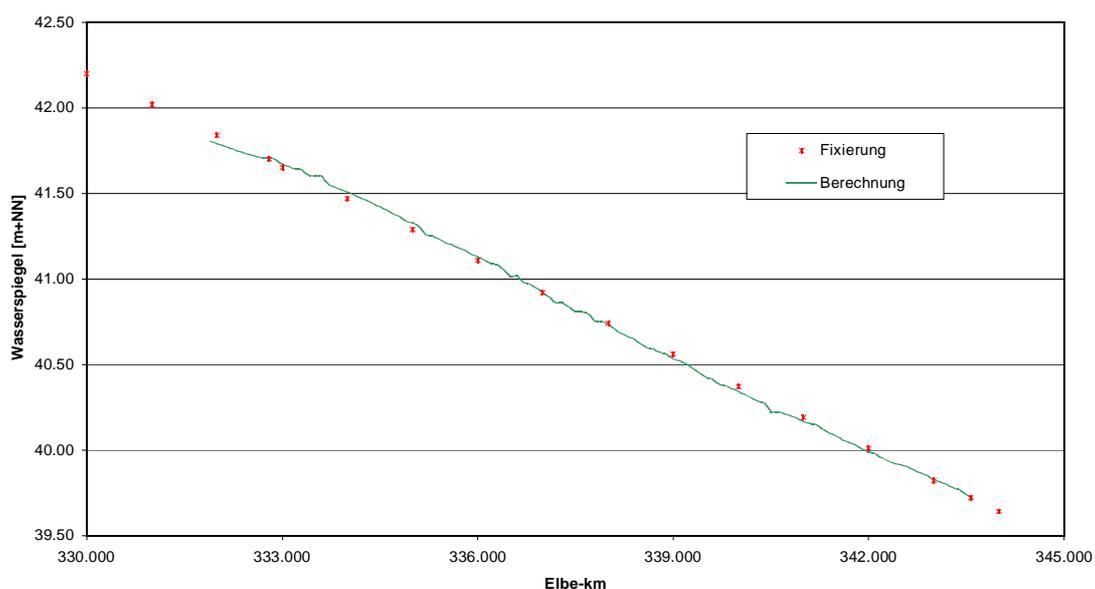


Abbildung 5.3 Ergebnis der Eichung für $Q = 911 \text{ m}^3/\text{s}$

Eichung für 1780 m³/s (06.11.1998)

Für die Eichung wurde die Fixierung vom 06.11.1998 mit einem Abfluß von $Q = 1780 \text{ m}^3/\text{s}$ am Pegel Magdeburg Strombrücke herangezogen. Aus der zuvor erstellten Abflußkurve für Elbe-km 343,6 wurde ein Startwasserspiegel von 41,51 mNN angesetzt. Bei diesem Abfluß werden Teile der Vorländer überströmt.

Elbe-km	$n \text{ [s/m}^{1/3}\text{]}$	$k_{\text{st}} \text{ [m}^{1/3}\text{/s]}$
343,6 – 340,1	0,028	36
340,0 – 338,1	0,029	35
338,0 – 334,0	0,024	42
333,9 - 331,9	0,025	40

Tabelle 5.6 Rauheiten für $Q = 1780 \text{ m}^3/\text{s}$

Die Rauheitsbeiwerte für die Eichung sind in der nachfolgenden Tabelle 3.4 dargestellt. Zur besseren Anschaulichkeit sind die bei der Berechnung verwendeten Manning-Werte (n -Werte) und die entsprechenden Strickler-Werte (k_{st} -Werte) für den Flußschlauch aufgeführt. Für die zum Teil überströmten Vorländer wurden je nach Struktur und Bewuchs Reiheitsbeiwerte zwischen $n = 0,035$ ($k_{\text{st}} = 29 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$) und $n = 0,037$ ($k_{\text{st}} = 27 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$) angesetzt.

Die verwendeten Rauheitsbeiwerte liegen auch hier im Bereich der nach DVWK 92 angegebenen Werte für ein natürliches Gerinne.

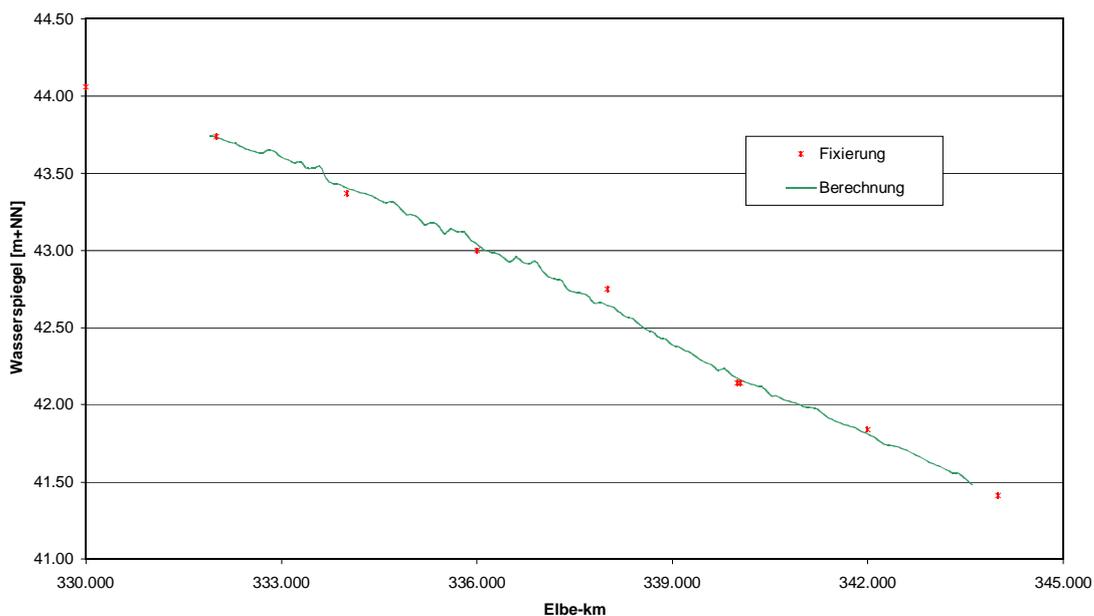


Abbildung 5.4 Ergebnis der Eichung für $Q = 1780 \text{ m}^3/\text{s}$

Abb. 5.4 zeigt das Ergebnis der Eichung. Die Abweichungen zwischen den Meßwerten vom 06.11.1998 und den berechneten Werten liegen zwischen -0.10 m und 0.04 m. Darstellungen der Sohlschubspannungen, Fließgeschwindigkeiten und Abflußflächen befinden sich in Anlage 3. Es konnte eine gute Anpassung des Modells erreicht werden.

Eichung für 2520 m³/s (10.03.1999)

Für die Eichung wurde die Fixierung vom 10.03.1999 herangezogen. Dieses Datum der Fixierung ergab sich nach Rücksprache mit dem WSA Magdeburg für den Untersuchungsabschnitt (siehe Kapitel 3.4). Bei diesem Ereignis wurde das Pretziner Wehr geöffnet. Es kam daher zu einer Aufspaltung des Abflusses in Stromelbe und Umflutgerinne. Direkt am oberstromigen Modellrand vereinigen sich die beiden Abflußanteile wieder. Am Pegel Magdeburg Strombrücke kann jedoch nur der Abflußanteil der Stromelbe erfaßt werden. Zudem ist der Pegel vergleichsweise unsicher. Aus diesem Grund wurde aus den Abflüssen der Pegel Barby (9.3.99, 2510 m³/s) und Tangermünde (10.3.99, 2530 m³/s) ein Abfluß von 2520 m³/s für das Modell angesetzt.

Aus der zuvor erstellten Abflußkurve für Elbe-km 343,6 wurde ein Startwasserspiegel von 42,23 mNN gewählt. Bei diesem Abfluß werden große Teile der Vorländer überströmt.

Die Rauheitsbeiwerte für die Eichung sind in der nachfolgenden Tabelle 5.7 dargestellt. Zur besseren Anschaulichkeit sind die bei der Berechnung verwendeten Manning-Werte (n-Werte) und die entsprechenden Strickler-Werte (k_{st}-Werte) für den Flußschlauch aufgeführt. Für die zum Teil überströmten Vorländer wurden je nach Struktur und Bewuchs Reiheitsbeiwerte zwischen $n = 0,035$ (k_{st} = 29 m^{1/3}/s) und $n = 0,037$ (k_{st} = 27 m^{1/3}/s) angesetzt.

Elbe-km	n [s/m ^{1/3}]	k _{st} [m ^{1/3} /s]
343,6 – 338,1	0,025	40
338,0 – 336,1	0,023	44
336,0 – 334,0	0,022	46
333,9 - 331,9	0,024	42

Tabelle 5.7 Rauheiten für Q = 2520 m³/s

Die verwendeten Rauheitsbeiwerte liegen auch hier im Bereich der nach DVWK 92 angegebenen Werte für ein natürliches Gerinne.

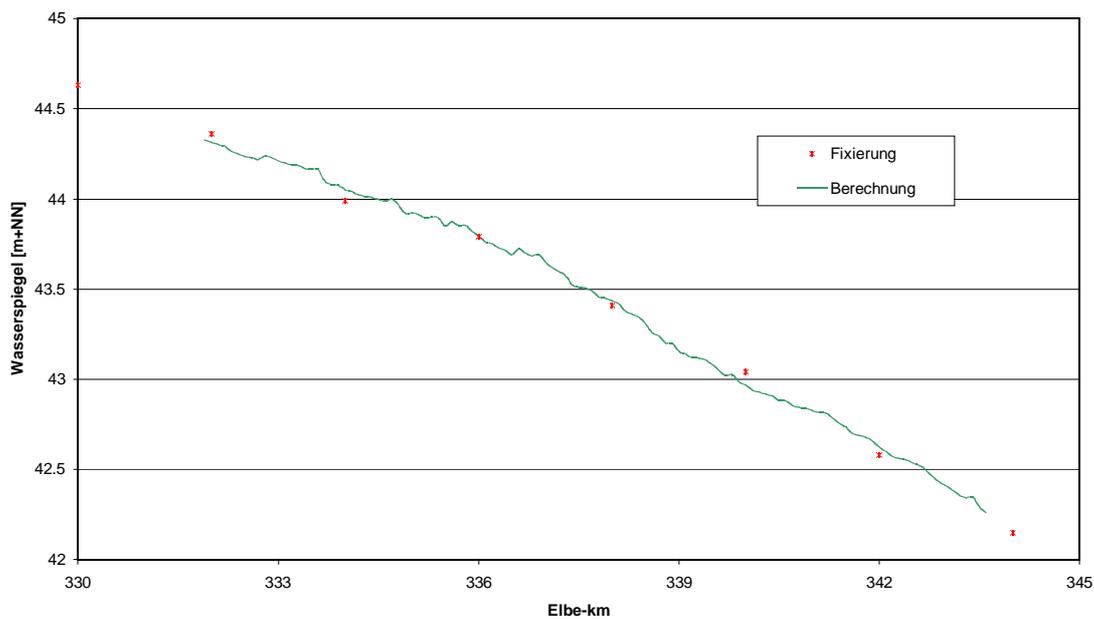


Abbildung 5.5 Ergebnis der Eichung für $Q = 2520 \text{ m}^3/\text{s}$

Abbildung 5.5 zeigt das Ergebnis der Eichung. Die Abweichungen zwischen den Meßwerten vom 11.03.1999 und den berechneten Werten liegen zwischen -0.07 m und 0.04 m . Darstellungen der Sohlschubspannungen, Fließgeschwindigkeiten und Abflußflächen befinden sich in Anlage 3. Es konnte eine gute Anpassung des Modells erreicht werden.

5.5 Synthetische Ereignisse und Parameteranalyse

Für weitergehende Aussagen über die hydraulischen Verhältnisse wurden synthetische Abflußereignisse berechnet. Die berechneten Abflüsse decken das Spektrum zwischen dem $Q_{\text{GIW}1989(20d)}$ und dem HQ100 ab (siehe Kap. 5.1). Insgesamt wurden für die in Tabelle 5.8 angegebenen Durchflüsse Berechnungen durchgeführt.

Die Ergebnisse müssen vor dem Hintergrund der für die Eichung verwendeten Daten gesehen werden. Gerade in den Hochwasserbereichen liegen nur ungenügende Daten für eine Eichung des Modells vor. Die berechneten Wasserspiegellagen können sich daher durchaus lokal beträchtlich von den in der Natur auftretenden unterscheiden.

	Durchfluß [m ³ /s]
Q _{GIW 1989*(20d)}	226
MQ	579
2MQ	1158
HQ2	1731
MHQ	1796
HQ5	2395
HQ10	2812
HQ20	3168
HQ50	3569
HQ100	3866

Tabelle 5.8 Synthetische Abflußereignisse

Es liegen bisher keine besser abgesicherten Daten über die Wasserspiegellagen der Elbe im Hochwasserfall vor, so daß die hier vorgestellten Daten ihre Berechtigung haben. In Abbildung 5.6 sind die berechneten Wasserspiegel dargestellt.

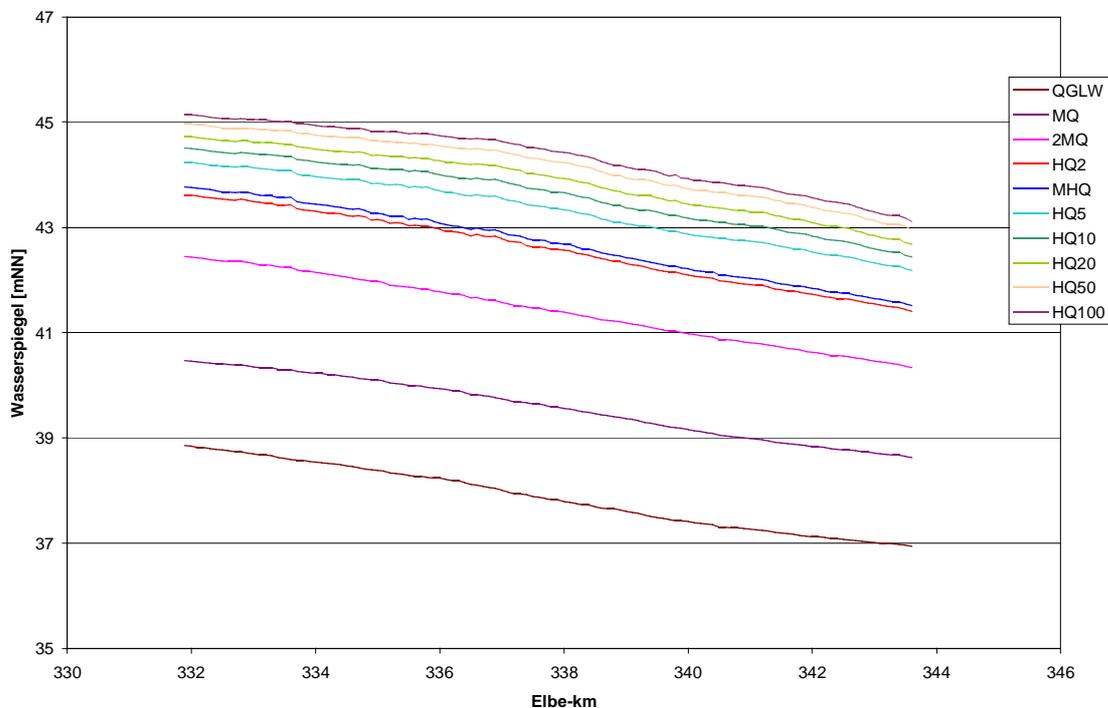


Abbildung 5.6 Darstellung der Wasserspiegellagen für synthetische Abflüsse

6 Überblick über die Gesamtergebnisse

6.1 Ansatz für die Gesamtbetrachtung

Insgesamt konnten 12 Teilstrecken, inklusive der von der BAW und der BfG bearbeiteten Abschnitte, mit einer Summe von ca. 507 Laufkilometern betrachtet werden (Abbildung 6.1 und Tabelle 6.1). Die Zusammenführung der Daten von den verschiedenen Institutionen und die Auswertung der Gesamtergebnisse wurde in Zusammenarbeit mit den Projektpartnern der Universität Karlsruhe durchgeführt. Angesichts der abschnittsbezogenen Bearbeitung, die den unterschiedlichen Zielen und Hintergründen der Modelle Rechnung trägt, stellt sich freilich die Frage einer sinnvollen Verknüpfung der Modelle bzw. ihrer Berechnungsergebnisse.

Eine programmtechnische Kopplung der Modelle kann erfolgen (wie z.B. von der BAW durch sukzessive Verlängerung der Erosionsstreckenmodelle realisiert), ist aber i.d.R. mit erheblichem Aufwand verbunden und bezüglich der zu erwartenden operationellen

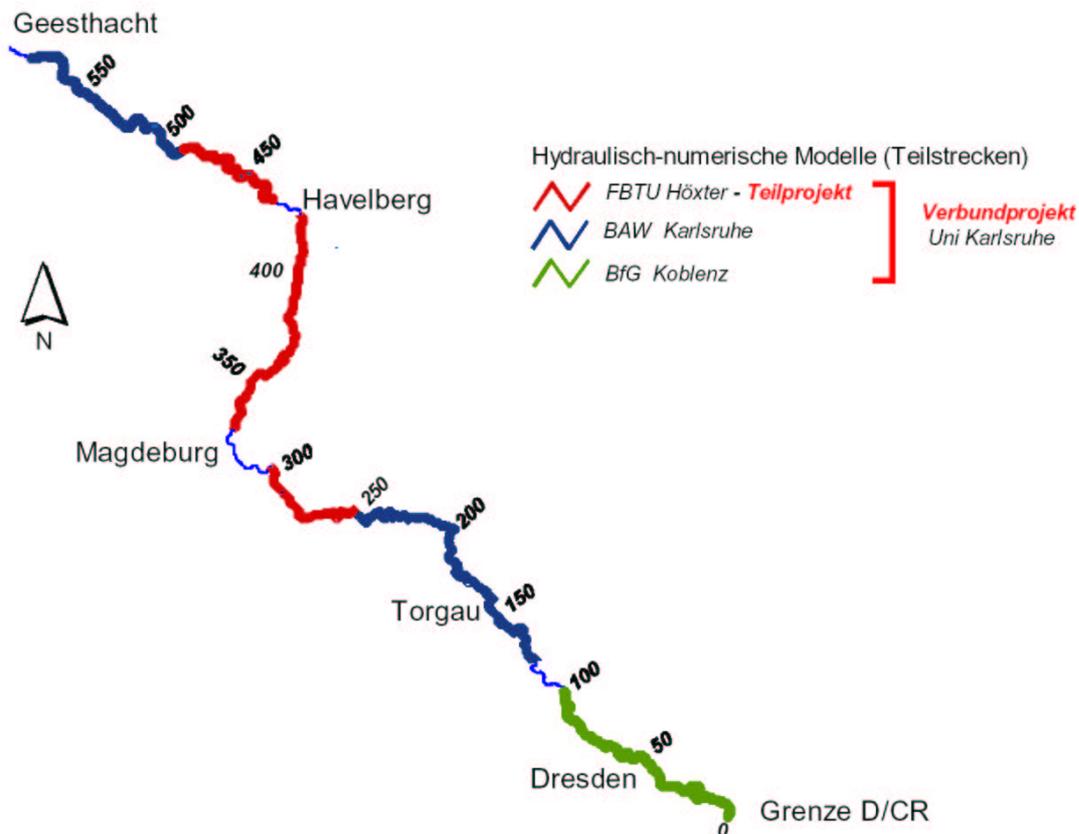


Abbildung 6.1 Überblick über die Berechnungsabschnitte

Nr.	Elbe-km	Kurzbezeichnung Streckenabschnitt, Bemerkungen	Bearbeitung
1	0,0 – 108,4	Grenze CR – Sächsische Elbe	BfG
		<i>Lücke sowie "langer" Kilometer km 121,54 (sächsische Kilometrierung) = km 120,5 (preußische Kilometrierung)</i>	
2	121,0 – 250,4	Erosionsstrecke	BAW (203-220 Verbundprojekt)
		<i>Kilometrierung km 250,5 = km 252,0: 1,5 km Fehlstrecke (Durchstich 1938)</i>	
3	252,0 – 271,9	Dessau	Verbundprojekt
4	271,2 – 288,3	Aken, Biosphärenreservat "Mittlere Elbe"	Verbundprojekt
		<i>Saalemündungsbereich</i>	
5	291,0 – 299,2	Barby	Verbundprojekt
		<i>Stadtstrecke Magdeburg: weitergehende BAW-Untersuchungen sowie Problem Stromteilung bei Hochwasser (Umflutkanal)</i>	
6	331,9 – 343,6	Hohenwarthe	Verbundprojekt
7	344,1 – 374,0	Niegripp	Verbundprojekt
8	374,0 – 390,0	NSG "Bucher Brack"	Verbundprojekt
9	388,0 – 408,0	Tangermünde	Verbundprojekt
10	407,0 – 425,7	Sandau	Verbundprojekt
		<i>Havelmündungsbereich</i>	
11	438,0 – 495,0	Wittenberge	BAW/Verbundprojek t
12	480,0 – 568,86	Reststrecke	BAW
		<i>Staubereich Wehr Geesthacht (km 568 - 585), bei NQ: Stauwurzel bis km 550</i>	

Tabelle 6.1 Streckenübersicht

Vorteile im Einzelfall abzuwägen. Der Zugewinn an Information aus inhaltlich-fachlicher Sicht ist bei ansonsten gleichen Eingabe- und Ausgabedaten kritisch zu hinterfragen.

Generell steht indessen einer weiteren Nutzung und ggf. am Bedarf orientierten Kopplung der Modelle für spezifische Fragestellungen nichts im Wege. Nebenbei kann hierzu erwähnt werden, daß als "durchgängiges instationäres Gesamtmodell Elbe" ein hydrologisches Wasserlaufmodell (basierend auf konzeptionellen Ansätzen und Flood-Routing-Parametern des ELBA-Modells der BfG) zur Verfügung steht, das im Vorhaben zur Frage der Deichrückverlegungen entwickelt und eingesetzt wurde.

Im Hinblick auf die Umsetzung der Teilprojektziele erschien es somit fachlich vielmehr angebracht, den Schwerpunkt der Bearbeitung in der Endphase auf die Modellanwendung zu legen, um charakteristische, über große räumliche und zeitliche Abschnitte hinweg vergleichbare Zustände zu beschreiben. Die Grundlage hierfür bilden die parallel im Vorhaben durchgeführten hydrologischen Analysen (Abflußstatistiken an

den Hauptpegeln), die mittels Regionalisierung in hydrologische Längsschnitte langfristiger Abflusskennwerte entlang der Elbe überführt wurden.

Demzufolge ist klar hervorzuheben, daß alle hier im Ergebnis dargestellten hydraulisch-morphologischen Parameter gemäß der großräumig und langfristig übergeordneten Charakterisierung des Abflußgeschehens ermittelt wurden. Die zugrunde liegenden Abflußzustände beziehen sich auf den hydrologisch eingegrenzten Ist-Zustand gemäß der Analyse der Pegelzeitreihen 1964-1995, wobei im Hinblick auf brisante Hochwasserfragen bzw. seltene Extremereignisse (wie HQT für $T > 50-100$ Jahre) auch die Ergebnisse der längerfristigen Betrachtung (1936-1995) berücksichtigt wurden. Als durchgängige bzw. einheitliche Abflußvorgabe wurden folgende in Tabelle 6.2 dargestellte Zustände gewählt.

Abflusskennwert	Beschreibung
MNQ	Niedrigwasser: $Q_{GW1989(20d)} \approx MNQ$
MQ	Mittelwasser
2*MQ	zweifacher MQ-Wert
MHQ	Mittl. jährl. Hochwasserscheitel
HQ_T für T = 5, 20, 100 a	Hochwasserscheitelabfluss der Jährlichkeit T

Tabelle 6.2 Abflussvorgaben der HN-Berechnungen gemäß hydrologischer Analyse des Zeitraums 1964-1995

In allen Teilstrecken wurden primär die Kennwerte der Pegelstellen als Vorgabe in die HN-Berechnung übernommen, wobei sich diese entsprechend der Regionalisierung (Längsschnittentwicklung) in ein konsistentes Gesamtbild entlang der Elbe fügen. In Strecken ohne Pegelstelle wurden die benötigten Abflussvorgaben aus den hydrologischen Längsschnitten abgegriffen. Das heißt für die berechneten Parameter, daß sich die zugehörigen Abflüsse im Längsverlauf ändern, und zwar einerseits allmählich (geringfügig) über längere Teilstrecken hinweg und andererseits stufenartig an den Zuflüssen Schwarze Elster, Mulde, Saale und Havel. Dabei besteht diese Änderung nicht immer in einer Abflußzunahme, sondern kann bedingt durch die Retentionswirkung entlang des Gewässerlaufes oder durch lokale Effekte (z.B. Einströmen von Elbe-Hochwasser in Havelgebiete) in einer Abnahme bestehen.

6.2 Parameterauswahl und Datenumfang

In Tabelle 6.3 sind alle Kenngrößen im Überblick zusammengestellt, die für die Längsschnittbetrachtung ausgewählt und für die o.a. Abflüsse berechnet bzw. aus den verfügbaren Daten abgeleitet wurden. Die Tabelle liefert zugleich Hinweise zur

Verfügbarkeit der Daten und Berechnungsergebnisse in Form von Längsschnittdarstellungen, ergänzt um grafische Auftragungen der Parameter in Funktion der gerechneten Abflüsse im 500 m - Abstand auf CD (Anlage). Die hydraulisch-morphologischen Parameterdarstellungen (Längsschnitt-Serien) sind in 21 Abschnitte à 20-30 km Länge unterteilt und weitestgehend aufeinander abgestimmt.

6.3 Erläuterungen zu den Ergebnissen anhand von Beispielen

Wasserspiegellagen

Zu den für viele Belange wohl wichtigsten Größen zählen die Wasserspiegellagen. Abbildung 6.2 liefert einen Gesamteindruck der Wasserstandsverhältnisse für mittlere Zustände (hier: MNQ, MQ, MHQ gemäß der o.a. Abflussdefinition). Eine detaillierte Ansicht der Ergebnisse zeigt Abbildung 6.3 exemplarisch für die Beispielstrecke bei Sandau einschließlich Sohlhöhenangaben. Entsprechende Detailansichten (für Abschnitte von ca. 25 km Länge) sind für alle berechneten Strecken in der Anlage (CD-Rom) verfügbar. Es wird deutlich, daß die Wasserspiegellagen ein insgesamt relativ gleichförmiges Bild zeigen (d.h. Parallelität der Verläufe). Ferner ist klar, daß aus diesen Daten eine Vielzahl weiterer Parameter samt ihrer Variabilität im Längsverlauf ableitbar sind (z.B. charakteristische Fließtiefen, Gefälle, Wasserstandsdifferenzen etc.).

Eine wichtige Anwendung der berechneten Wasserspiegellagen besteht in ihrer (digitalen) räumlichen Überlagerung mit Geländeinformationen mittels Einsatz von GIS, insbesondere die Ermittlung von Überflutungsflächen sowie -höhen. Im Vorhaben wurde diese Verschneidung für die Elbeabschnitte durchgeführt, in denen auch eigene HN-Modelle bzw. zu diesem Zweck digitale Geländemodelle erstellt wurden. Für große Abschnitte der Mittleren Elbe entsprechen die Überflutungsgrenzen zugleich den Deichlinien.

aus	Parameter / Maßeinheit / Bezeichnung		Kurzbeschreibung	Verfügbarkeit s. Hinweise*	
Hydraulische Berechnungen	W	[m+NN]	Wasserspiegellage	querschnittsgemittelt	a), b), c), e)
	B	[m]	Wasserspiegelbreite	hydraulisch wirksame (durchströmte) Breite ggf. hydraulische Ann. zu Bühnen, Deiche etc.	a), b), c), e)
	A	[m ²]	Durchflussfläche	hydraulisch wirksamer Fließquerschnitt A_{ges} , bzw. getrennt nach Fluss/Vorland A_M, A_{Vfl}, A_{Vre}	a), b), d), e), f)
	v	[m/s]	Fließgeschwindigkeit	querschnittsgemittelt für A_{ges} bzw. getrennt nach Fluss/Vorland A_f	a), b), d), e), f)
	τ	[N/m ²]	Schubspannung	bezogen auf die bewegliche Sohlbreite i.a. zwischen den Bühnenköpfen	a), b), d), e), f), g)
Querprofile	y	[m+NN]	Sohlhöhe (mittl./max.)	hier bezogen auf definierte Breite in Strommitte (70% der Streichlinienbreite)	a), g)
	y_{min}	[m+NN]	Talwegshöhe (min.)	i.a. definiert als tiefster Punkt im Querprofil bzw. in dessen strömungswirksamen Bereich	a)
ableitbare Kenngrößen	h	[m]	Fließtiefe (max./mittl.)	Differenzhöhe Wasserspiegellage - Sohlhöhe (max: Talweg / mittl: Sohlhöhe laut Def.)	h)
	B/h_m	[-]	Breite-Tiefe-Verhältnis	B/h als Form des Durchflussquerschnittes wobei mittl. Fließtiefe laut allg. Def.: $h_m = A/B$	h)
	B/A R^{-1}	[1/m]	spez. Oberfläche \approx (hydraul. Radius)⁻¹	B/A [m/m ²] \approx Verhältnis Oberfläche/Volumen [m ² /m ³] des strömenden Wasserkörpers bzw. Hydraulischer Radius (hier Näherung für gr. Breiten $B \gg h$)	h)
	Δh	[m]	Wasserspiegel-differenzen	Schwankungsbereich der Wasserspiegellagen, z.B. für die Fälle: MW-NW und MHW-NW	h)
	ΔA_{still}	[m ²]	Querschnittsfläche Stillwasserzone	Differenz zwischen gepeilten Querprofilen und hydraulisch aufbereiteten Profilen (Bühnenschatten)	h), i), k)
	Δx	[m]	Breite der Wasserwechselzone	Abstand der Uferpunkte bei NW und MW jeweils linkes/rechtes Ufer	a), g), l)
	$\tan \beta$	[-]	Uferneigung	$\tan \beta = \Delta h / \Delta x$ bezogen auf NW und MW jeweils linkes/rechtes Ufer	a), g), l)

Tabelle 6.3 Im Projektergebnis (Überblick) erfasste und ableitbare Parameter der Elbe aus 1D-HN-Berechnungen und Querprofilaten

* Hinweise:

- a) Verfügbar für alle Modellstrecken, im vorliegenden Bericht als Längsschnitte auf CD in Abschnitten von 20-30 km
- b) Berechnet für alle angegebenen Abflusszustände (vgl.)
- c) Parameter verfügbar im Abstand von 500 m in Funktion des Abflusses (abrufbar über Grafikmenü auf CD)
- d) wie c) jedoch beschränkt auf die Werte des Flusshauptschlauches (z.B. A_M) sowie bezogen auf den Gesamtabfluss (z.B. A_{ges})
- e) Berechnung in Modellstrecke km 252-265 für ausufernde Zustände (Hochwasser) problematisch, daher dort ausgenommen
- f) Längsschnitte an Modellgrenzen (Übergänge benachbarter Strecken) z.T. mit leichten Sprüngen, auf Grund hydraulischer Annahmen
- g) Ausnahme: aktueller Bearbeitungsstand ohne Modellstrecke km 0-108
- h) als ableitbare Größe grundsätzlich verfügbar wie a)-g), hier aber nicht oder nur im Gesamtüberblick dargestellt
- i) Ausnahme: hier nur für Niedrig- und Mittelwasserzustände als sinnvoll erachtet und ermittelt
- j) Ausnahme: aktueller Bearbeitungsstand ohne Modellstrecke km 120-250
- k) Ausnahme: aktueller Bearbeitungsstand ohne Modellstrecke km 536-568

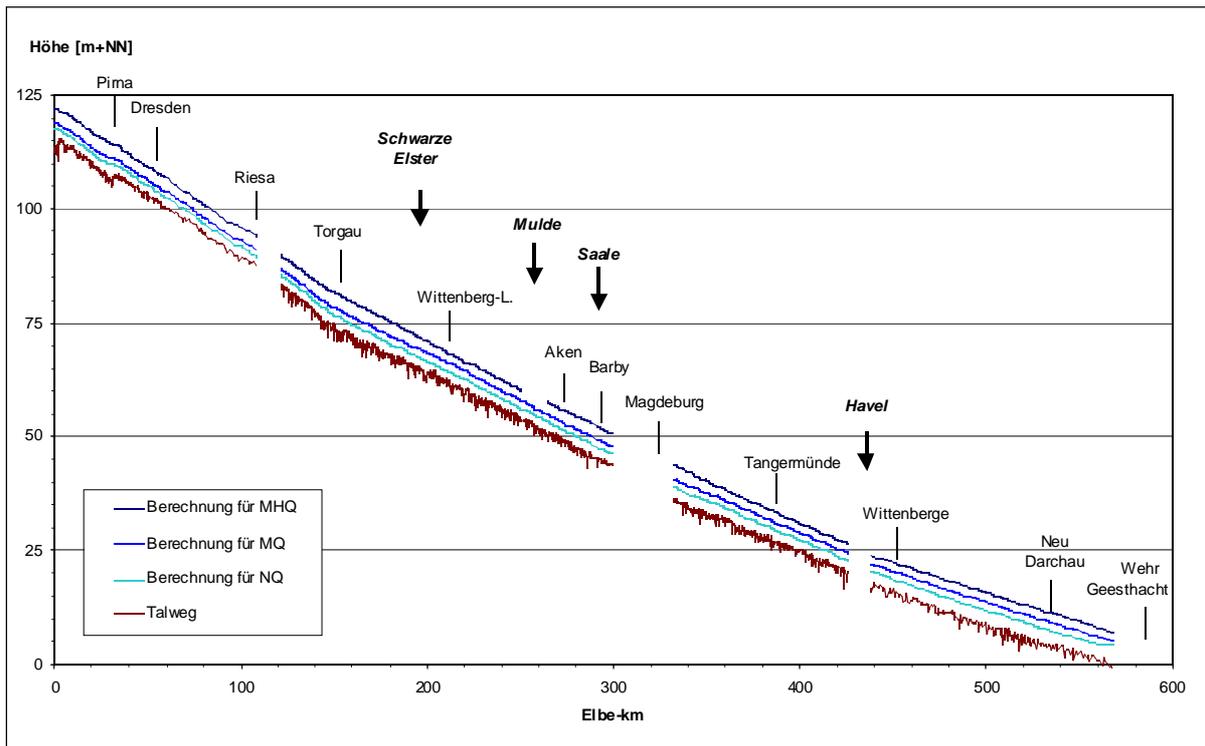


Abbildung 6.2 Längsschnitt mit Wasserspiegellagen für MNQ, MQ, MHQ und Talweg (1965-1995)

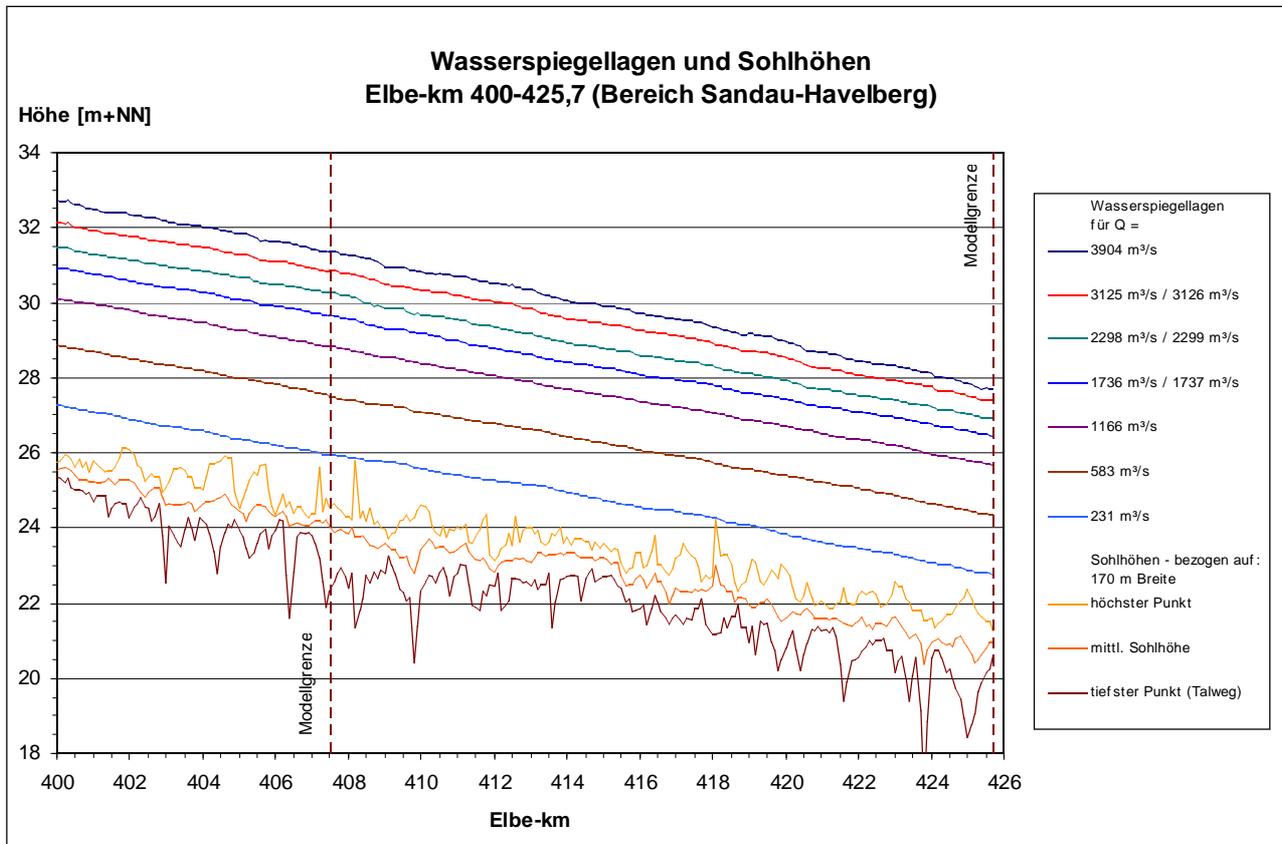


Abbildung 6.3 Beispielbereich km 400-425,7; weitere Teilstrecken siehe Anlage/CD-Rom

Fließgeschwindigkeiten

Als weitere Größe von übergeordneter Bedeutung sind die mittleren Fließgeschwindigkeiten im Flusshauptschlauch herauszustellen, hier dargestellt in Abbildung 6.4 (Gesamtübersicht) und Abbildung 6.5 (Teilstrecke). Weitere Darstellungen sind wiederum in der Anlage/CD verfügbar. Folgende Einzelheiten sind in den Abbildungen erkennbar und liefern sehr wichtige Aufschlüsse zur weiteren Interpretation.

- Ein erster Grobeindruck der mittleren Fließgeschwindigkeiten der Elbe im Längsschnitt läßt - ausgehend von einem relativ homogenen Bild für Niedrigwasser - mit zunehmendem Abfluß eine größere Schwankungsbreite und Veränderlichkeit in Längsrichtung erkennen. Dies beinhaltet z.B. eine allmähliche Verlangsamung der Strömung bei Hochwasser bis in die flachen Abschnitte der Unteren Mittelelbe (ab km 400).
- Betrachtet man die Strecke ab km 120, so fällt auf, daß infolge der dortigen Sohleneintiefung insbesondere bei Strömungszuständen im Bereich Mittelwasser und darüber deutlich höhere Geschwindigkeiten zu verzeichnen sind als in anderen Strecken (Beispiel: vergleiche $v(MQ)$ und Hilfslinie " $v = 1 \text{ m/s}$ "). Dieser Effekt der fortgeschrittenen Eintiefung der Sohle und Abflußkonzentration im Hauptgerinne verläuft sich danach im Bereich des Biosphärenreservates Mittlere Elbe (ca. km 230-300).
- Im Bereich der sogenannten Reststrecke (km 508-521) ist eine Senke im Verlauf der Geschwindigkeiten zu erkennen, die sich unschwer mit dem geringeren Ausbaugrad (infolge des nicht vollendeten Niedrigwasserausbau im 2. Weltkrieg) erklären läßt. Die Geschwindigkeitsreduzierung gegenüber den benachbarten Strecken beträgt bei Niedrigwasser etwa 0,2 m/s.
- Für weitergehende Interpretationen sind u. U. auch Einflüsse auf die Ergebnisse auf Grund der Wahl der Modelliermethode (als Artefakte zu bezeichnen) zu beachten. Konkret heißt das, daß insbesondere hinsichtlich der Frage der hydraulischen Zuordnung und Wirkung der Buhnen bei ihrer Überströmung eine nicht einheitliche Festlegung (Modellannahme) in den Strecken bei der Trennung von Fluß- und Vorlandbereichen zu beachten ist.

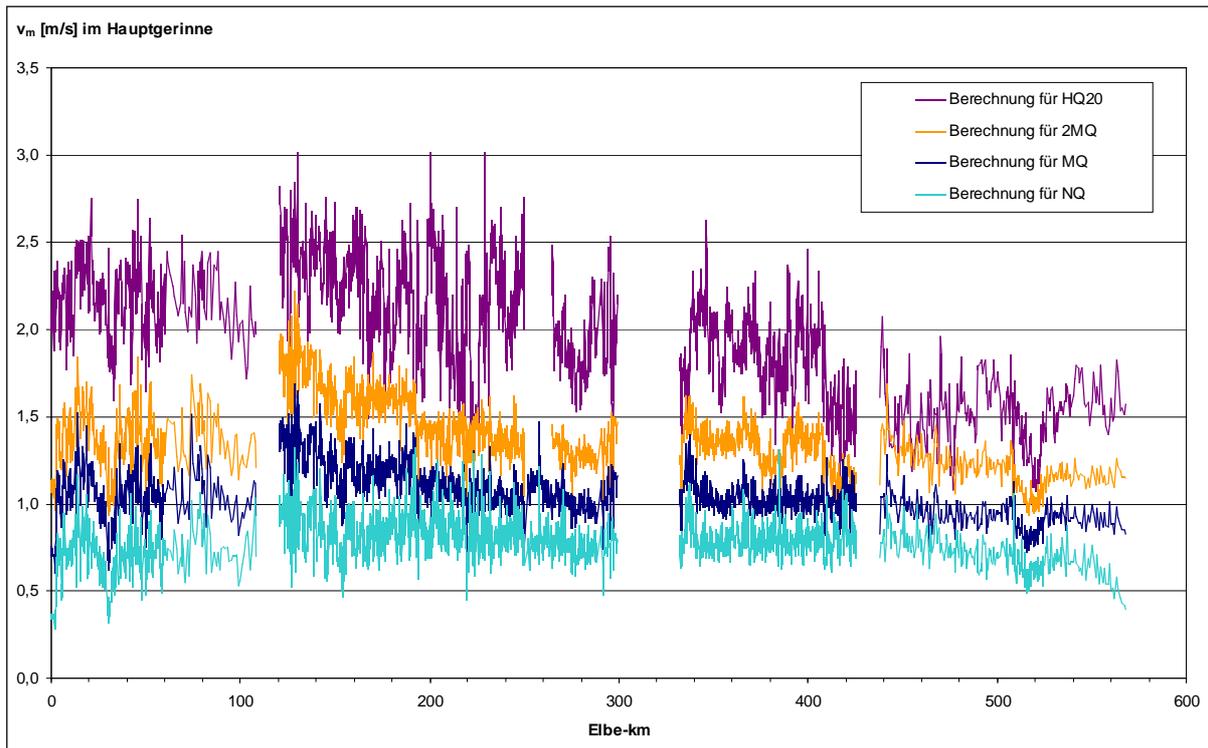


Abbildung 6.4 Mittlere Fließgeschwindigkeiten im Flusshauptschlauch im Längsschnitt der Elbe

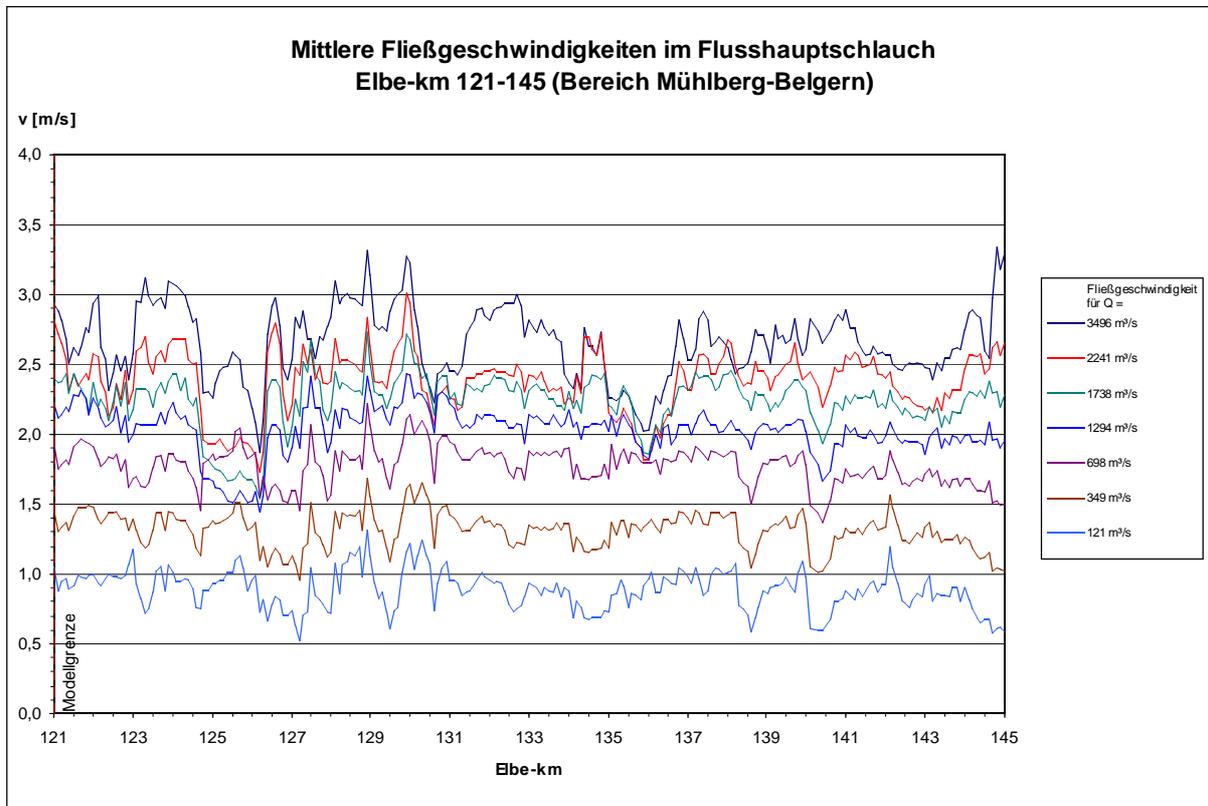


Abbildung 6.5 Beispielstrecke km 121-145

- Dies äußert sich z.B. in einem vermeintlich sprunghaften Verlauf der Berechnung für $v(2MQ)$ in der Strecke etwa km 360-400: die Unterschiede von ca. 0,15 m/s in den benachbarten (Modell-) Strecken sind hierauf zurückzuführen. Gleichzeitig beschränken sich diese Aussagen auf den Bereich "Buhnenüberströmung bis Ausuferung ins Vorland": während bei NQ und MQ die Trennung keine Rolle spielt, verlieren sich die Einflüsse bei ausgeprägtem Hochwasser in der großen Schwankungsbreite der Ergebnisse (im vorliegenden Fall: Variabilität der Geschwindigkeiten $v(HQ20)$ von 1,5 bis 2,5 m/s).

Durchströmte Breiten und Querschnittsflächen

Die Längsschnitte der hydraulisch wirksamen (laut Berechnungsansatz durchströmten) Wasserspiegelbreiten und Querschnittsflächen, dargestellt in Abbildung 6.6 und Abbildung 6.7, lassen Rückschlüsse auf die hydraulisch-morphologische Gesamtsituation bzw. räumliche Entwicklungstendenzen und Variabilität im Längsverlauf zu. So ist auf den ersten Blick die starke Veränderung der Parameter vom Oberlauf (bis km 100) mit schnellem Übergang (bis km 200) in die Strecken der Mittelelbe zu erkennen. Einzelne Verläufe sind mit den verschiedenen Charakteristika der Strecken in Fluss und Vorland (z.B. Strombaumaßnahmen, Erosion, Überflutungsbereiche, Deichverlauf) in Verbindung zu bringen.

Für Niedrig- und vor allem Mittelwasserverhältnisse fällt eine gleichmäßigere und geringere Breite im Bereich von ca. km 120-200 auf, die durch die vorhandenen Ausbaubreiten bei gleichzeitig tiefer eingeschnittener Querprofilform erklärbar ist. Interessant in diesem Zusammenhang sind auch die Abschnitte unterhalb von Magdeburg (ab km 330) und die Reststrecke (ab km 508).

Die Breitenverläufe (hier) für MQ bis MHQ liefern Hinweise über die Verhältnisse mit zunehmendem Abfluß, insbesondere bezüglich der Überströmung der Buhnen und der Vorländer, wobei für das räumliche Bild auch die gegenseitigen Abstände der Verläufe interessant sind.

So ist u.a. festzuhalten, daß der Ort der größten Zunahme der Fließbreiten bzw. -flächen im Längsschnitt abflußabhängig von etwa km 200 (Mündung Schwarze Elster) aus nach oberstrom bis in den Bereich Torgau-Prettin wandert. An der Unteren Mittelelbe kann aus den eng zusammen liegenden Verläufen der Situationen für $Q > 2MQ$ auf eine relativ schnelle Überflutung der vollen verfügbaren Breite (der flachen Vorländer bzw. bis zu den Deichen) geschlossen werden.

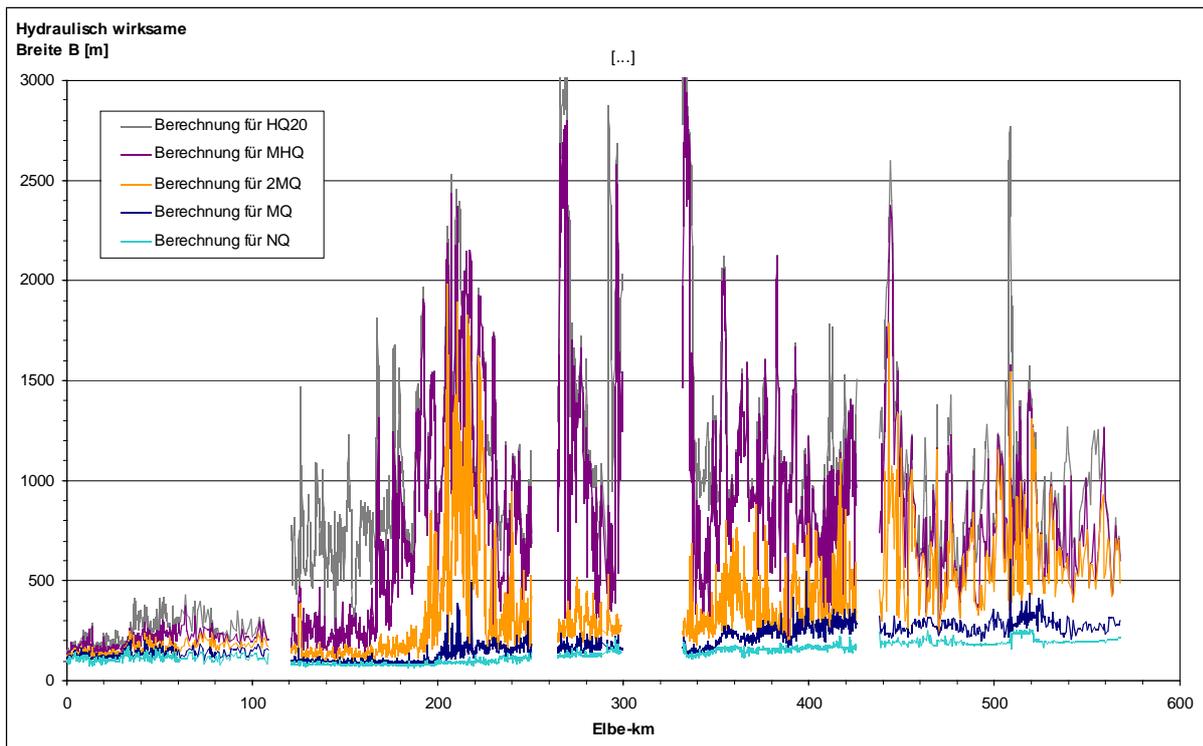


Abbildung 6.6 Hydraulisch wirksame (durchströmte) Breiten im Längsschnitt

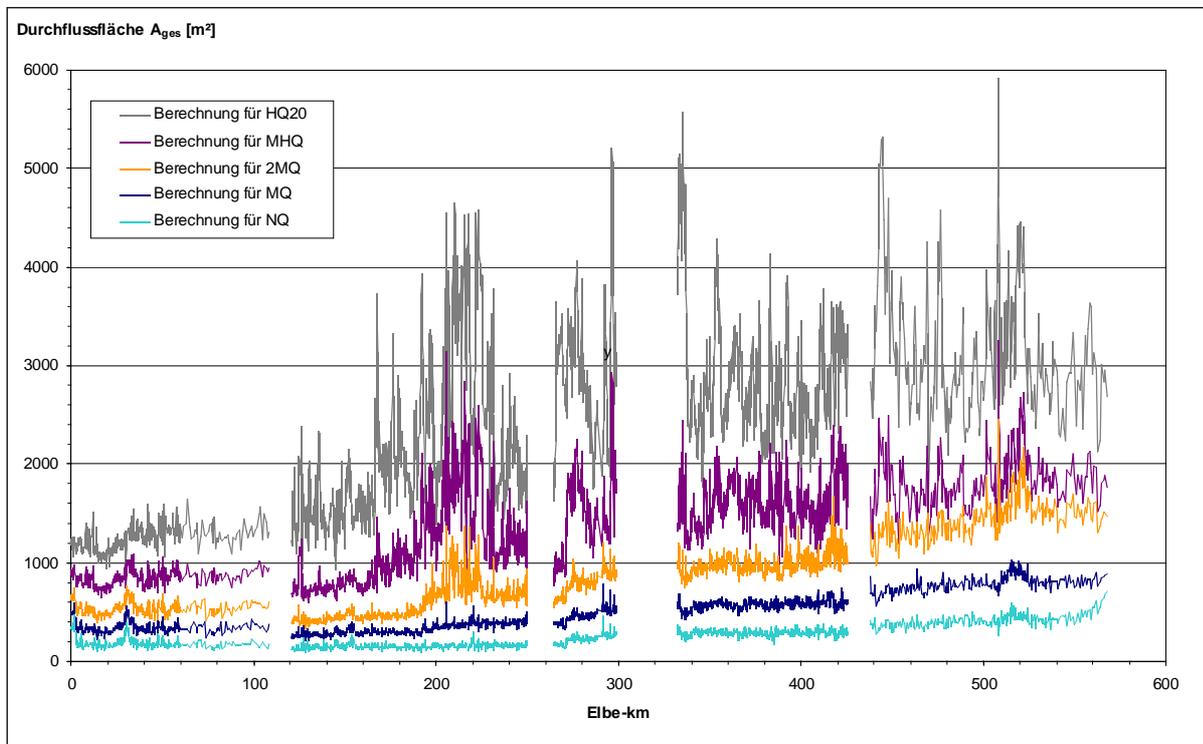


Abbildung 6.7 Wirksame Fließquerschnitte (Summe Fluss/Vorland) im Längsschnitt

Schubspannungen

Die berechneten Schubspannungen, im Überblick dargestellt in Abbildung 6.9, sind prinzipiell ähnlich zu interpretieren wie die Fließgeschwindigkeiten. Dabei ist zu beachten, daß sich die Größen auf eine rechnerisch bewegliche Sohlbreite (i.a. definiert zwischen den gegenüberliegenden Bühnenfüßen) beziehen, und daher als wirksame Belastung der Flußsohle anzusehen sind.

Ableitbare Parameter (Beispiele)

Exemplarisch werden hier weitere Kenngrößen dargestellt, die aus den erarbeiteten Daten ableitbar sind und bedeutsame Aufschlüsse liefern (können).

Maximale / mittlere Fließtiefen (Abbildung 6.8):

Bezogen auf mittlere Sohlhöhen im Bereich der Hauptströmung (hier: 70% der Sollstreichlinienbreite; zeigt sich z.B. für NQ bis MQ ein Band von Wassertiefen von (grob) 1,5 bis 4,5 m, mit einigen lokalen Abweichungen. Wird zusätzlich die Differenz zum Talweg (als Maß für die Variabilität der Sohlhöhe, d.h. im Mittel weitere 0,5 bis 1,5 m) betrachtet, so ergeben sich maximale Fließtiefen von ca. zwei bis über fünf Metern bei NQ und drei bis über sechs Metern bei MQ. Auf die unmittelbare Darstellung der maximalen Fließtiefen wurde hier verzichtet.

Wasserspiegeldifferenzen (Abbildung 6.10):

Aus den Höhendifferenzen der Wasserspiegellagen, hier bezogen auf Mittelwasserniveau, ergibt sich ein Gesamtbild der "Bandbreite der Wasserstandsdynamik" zwischen charakteristischen Zuständen. Zum Beispiel läßt sich ablesen, daß die Differenz zwischen Niedrig- und Mittelwasserständen minimal 1,1 und maximal 2 m beträgt (Ausnahme: Stauwurzel des Wehres Geesthacht ab km 550). Auffällig sind auch hier die Gradienten im Bereich der Erosionsstrecke.

"Spezifische Wasseroberfläche" (Abbildung 6.11):

Nach IKSE (1994) ist das Verhältnis der Wasseroberfläche zum Wasservolumen - auch als spezifische Wasseroberfläche bezeichnet - eine maßgebende Größe für die Möglichkeit des Gewässers, einerseits Sauerstoff über die Oberfläche aus der Luft aufzunehmen (atmosphärischer Sauerstoffeintrag) und andererseits durch biochemische Reaktionen (Photosynthese) unter Lichteinwirkung biogen Sauerstoff zu produzieren.

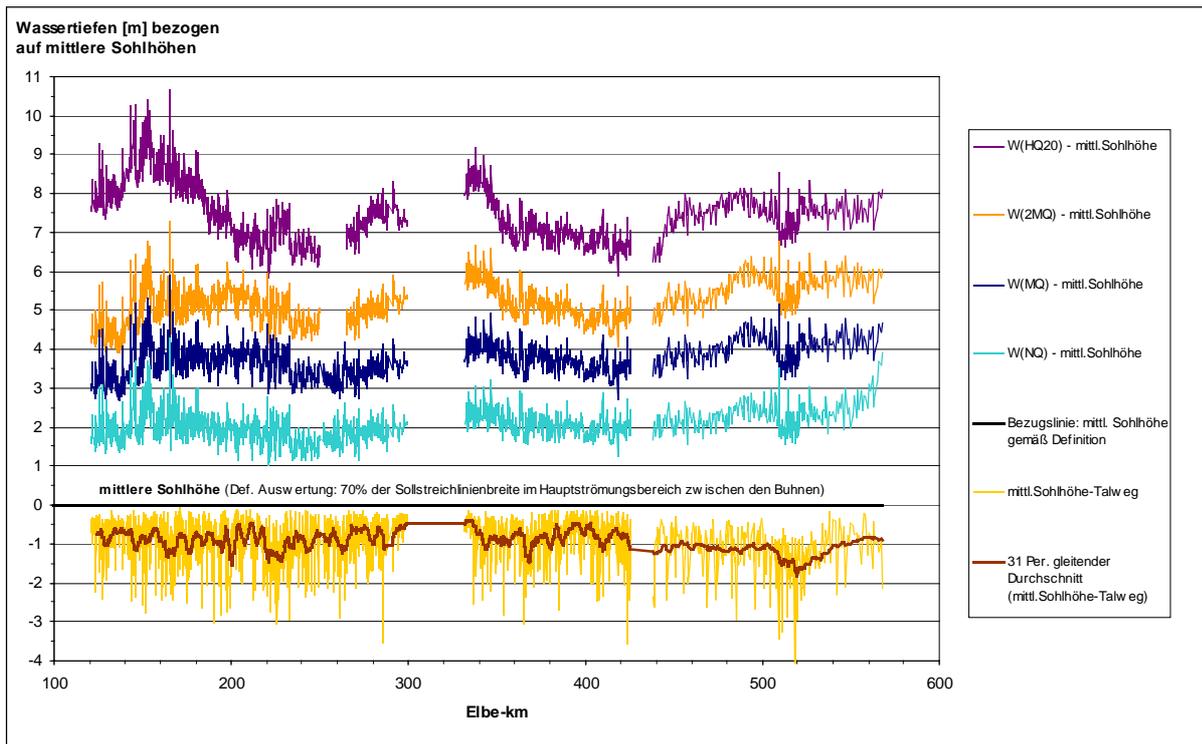


Abbildung 6.8 Mittlere und maximale Fließtiefen im Längsschnitt (Differenz Wasserspiegel - mittlere Sohlhöhe bzw. Talweg)

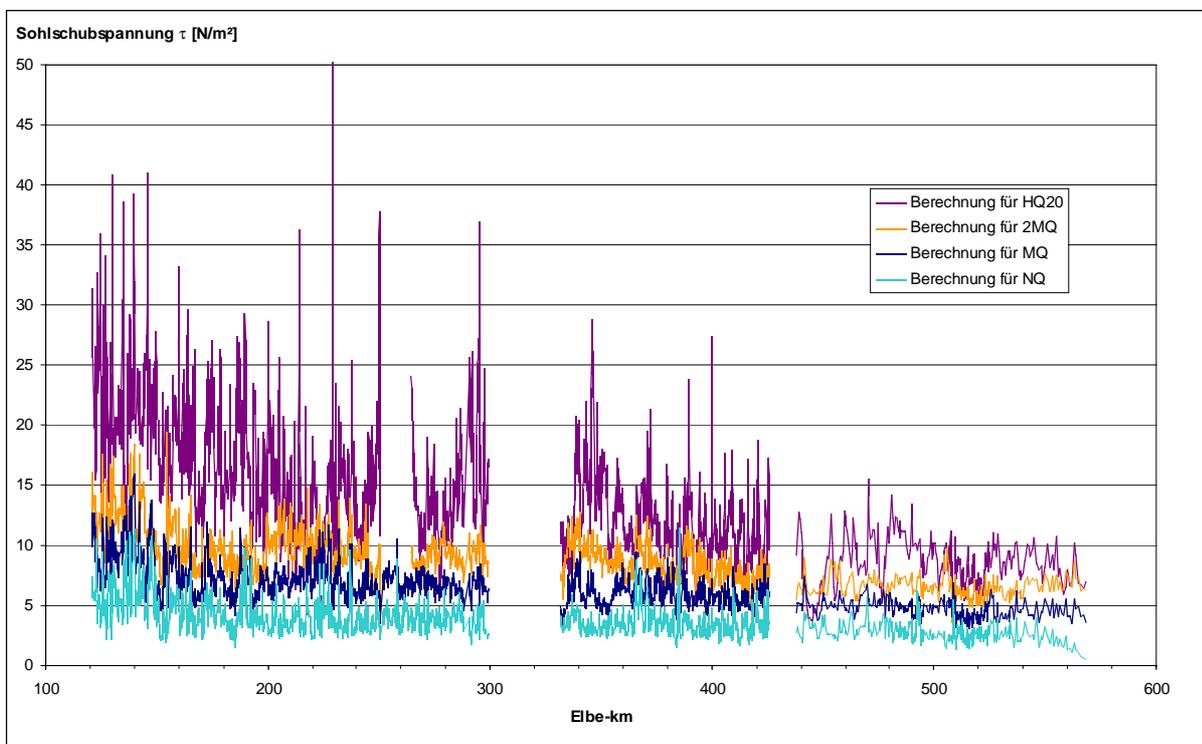


Abbildung 6.9 Wirksame Sohlschubspannungen im Längsschnitt

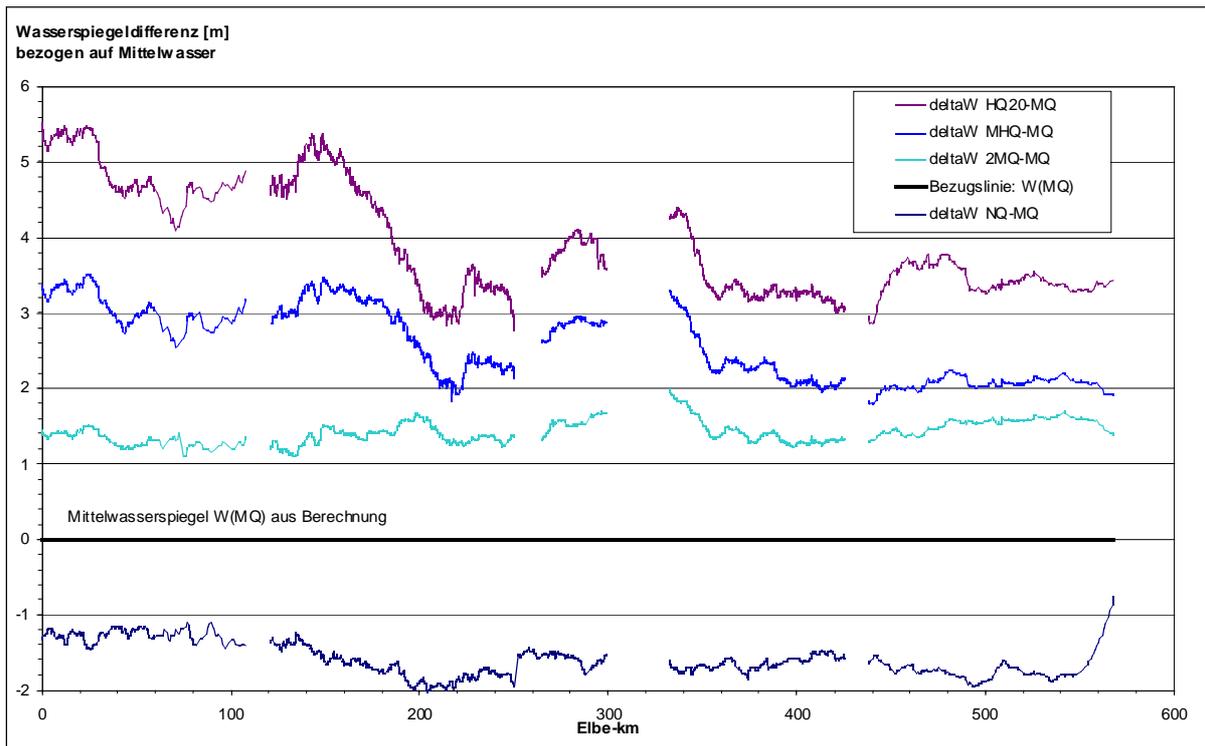


Abbildung 6.10 Wasserstandsdifferenzen bezogen auf Mittelwasserniveau im Längsschnitt

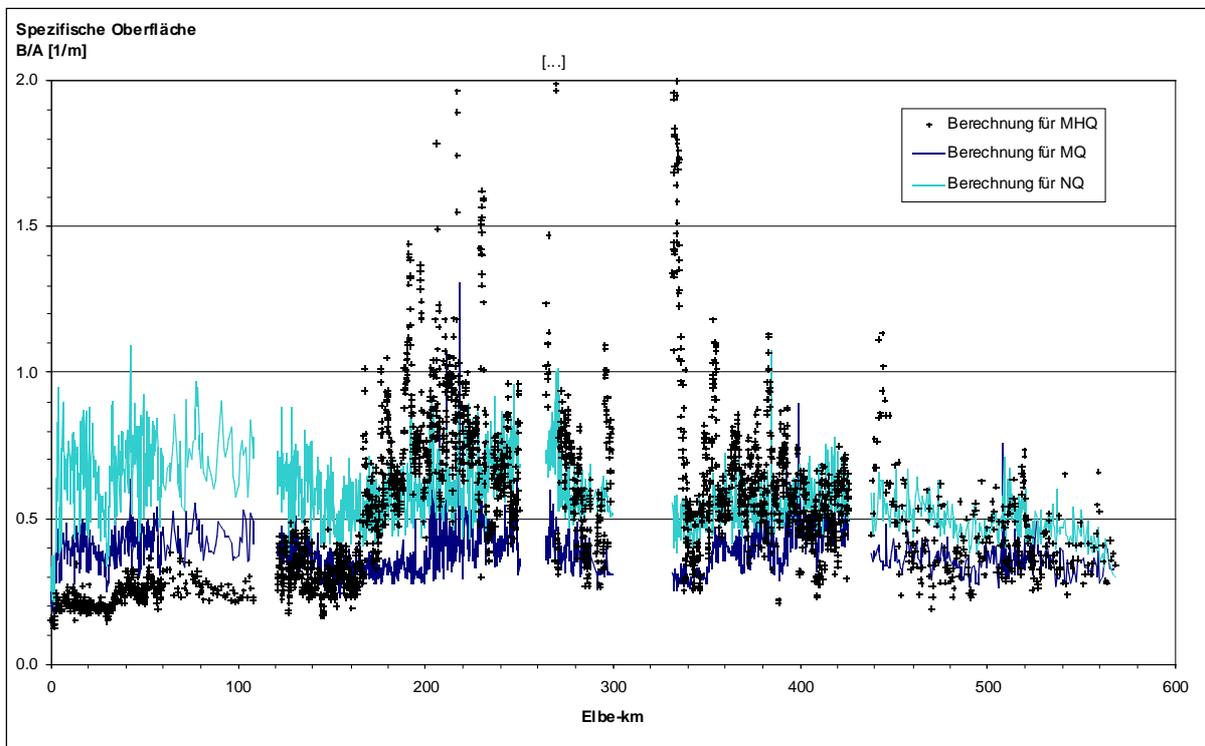


Abbildung 6.11 Spezifische Oberfläche des abflusswirksamen Wasserkörpers (= Verhältnis Oberfläche/Volumen, hier Näherung: Breite/Querschnittsfläche)

Bezogen auf den abflußwirksamen (strömenden) Wasserkörper kann diese Größe, wie dargestellt, vereinfachend durch den Quotienten von Fließbreite zu -querschnitt beschrieben werden. Bedarfsweise können die nicht durchströmten Bereiche hinzugezogen werden .

6.4 Verallgemeinernde Darstellungen von Einzelparametern

Über die Längsschnitte zur Darstellung der räumlichen Entwicklung der Parameter hinaus erscheint es naheliegend, ihre Variation über die Abflußzustände lokal an einzelnen Gewässerstellen (d.h. am Stromkilometer) oder regional in Teilstrecken aufzuzeigen. Neben dem Vergleich von Teilstrecken ermöglicht dies auch die Ableitung von Zwischengrößen für nicht berechnete Zustände.

Darstellungen am Stromkilometer

Mittels der Software der Anlage/CD-Rom stehen die wichtigsten Parameter wie Wasserspiegel, Fließgeschwindigkeit, etc. als Funktion des Abflusses im Abstand von 500 m zur Verfügung. Beispielhaft zeigt Abbildung 6.12 einige abflußabhängige Geschwindigkeitsverläufe an einzelnen Kilometern. Durch Vergleich der Fließgeschwindigkeiten im Hauptgerinne (v_{mi}) sowie des Gesamtabflusses ($v_{ges} = Q/A_{ges}$), d.h. unter Einbezug der Abflußanteile im Vorland bei Hochwasser, lassen sich u.a. Aussagen zur lokalen Ausuferung ableiten.

Statistik in Teilstrecken

Unter Beachtung der wesentlichen morphologisch bedingten Änderungen im Längsverlauf wurden für die abflußabhängigen Größen Fließgeschwindigkeit und maximale Fließtiefe ($h_{max}(Q) = \text{Wasserstand}(Q) - \text{Talwegshöhe}$) abschnittsweise statistische Kenngrößen ermittelt. Ziel ist die Beschreibung typischer Werte und ihrer Variabilität im Hinblick auf den Vergleich von Teilabschnitten.

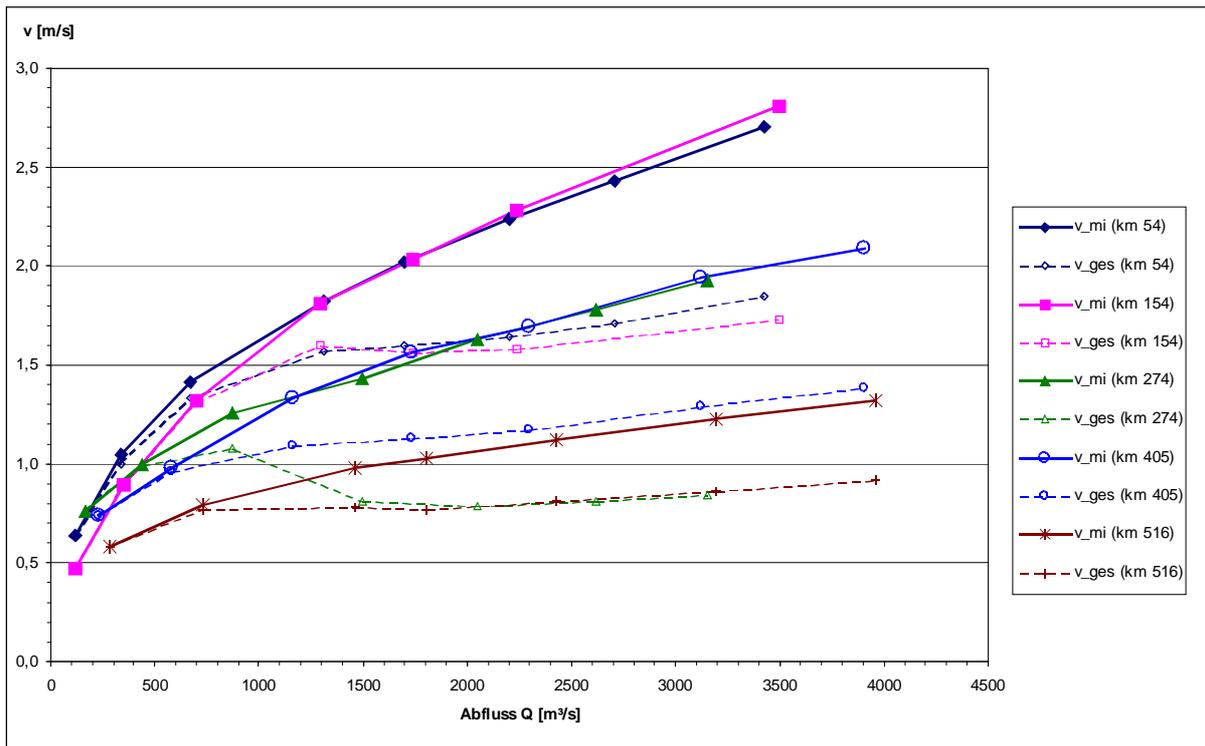


Abbildung 6.12 Beispiel: Fließgeschwindigkeiten als Funktion des Abflusses für einzelne Kilometer

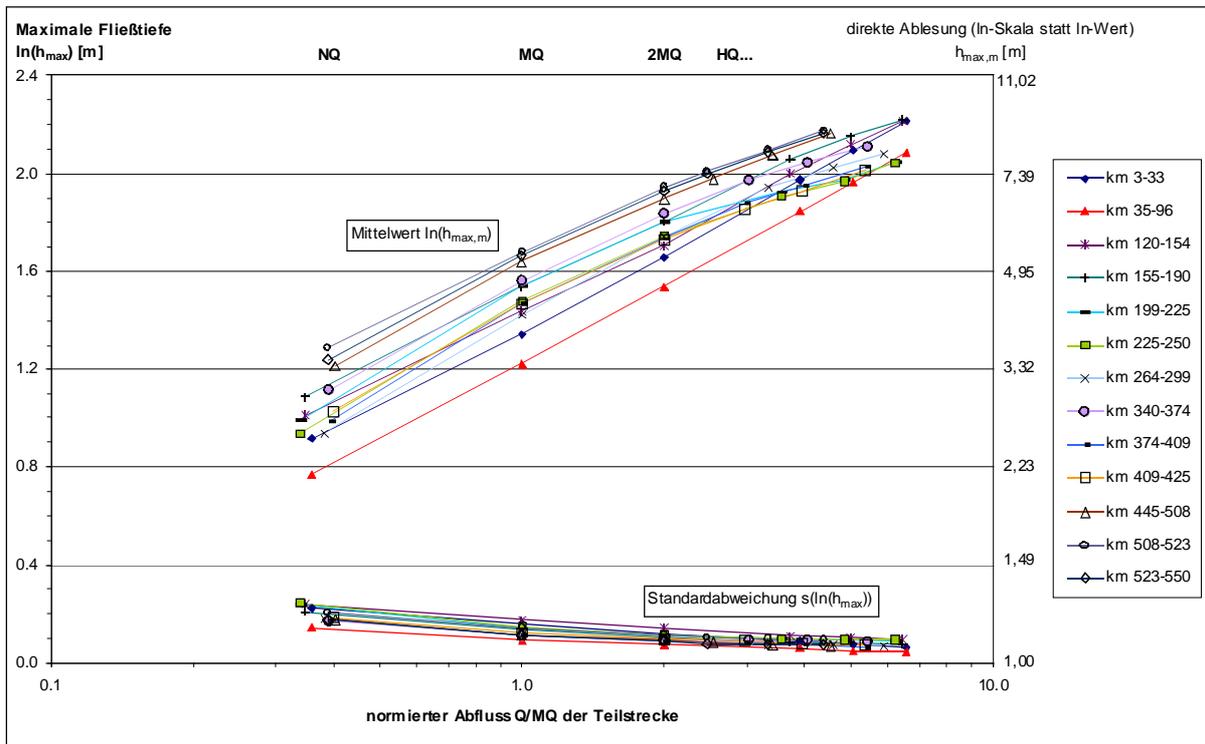


Abbildung 6.13 Mittelwerte und Standardabweichung der maximalen Fließtiefe in Teilstrecken (Differenz Höhen $W(Q)$ -Talweg), Anm.: zur besseren Vergleichbarkeit Darstellung mit a) Normierung auf MQ (der Teilstrecke) und b) Logarithmierung

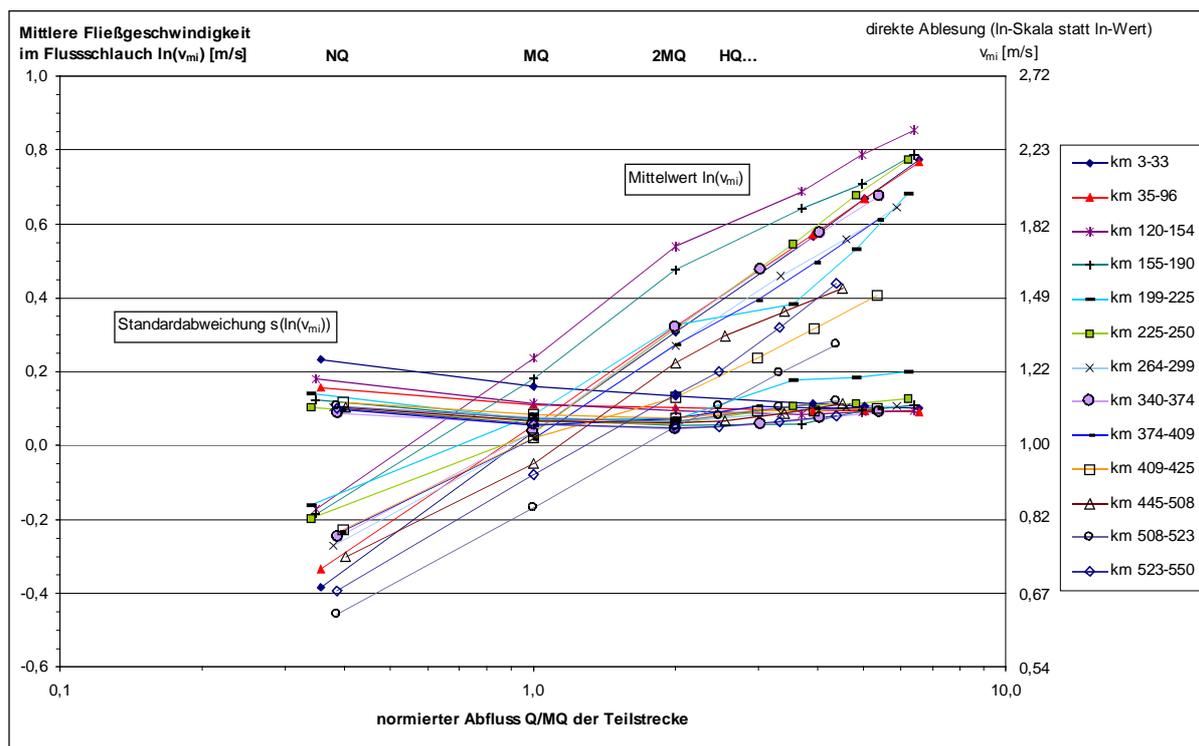


Abbildung 6.14 Mittelwerte und Standardabweichung der mittleren Fließgeschwindigkeit im Flussschlauch in Teilstrecken, Anm.: zur besserer Vergleichbarkeit Darstellung mit a) Normierung auf MQ (der Teilstrecke) und b) Logarithmierung

Abbildung 6.13 und Abbildung 6.14 zeigen die Ergebnisse der Statistik, wobei zwecks besserer Vergleichbarkeit die zugehörigen Abflüsse der HN-Berechnung in Bezug zum MQ-Wert gesetzt wurden. Die gewählte logarithmische Darstellung trägt ferner zu einer Entzerrung und Linearisierung der Verläufe und somit zu einer verbesserten Visualisierung der Charakteristika bei.

Die Aussagen im vorigen Abschnitt zu einzelnen Strecken lassen sich somit statistisch unterstreichen bzw. differenzieren. So sei z.B. auf die (relativ betrachtet) größten auftretenden Geschwindigkeiten in der Erosionsstrecke (hier: km 120-154 und 155-190) und kleinsten in der Reststrecke (km 508-523) verwiesen, bei annähernd gleichbleibender Variabilität (ausgedrückt durch die Standardabweichung).

7 Fazit der Projektbearbeitung

Aufgrund der Größe des Untersuchungsgebietes von ca. 585 km Fließstrecke und der heterogenen Datenlage lassen sich aussagekräftige hydraulische und - darauf aufbauend - sedimentologische Berechnungen der Wasserspiegellagen im Ist-Zustand sowie des Feststofftransportes nur über eindimensionale (1D) Betrachtungen realisieren.

In enger Zusammenarbeit mit den Bundesanstalten für Wasserbau und Gewässerkunde (BAW, BfG), die seit geraumer Zeit mit detaillierten Untersuchungen der bekannten Problemstrecken (z.B. Erosionsstrecke, Reststrecke) betraut sind, wurden im Vorhaben vorrangig die modelltechnisch bisher nicht näher untersuchten Elbeabschnitte bearbeitet und größere Lücken im hydraulischen Gesamtbild geschlossen. Zur vereinfachten Weiternutzung nach Projektabschluss wurden Software und Datenstandards kompatibel gehalten.

Im vorgegebenen zeitlichen Rahmen der Hauptphase und der Projektverlängerung konnte das vorhandene Datenmaterial weitestgehend genutzt bzw. ergänzt werden. Mit den aufbereiteten Daten wurden hydronumerische und sedimentologische Modelle in größtmöglicher Genauigkeit erstellt. Neben der hydraulischen Aufbereitung der Geometrie und Festlegung der Modellrandbedingungen stand dabei die Eichung mittels in der Natur aufgenommener Wasserspiegelfixierungen im Vordergrund. Dabei ist festzuhalten, daß Fixierungen des Wasserspiegels nicht in allen Abschnitten der Elbe über das gesamte historische Abflussspektrum vorhanden sind (i.d.R. fehlen Hochwasserfixierungen). In wenigen kurzen Teilabschnitten erwies sich eine Modellierung aufgrund fehlender (aktueller) Daten oder besonderer Randprobleme als zu aufwendig.

In Verbindung mit den hydraulischen Modellen wurden Sedimenttransportmodelle aufgebaut und geeicht. Die Eichung der quasistationären Modelle erfolgte u.a. anhand von Naturdaten der Geschiebe- und Schwebstoffmessungen der BfG aus den 90-er Jahren sowie durch Nachbildung der bekannten Sohlveränderungen infolge der hydrologischen Belastung (Abflusszeitreihen) der letzten Jahrzehnte. Zur weiteren Optimierung der Rechengenauigkeit der Modelle ist eine größere Anzahl an Naturmessungen erforderlich.

Im Ergebnis liefern die im Vorhaben erstellten Berechnungsmodelle hydraulische und sedimentologische Kenngrößen wie mittlere Wasserstände, Geschwindigkeiten, Sohlschubspannungen, Feststofffrachten etc.. Diese Kenngrößen können im Hinblick auf wasserbauliche und ökologische Fragestellungen (Szenarien, mögliche Planungsvarianten) weiter aufbereitet werden. Über die Variation von Rauheitsbeiwerten können z. B. die Entwicklung von Auwald simuliert oder über eine veränderte Geometrie

die Auswirkungen von wasserbaulichen Maßnahmen im Fluß oder Vorland erfaßt werden. Mit den Sedimenttransportmodellen lassen sich darüber hinaus die möglichen Auswirkungen auf den Sedimenttransport prognostizieren und Erosions- und Akkumulationsstrecken ausweisen. Durch Anwendung der Modelle können u.a. jene Teilabschnitte der Elbe eingegrenzt werden, in denen sich für Spezialfragen ein Untersuchungsbedarf mit erhöhtem technischen Aufwand erwarten läßt (z.B. komplexere Modelltechniken bei verbesserter Datengrundlage).

Durch systematische Umsetzung hydrologisch vergleichbarer Zustände in hydraulisch-morphologische Parameter in allen Modellstrecken, d.h. durch einheitliche Anwendung der verfügbaren 12 Modelle des Vorhabens und der Bundesanstalten, kann im hier vorgestellten Ergebnis ein (bisher nicht vorhandenes, plausibles) Gesamtbild entlang der deutschen Binnenelbe gezeichnet werden. Diese Beschreibung des Ist-Zustands führt zur Möglichkeit der Klassifizierung einzelner Parameter und ihrer Variabilität im Längsverlauf, bis hin zu einem differenzierten (hydraulisch-morphologischen) Vergleich von Teilstrecken.

Die Nutzung des erarbeiteten Ergebnisdatensatzes für weitergehende Zwecke wird ermöglicht durch räumlich hoch aufgelöste Darstellungen, die durch einfache Recherche- und Druckmöglichkeiten der digitalen Anlage (CD) zu entnehmen sind.

8 Danksagung

Die Autoren danken hiermit den zuständigen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der Behörden der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung für ihre tatkräftige und vielfache Unterstützung des Vorhabens, insbesondere die Bereitstellung von Datenmaterial und die Bearbeitung diverser Zusatzanfragen, ohne die das Projektergebnis in der vorliegenden Form nicht hätte zustande gekommen können.

9 Literatur

ADAM, K.; MEON, G.; RATHKE, K. (1999): Teilprojekt I.3 "1D-Berechnung der Wasserspiegellagen und des Feststoff-trans-ports" - Abschlussbericht der Grundbewilligungsphase (bis September 1999). Verbundprojekt "Morphodynamik der Elbe" (BMBF-FKZ 0339566), Höxter/Karlsruhe, unveröff.

DVWK (1992): Hydraulische Berechnung von Fließgewässern. Hrsg. Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V., DVWK-Merkblätter 220, Verlag Paul Parey, Hamburg-Berlin

IKSE [INTERNATIONALE KOMMISSION ZUM SCHUTZ DER ELBE] (1994): Ökologische Studie zum Schutz und zur Gestaltung der Gewässerstrukturen und der Uferrandregionen der Elbe. Magdeburg

Anlagen

Anlage I	Streckenabschnitt Dessau
Anlage II	Streckenabschnitt Barby
Anlage III	Streckenabschnitt Hohenwarthe