



Forschungskonzeption

Ökologische Forschung in der Stromlandschaft Elbe (Elbe-Ökologie)

des Bundesministeriums für Bildung, Wissenschaft und Forschung (BMBF)

Verbundvorhaben (FKZ 0339566)

„Morphodynamik der Elbe“

Abschlußbericht

Teilprojekt I.3

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

September 1999

Verbundprojekt „Morphodynamik der Elbe“

Teilprojekt I.3

1D-Berechnung der Wasserspiegellagen und des Feststofftransports

Projektlaufzeit: 01. August 1996 – 30. September 1999

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

Inhaltsverzeichnis

1	ZUSAMMENFASSUNG	1
2	VERANLASSUNG	5
3	ZUSAMMENARBEIT	6
3.1	Verbundprojekt	6
3.2	Externe Partner.....	8
4	METHODIK	10
4.1	Wasserspiegellagenberechnung	10
4.2	Feststofftransportberechnung.....	12
4.3	Pre- und Postprocessing	15
4.4	Eigene Modellentwicklung auf der Basis von Darcy-Weisbach.....	16
4.5	Fehlerbetrachtung.....	18
5	DATENGRUNDLAGE	22
5.1	Geometrie	22
5.1.1	Flußpeilungen.....	22
5.1.2	Topographie	23
5.1.3	Buhnen	25
5.1.4	Querprofile	27
5.2	Hydrologie	27
5.2.1	Wasserspiegelfixierungen.....	27
5.2.2	Abflußkurven	29
5.3	Sedimentologie	29
5.3.1	Kornverteilung der Sohle	29
5.3.2	Geschiebe- und Schwebstoffmessungen.....	30
6	BEARBEITUNGSUMFANG	32
7	BERECHNUNGSSTRECKE WITTENBERG	35
7.1	Beschreibung des Untersuchungsgebietes.....	35
7.2	Hydraulisches Modell	35
7.2.1	Datengrundlage	35
7.2.2	Datenaufbereitung	36
7.2.3	Modelleichung.....	39
7.3	Diskussion der Ergebnisse.....	44
8	BERECHNUNGSSTRECKE BIOSPHÄRENRESERVAT „MITTLERE ELBE“	45
8.1	Beschreibung des Untersuchungsgebietes.....	45

8.2	Hydraulisches Modell	46
8.2.1	Datengrundlage	46
8.2.2	Datenaufbereitung	46
8.2.3	Modelleichung.....	49
8.3	Sedimentologisches Modell	55
8.3.1	Datengrundlage	55
8.3.2	Datenaufbereitung	57
8.3.3	Modelleichung.....	60
8.4	Modell mit dem Ansatz nach Darcy-Weisbach	62
8.4.1	Hydronumerisches Modell	62
8.4.2	Sedimentologisches Modell.....	65
8.5	Diskussion der Ergebnisse	67
9	BERECHNUNGSSTRECKE NIEGRIPP	68
9.1	Beschreibung des Untersuchungsgebietes	68
9.2	Hydraulisches Modell	68
9.2.1	Datengrundlage	68
9.2.2	Datenaufbereitung	69
9.2.3	Modelleichung.....	73
9.3	Sedimentologisches Modell	81
9.3.1	Datengrundlage	81
9.3.2	Datenaufbereitung	82
9.3.3	Modelleichung.....	85
9.4	Diskussion der Ergebnisse	89
10	BERECHNUNGSSTRECKE NSG „BUCHER BRACK“	90
10.1	Beschreibung des Untersuchungsgebietes	90
10.2	Hydraulisches Modell	90
10.2.1	Datengrundlage	90
10.2.2	Datenaufbereitung	91
10.2.3	Modelleichung.....	95
10.3	Sedimentologisches Modell	102
10.3.1	Datengrundlage	102
10.3.2	Datenaufbereitung	104
10.3.3	Modelleichung.....	106
10.4	Diskussion der Ergebnisse	110
11	BERECHNUNGSSTRECKE TANGERMÜNDE	111
11.1	Beschreibung des Untersuchungsgebietes	111
11.2	Hydraulisches Modell	111
11.2.1	Datengrundlage	111
11.2.2	Datenaufbereitung	112
11.2.3	Modelleichung.....	115

11.3	Sedimentologisches Modell	122
11.3.1	Datengrundlage	122
11.3.2	Datenaufbereitung	123
11.3.3	Modelleichung.....	126
11.4	Diskussion der Ergebnisse.....	129
12	BERECHNUNGSSTRECKE SANDAU.....	131
12.1	Beschreibung des Untersuchungsgebietes.....	131
12.2	Hydraulisches Modell.....	131
12.2.1	Datengrundlage	131
12.2.2	Datenaufbereitung	132
12.2.3	Modelleichung.....	135
12.3	Sedimentologisches Modell	141
12.3.1	Datengrundlage	141
12.3.2	Datenaufbereitung	143
12.3.3	Modelleichung.....	146
12.4	Diskussion der Ergebnisse.....	150
13	BERECHNUNGSSTRECKE WITTENBERGE.....	151
13.1	Beschreibung des Untersuchungsgebietes.....	151
13.2	Hydraulisches Modell.....	152
13.2.1	Datengrundlage	152
13.2.2	Datenaufbereitung	153
13.2.3	Modelleichung.....	155
13.3	Sedimentologisches Modell	162
13.3.1	Datengrundlage	162
13.3.2	Datenaufbereitung	164
13.3.3	Modelleichung.....	167
13.4	Diskussion der Ergebnisse.....	170
14	TEILAUFBEREITETE STRECKENABSCHNITTE	172
14.1	Elbe-km 291-340	172
14.1.1	Peilung.....	172
14.1.2	Stadtstrecke Magdeburg	172
14.2	Elbe-km 340-344	173
14.3	Elbe-km 502-537	174
14.4	Elbe-km 537-586	176
15	VERWERTUNG DER ERGEBNISSE	177
16	FOLGERUNGEN UND AUSBLICK.....	180
17	LITERATUR.....	182

Tabellenverzeichnis

<i>Tab. 1.1: Bearbeitungsumfang der eindimensionalen Modelle (September 1999)</i>	3
<i>Tab. 5.1: Querprofilpeilungen der Wasser- und Schifffahrtsämter</i>	23
<i>Tab. 5.2: im Verbundprojekt erzeugte Querprofile</i>	25
<i>Tab. 5.3: von BAW übergebene und im Verbund teilweise ergänzte Profile</i>	25
<i>Tab. 5.4: Übersicht der Bühneninformationen</i>	26
<i>Tab. 5.5: im Verbundprojekt vorliegende Querprofile</i>	27
<i>Tab. 5.6: Wasserspiegelfixierungen</i>	28
<i>Tab. 6.1: Bearbeitungsumfang der eindimensionalen Modelle (September 1999)</i>	32
<i>Tab. 6.2: in der Projektlaufzeit nicht bearbeitete Streckenabschnitte</i>	33
<i>Tab. 7.1: Wasserspiegelfixierungen</i>	36
<i>Tab. 7.2: abgeknickte Querprofile</i>	36
<i>Tab. 7.3: Rauheitsbeiwerte mittleres Niedrigwasser</i>	39
<i>Tab. 7.4: Rauheitsbeiwerte Mittelwasser</i>	41
<i>Tab. 7.5: Rauheitsbeiwerte Hochwasser 1 (Flußschlauch)</i>	42
<i>Tab. 7.6: Rauheitsbeiwerte Hochwasser 1 (Vorländer)</i>	43
<i>Tab. 8.1: Wasserspiegelfixierungen</i>	46
<i>Tab. 8.2: Rauheitsbeiwerte mittleres Niedrigwasser</i>	50
<i>Tab. 8.3: Rauheitsbeiwerte Hochwasser 1 (Flußschlauch)</i>	52
<i>Tab. 8.4: Geschiebemessungen Aken</i>	56
<i>Tab. 8.5: Schwebstoffmessungen Aken</i>	56
<i>Tab. 8.6: Einteilung der Bewuchsklassen</i>	63
<i>Tab. 8.7: Einzelrauheiten der Vorländer [DVWK, 1991]</i>	63
<i>Tab. 9.1: Wasserspiegelfixierungen</i>	69
<i>Tab. 9.2: abgeknickte Querprofile</i>	70
<i>Tab. 9.3: Rauheitsbeiwerte mittleres Niedrigwasser</i>	74
<i>Tab. 9.4: Rauheitsbeiwerte Mittelwasser (Flußschlauch)</i>	75
<i>Tab. 9.5: Rauheitsbeiwerte Hochwasser 1 (Flußschlauch)</i>	77
<i>Tab. 9.6: Rauheitsbeiwerte Hochwasser 2 (Flußschlauch)</i>	78
<i>Tab. 9.7: Rauheitsbeiwerte Hochwasser 3 (Flußschlauch)</i>	80
<i>Tab. 9.8: Geschiebemessungen Niegripp</i>	82
<i>Tab. 9.9: Schwebstoffmessungen Niegripp</i>	82
<i>Tab. 9.10: modifizierte Bühnen</i>	85
<i>Tab. 10.1: Wasserspiegelfixierungen</i>	91
<i>Tab. 10.2: abgeknickte Querprofile</i>	92
<i>Tab. 10.3: strömungstechnisch gekürzte Profile</i>	92
<i>Tab. 10.4: Rauheitsbeiwerte mittleres Niedrigwasser</i>	95
<i>Tab. 10.5: Rauheitsbeiwerte Mittelwasser</i>	96
<i>Tab. 10.6: Rauheitsbeiwerte Hochwasser 1 (Flußschlauch)</i>	98
<i>Tab. 10.7: Rauheitsbeiwerte Hochwasser 2 (Flußschlauch)</i>	99
<i>Tab. 10.8: Rauheitsbeiwerte Hochwasser 3 (Flußschlauch)</i>	101
<i>Tab. 10.9: Schwebstoffmessungen Tangermünde</i>	103
<i>Tab. 10.10: Geschiebemessungen Tangermünde</i>	104
<i>Tab. 11.1: Wasserspiegelfixierungen</i>	112
<i>Tab. 11.2: Rauheitsbeiwerte mittleres Niedrigwasser</i>	116
<i>Tab. 11.3: Rauheitsbeiwerte Mittelwasser (Flußschlauch)</i>	118
<i>Tab. 11.4: Rauheitsbeiwerte Hochwasser 1 (Flußschlauch)</i>	119
<i>Tab. 11.5: Rauheitsbeiwerte Hochwasser 2 (Flußschlauch)</i>	121

<i>Tab. 11.6: Geschiebemessungen Tangermünde</i>	123
<i>Tab. 11.7: Schwebstoffmessungen Tangermünde</i>	123
<i>Tab. 12.1: Wasserspiegelfixierungen</i>	132
<i>Tab. 12.2: Rauheitsbeiwerte mittleres Niedrigwasser</i>	135
<i>Tab. 12.3: Rauheitsbeiwerte Mittelwasser (Flußschlauch)</i>	137
<i>Tab. 12.4: Rauheitsbeiwerte Hochwasser 1 (Flußschlauch)</i>	138
<i>Tab. 12.5: Rauheitsbeiwerte Hochwasser 2 (Flußschlauch)</i>	140
<i>Tab. 12.6: Rauheitsbeiwerte Hochwasser 2 (Vorländer)</i>	140
<i>Tab. 12.7: Geschiebemessungen Tangermünde</i>	142
<i>Tab. 12.8: Schwebstoffmessungen Tangermünde</i>	143
<i>Tab. 13.1: Profilabstände</i>	152
<i>Tab. 13.2: Datengrundlage der Buhnen</i>	153
<i>Tab. 13.3: Wasserspiegelfixierungen</i>	153
<i>Tab. 13.4: Rauheitsbeiwerte mittleres Niedrigwasser</i>	156
<i>Tab. 13.5: Rauheitsbeiwerte Mittelwasser (Flußschlauch)</i>	158
<i>Tab. 13.6: Rauheitsbeiwerte Hochwasser 1 (Flußschlauch)</i>	159
<i>Tab. 13.7: Rauheitsbeiwerte Hochwasser 2 (Flußschlauch)</i>	161
<i>Tab. 13.8: Geschiebemessungen Wittenberge</i>	163
<i>Tab. 13.9: Geschiebemessungen Langendorf</i>	163
<i>Tab. 13.10: Schwebstoffmessungen Wittenberge</i>	164
<i>Tab. 13.11: Schwebstoffmessungen Langendorf</i>	164
<i>Tab. 14.1: Profilabstände Elbe-Reststrecke (BAW)</i>	174
<i>Tab. 14.2: Profilabstände Peilung (WSA Lauenburg)</i>	175
<i>Tab. 14.3: verdichtete Profilabstände</i>	176

Abbildungsverzeichnis

<i>Abb. 4.1: Schema der standard-step-Methode</i>	11
<i>Abb. 4.2: Dreigliederung des Querprofils [DVWK, 1991]</i>	11
<i>Abb. 4.3: Querprofil mit geschiefbeführender Breite [Alexy, 1994]</i>	12
<i>Abb. 4.4: Kontrollvolumen [Alexy, 1994]</i>	13
<i>Abb. 4.5: Schema Berechnungsablauf [Alexy, 1994]</i>	14
<i>Abb. 4.6: Mögliche Einteilung eines Abflußquerschnittes in HYSEMO32</i>	16
<i>Abb. 4.7: Anordnung der Trennflächen (Querschnittsgliederung nach Mertens) [DVWK, 1991]</i>	17
<i>Abb. 4.8: Aufteilung der Querschnittsfläche [DVWK, 1988]</i>	17
<i>Abb. 5.1: Querprofil mit eingebauten Buhenschatten</i>	26
<i>Abb. 5.2: Formen von Transportkörpern [DVWK, 1988]</i>	30
<i>Abb. 7.1: Vergleich fixierter und interpolierter Wasserspiegel</i>	38
<i>Abb. 7.2: Abflußkurven Pegel Wittenberg und unterstromiger Modellrand</i>	39
<i>Abb. 7.3: Wasserspiegellagen und –differenzen (mittleres Niedrigwasser)</i>	40
<i>Abb. 7.4: Wasserspiegellagen und –differenzen (Mittelwasser)</i>	41
<i>Abb. 7.5: Wasserspiegellagen und –differenzen (Hochwasser 1)</i>	43
<i>Abb. 8.1: Zonen im Biosphärenreservat</i>	45
<i>Abb. 8.2: Vergleich fixierter und interpolierter Wasserspiegel</i>	48
<i>Abb. 8.3: Abflußkurven Pegel Aken und unterstromiger Modellrand</i>	49
<i>Abb. 8.4: Wasserspiegeldifferenz mittleres Niedrigwasser</i>	50
<i>Abb. 8.5: Wasserspiegeldifferenz Mittelwasser</i>	51
<i>Abb. 8.6: Wasserspiegeldifferenz Hochwasser 1</i>	53
<i>Abb. 8.7: Wasserspiegeldifferenz Hochwasser 2</i>	54

<i>Abb. 8.8: Abflußganglinie Pegel Aken (31 Jahre)</i>	58
<i>Abb. 8.9: Kornverteilung der Sohle</i>	58
<i>Abb. 8.10: Feststoffeintrag am oberstromigen Modellrand</i>	59
<i>Abb. 8.11: Sohlhöhenänderung nach 31 Jahren Simulationszeit</i>	60
<i>Abb. 8.12: Gesamttransport für den Zeitraum 1992-1996</i>	61
<i>Abb. 8.13: Vergleich der Talwege und Wasserspiegellagen</i>	62
<i>Abb. 8.14: fixierte und mit HYSEMO32 gerechnete Wasserspiegellagen</i>	64
<i>Abb. 8.15: äquivalente Sandrauheiten</i>	64
<i>Abb. 8.16: Ermittlung pauschalen Reduzierungsfaktors</i>	65
<i>Abb. 8.17: Berechnung der Sohlhöhenentwicklung für einen Zeitraum von 31 Jahren</i>	66
<i>Abb. 9.1: Vergleich fixierter und interpolierter Wasserspiegel (MNW/MW)</i>	72
<i>Abb. 9.2: Vergleich fixierter und interpolierter Wasserspiegel (HW)</i>	72
<i>Abb. 9.3: Abflußkurven Pegel Tangermünde und unterstromiger Modellrand</i>	73
<i>Abb. 9.4: Wasserspiegeldifferenz mittleres Niedrigwasser</i>	74
<i>Abb. 9.5: Wasserspiegeldifferenz Mittelwasser</i>	76
<i>Abb. 9.6: Wasserspiegeldifferenz Hochwasser 1</i>	77
<i>Abb. 9.7: Wasserspiegeldifferenz Hochwasser 2</i>	79
<i>Abb. 9.8: Wasserspiegeldifferenz Hochwasser 3</i>	80
<i>Abb. 9.9: Abflußganglinie Pegel Tangermünde (31 Jahre)</i>	83
<i>Abb. 9.10: Kornverteilung der Sohle</i>	84
<i>Abb. 9.11: Feststoffeintrag am oberstromigen Modellrand</i>	84
<i>Abb. 9.12: Sohlhöhenänderung nach 31 Jahren Simulationszeit</i>	86
<i>Abb. 9.13: Gesamttransport für den Zeitraum 1992-1996</i>	87
<i>Abb. 9.14: Wasserspiegeldifferenz über einen Zeitraum von ca. 29 Jahren</i>	88
<i>Abb. 9.15: Vergleich der Talwege und Wasserspiegellagen</i>	89
<i>Abb. 10.1: Vergleich fixierter und interpolierter Wasserspiegel</i>	94
<i>Abb. 10.2: Abflußkurven Pegel Tangermünde und unterstromiger Modellrand</i>	94
<i>Abb. 10.3: Wasserspiegeldifferenz mittleres Niedrigwasser</i>	96
<i>Abb. 10.4: Wasserspiegeldifferenz Mittelwasser</i>	97
<i>Abb. 10.5: Wasserspiegeldifferenz Hochwasser 1</i>	98
<i>Abb. 10.6: Wasserspiegeldifferenz Hochwasser 2</i>	100
<i>Abb. 10.7: Wasserspiegeldifferenz Hochwasser 3</i>	102
<i>Abb. 10.8: Abflußganglinie Pegel Tangermünde (31 Jahre)</i>	105
<i>Abb. 10.9: Kornverteilung der Sohle</i>	105
<i>Abb. 10.10: Feststoffeintrag am oberstromigen Modellrand</i>	106
<i>Abb. 10.11: Sohlhöhenänderung nach 31 Jahren Simulationszeit</i>	107
<i>Abb. 10.12: Gesamttransport für den Zeitraum 1992-1996</i>	108
<i>Abb. 10.13: Wasserspiegeldifferenz über einen Zeitraum von ca. 26 Jahren</i>	109
<i>Abb. 10.14: Vergleich der Talwege und Wasserspiegellagen</i>	109
<i>Abb. 11.1: Vergleich fixierter und interpolierter Wasserspiegel</i>	114
<i>Abb. 11.2: Abflußkurven Pegel Tangermünde und unterstromiger Modellrand</i>	115
<i>Abb. 11.3: Wasserspiegeldifferenz mittleres Niedrigwasser</i>	117
<i>Abb. 11.4: Wasserspiegeldifferenz Mittelwasser</i>	118
<i>Abb. 11.5: Wasserspiegeldifferenz Hochwasser 1</i>	120
<i>Abb. 11.6: Wasserspiegeldifferenz Hochwasser 2</i>	121
<i>Abb. 11.7: Abflußganglinie Pegel Tangermünde (31 Jahre)</i>	124
<i>Abb. 11.8: Kornverteilung der Sohle</i>	125
<i>Abb. 11.9: Feststoffeintrag am oberstromigen Modellrand</i>	125
<i>Abb. 11.10: Sohlhöhenänderung nach 31 Jahren Simulationszeit</i>	126
<i>Abb. 11.11: Gesamttransport für den Zeitraum 1992-1996</i>	128

<i>Abb. 11.12: Vergleich der Talwege und Wasserspiegellagen</i>	129
<i>Abb. 12.1: Vergleich fixierter und interpolierter Wasserspiegel</i>	134
<i>Abb. 12.2: Abflußkurven Pegel Tangermünde, Pegel Wittenberge und unterstromigen Modellrand</i>	134
<i>Abb. 12.3: Wasserspiegellagen und –differenzen (mittleres Niedrigwasser)</i>	136
<i>Abb. 12.4: Wasserspiegellagen und –differenzen (Mittelwasser)</i>	137
<i>Abb. 12.5: Wasserspiegellagen und –differenzen (Hochwasser 1)</i>	139
<i>Abb. 12.6: Wasserspiegellagen und –differenzen (Hochwasser 2)</i>	141
<i>Abb. 12.7: Abflußganglinie Pegel Tangermünde (35 Jahre)</i>	144
<i>Abb. 12.8: Kornverteilung der Sohle</i>	145
<i>Abb. 12.9: Feststoffeintrag am oberstromigen Modellrand</i>	145
<i>Abb. 12.10: Vergleich der auf 249 m³/s normierten Wasserspiegel</i>	146
<i>Abb. 12.11: Sohlhöhenänderung nach 35 Jahren Simulationszeit</i>	147
<i>Abb. 12.12: Gesamttransport für den Zeitraum 1992-1995</i>	148
<i>Abb. 12.13: Wasserspiegeldifferenz über einen Zeitraum von ca. 32 Jahren</i>	149
<i>Abb. 12.14: Vergleich der Talwege und Wasserspiegellagen</i>	149
<i>Abb. 13.1: Vergleich fixierter und interpolierter Wasserspiegel</i>	154
<i>Abb. 13.2: Abflußkurven Pegel Wittenberge und unterstromiger Modellrand</i>	155
<i>Abb. 13.3: Wasserspiegeldifferenz mittleres Niedrigwasser</i>	157
<i>Abb. 13.4: Wasserspiegeldifferenz Mittelwasser</i>	158
<i>Abb. 13.5: Wasserspiegeldifferenz Hochwasser 1</i>	160
<i>Abb. 13.6: Wasserspiegeldifferenz Hochwasser 2</i>	161
<i>Abb. 13.7: Abflußganglinie Pegel Wittenberge (30 Jahre)</i>	165
<i>Abb. 13.8: Kornverteilung der Sohle</i>	166
<i>Abb. 13.9: Feststoffeintrag am oberstromigen Modellrand</i>	167
<i>Abb. 13.10: Sohlhöhenänderung nach 30 Jahren Simulationszeit</i>	168
<i>Abb. 13.11: Gesamttransport für den Zeitraum 1961-1991</i>	169
<i>Abb. 13.12: Vergleich der Talwege und Wasserspiegellagen</i>	170
<i>Abb. 15.1: Abhängigkeit Geometrie-Wasserstand-Abfluß-Dauer-Häufigkeit</i>	178

Verzeichnis der Anlagen

Anlage I: Methodik	
Anlage II: Berechnungsstrecke Wittenberg	
Anlage II-1: Lagepläne	1
Anlage II-2: Hydraulisches Modell	4
Anlage III: Berechnungsstrecke Biosphärenreservat „Mittlere Elbe“	
Anlage III-1: Lagepläne	1
Anlage III-2: Hydraulisches Modell	3
Anlage III-3: Sedimentologisches Modell	11
Anlage IV: Berechnungsstrecke Niegripp	
Anlage IV-1: Lagepläne	1
Anlage IV-2: Hydraulisches Modell	3
Anlage IV-3: Sedimentologisches Modell	13
Anlage V: Berechnungsstrecke NSG „Bucher Brack“	
Anlage V-1: Lagepläne	1
Anlage V-2: Hydraulisches Modell	3
Anlage V-3: Sedimentologisches Modell	13
Anlage VI: Berechnungsstrecke Tangermünde	
Anlage VI-1: Lagepläne	1
Anlage VI-2: Hydraulisches Modell	3
Anlage VI-3: Sedimentologisches Modell	11
Anlage VII: Berechnungsstrecke Sandau	
Anlage VII-1: Lagepläne	1
Anlage VII-2: Hydraulisches Modell	3
Anlage VII-3: Sedimentologisches Modell	7
Anlage VIII: Berechnungsstrecke Wittenberge	
Anlage VIII-1: Lagepläne	1
Anlage VIII-2: Hydraulisches Modell	3
Anlage VIII-3: Sedimentologisches Modell	11
Anlage IX: Teilaufbereitete Streckenabschnitte	

1 Zusammenfassung

Bereits seit Mitte des vergangenen Jahrhunderts wurde die Flußlandschaft der Elbe in ihrer Eigendynamik und ihrem ursprünglichen Charakter durch Flußbaumaßnahmen, Deichbau sowie Schifffahrt und Besiedelung stark beeinflusst. Dies führte zu veränderten Abflußverhältnissen sowohl im Fluß als auch in der Häufigkeit und Dauer der Überflutung der Vorländer. Das veränderte Abflußregime wirkte sich direkt auf die morphologischen Randbedingungen der Elbe aus.

Das Ziel der Untersuchungen des Teilprojektes „1D-Modellierung der Wasserspiegellagen und des Feststofftransports“ war es, hydraulische und sedimentologische Parameter zu bestimmen, die eine Charakterisierung der Stabilitätsverhältnisse der Elbe im heutigen Zustand ermöglichen. Die Bewertung und Analyse des Ist-Zustandes sollte über die gesamte deutsche Elbe von der tschechisch-deutschen Grenze bis zur Staustufe Geesthacht erfolgen. Die Länge der Fließstrecke (rund 600 km) ließ dabei nur eine eindimensionale Betrachtungsweise zu [Verbundprojektantrag, 1996].

Die vom Verbundprojekt verwendeten Berechnungsprogramme, die zum Aufbau von hydro-numerischen Modellen in Teilabschnitten der Elbe dienen, beruhen sowohl für die Hydraulik als auch für den Feststofftransport auf in der Praxis bewährten Berechnungsverfahren. Die Bundesanstalt für Wasserbau setzt die von der U.S. Army Corps of Engineers entwickelten Programme HEC-2 (Hydraulik) und HEC-6 (Feststofftransport) bereits seit Jahren erfolgreich für wasserbauliche Fragestellungen ein. Durch die Verwendung gleicher Standards und Programme ist ein Datenaustausch zwischen den Institutionen und Behörden sowie eine spätere Nutzung der Daten jederzeit möglich.

Neben den Berechnungen mit den oben genannten Programmen war auch eine Anpassung bzw. Neuentwicklung der Berechnungsprogramme für spezifische Belange vorgesehen. Das an der Universität-GH Paderborn, Abteilung Höxter von [Rathke, 1998] entwickelte Programm HYSEMO32 basiert auf dem Fließgesetz von Darcy-Weisbach und verwendet zur Abschätzung des interaktionsbedingten Widerstandsbeiwertes bzw. der Trennflächenrauheit das Verfahren nach Mertens [DVWK, 1991]. Das Programm bietet durch seine Aufteilung der Rauheiten eine differenziertere Betrachtung gegenüber dem Ansatz von Gaukler-Manning-Strickler.

Im Berechnungsabschnitt Biosphärenreservat „Mittlere Elbe“ wurden erste, sehr zufriedenstellend verlaufende Testrechnungen mit dem Programm HYSEMO32 durchgeführt. Im Vergleich mit dem Ansatz nach Gaukler-Manning-Strickler zeigten sich aber auch weitgehend übereinstimmende Ergebnisse. Als Ursache hierfür ist in erster Linie die Verteilung des Abflusses auf Flußschlauch und Vorland zu sehen. Selbst bei höchsten Wasserständen wird der deutlich höhere Abflußanteil im Flußschlauch abgeführt; die Durchströmung von Bewuchsbe-

reichen bzw. die Interaktion mit bewuchsfreien Querschnittsanteilen tritt in den Hintergrund. In der Anwendung auf die großräumige Flußlandschaft der Elbe brachte somit der physikalisch anspruchsvollere Modellansatz, der zudem einen erheblichen Mehraufwand in der Datenerhebung benötigte, keinen Zugewinn an Aussagekraft im Vergleich zum Einfachmodell.

Unabhängig vom Berechnungsansatz der verwendeten Programme kann die Genauigkeit der Modelle aber nur so hoch sein, wie die eingegebenen Daten (Geometrie, Hydrologie und Sedimentologie) und die 1D-Modelltechnik es erlauben.

Die geometrischen Daten setzen sich zusammen aus den Datenbeständen im Flußquerschnitt und der Topographie der Auen bis zu den Deichen bzw. zum Geländeanstieg, der eine weitere Überflutung verhindert. Die Zuständigkeit in der Vorhaltung der Daten liegt getrennt bei verschiedenen Institutionen (z.B. Wasser- und Schifffahrtsämter, Landesvermessungsämter). Für den Aufbau der Querprofile für die hydronumerischen Modelle war daher eine Zusammenführung der Informationen der verschiedenen Ämter als eine wesentliche Aufgabe anzusehen.

Im Verbundprojekt wurden die aktuell vorliegenden Sohlpeilungen ausgewertet. Eine Neuaufnahme von Gewässerabschnitten und die Auswertung historischer Daten war nicht vorgesehen. Die Aufbereitung der topographischen Informationen der Elbe-Auen erfolgte in enger Zusammenarbeit mit dem Teilprojekt I.1 „Geländemodell und GIS“. Die Grundlage der erstellten Digitalen Geländemodelle bzw. Querprofile für die hydronumerische Modellierung bildeten in den Vorländern Topographische Karten im Maßstab 1:10.000.

Wasserspiegelfixierungen, die eine Momentaufnahme eines Abflußgeschehens darstellen, dienen zur Eichung der hydronumerischen Modelle. Durch die Festlegung der Rauheitsbeiwerte - in ihnen sind alle auftretenden Energieverluste zusammengefaßt - wurden die berechneten an die in der Natur aufgenommenen Wasserspiegellagen angepaßt. Durch die Definition eines Ausgangszustandes (Eichung) wurden kontrollierbare Randbedingungen für die Untersuchung verschiedener Ausbauvarianten geschaffen, die die Reproduzierbarkeit des Modells widerspiegeln.

Abflußabhängige Geschiebe- und Schwebstofffrachten und die Kornverteilung der Sohle gingen als Eingangsgrößen in die sedimentologischen Feststofftransportmodelle ein. Diese Daten werden durch die Bundesanstalt für Gewässerkunde erhoben und wurden dem Verbundprojekt zur Verfügung gestellt. Die Auswertung der seit 1990 durchgeführten Messungen zeigte bei vergleichbaren Abflüssen eine erhebliche Streuung der Frachten und in der Zusammensetzung des transportierten Materials. Die Untersuchungsschwerpunkte lagen in den bekannten Problemstrecken der Elbe und wiesen Meßlücken bei Hochwasserabflüssen auf. Die vorhandenen Geschiebe- und Schwebstoffdaten konnten zur grundlegenden Abschätzung von sedimentologischen Parametern herangezogen werden; für die Erstellung von Feststofftransportmodellen mit hoher Genauigkeit muß die Datenbasis erweitert werden.

Für die Gesamtbetrachtung des Abfluß- und Feststoffregimes wurden neben den im Verbundprojekt bearbeiteten Elbe-Abschnitten die Streckenabschnitte, die bereits über Jahre hinweg mit verschiedenster Modelltechnik bei der Bundesanstalt für Wasserbau untersucht werden, einbezogen.

Elbe-km	Bezeichnung des Streckenabschnitts	Bearbeitung
121,0 – 235,6	Erosionsstrecke	BAW
203,0 – 220,0	Wittenberg	Verbundprojekt
271,2 – 288,3	Biosphärenreservat	Verbundprojekt
320,36 – 338,0	Stadtstrecke Magdeburg	BAW
344,1 – 374,0	Niegripp	Verbundprojekt
374,0 – 390,0	NSG „Bucher Brack“	Verbundprojekt
388,0 – 408,0	Tangermünde	Verbundprojekt
407,0 – 425,6	Sandau	Verbundprojekt
438,0 – 495,0	Wittenberge	BAW/Verbundprojekt
490,0 – 530,0	Reststrecke	BAW

Tab. 1.1: Bearbeitungsumfang der eindimensionalen Modelle (September 1999)

Die in Tabelle 1.1 nicht benannten Elbe-Abschnitte sind bisher noch nicht untersucht worden. Einerseits war hier die Datengrundlage für den Aufbau von hydronumerischen Modellen nicht immer ausreichend, andererseits erwies sich durch die meist fehlenden topographischen Informationen des Vorlandes die Erhebung und Aufbereitung der wesentlichen Grundlagendaten des Flußschlauches der Elbe und deren Vorländer als zeit- und arbeitsintensiver als bei der Antragstellung angenommen. Im Rahmen einer Teilprojektverlängerung ist vorgesehen, weitere Streckenabschnitte zu bearbeiten.

Die Ergebnisse dieses Teilprojekts lassen sich grundsätzlich in zwei Bereiche unterteilen. Zunächst ist hier die umfangreiche Aufbereitung von Rohdaten zu nennen. Diese Datensätze sind bereits bzw. werden noch in die projektinterne ORACLE-Datenbank (TPI.4) implementiert und stehen über das Projektende hinaus weiteren Vorhaben der Elbe-Ökologie und zugangsberechtigten Institutionen für zukünftige Untersuchungen an der Elbe zur Verfügung. Schon während der Projektlaufzeit erfolgte durch die intensive Zusammenarbeit mit der Bundesanstalt für Wasserbau eine Rückführung der gewonnenen Datensätze an die Institutionen und Behörden, die einen wesentlichen Beitrag an Grundlagendaten für das Verbundprojekt geliefert haben.

Der zweite Bereich ist die weitere Aufbereitung der Rohdaten zur Erstellung der hydronumerischen Modelle, deren Eichung und Anwendung für synthetische Abflüsse. Die Berechnungsergebnisse aus den Modellen liefern ihrerseits wieder die Grundlage der abiotischen Faktoren für weitergehende Betrachtungen, wie orts- und zeit- bzw. abflußabhängige Wasserstände und Sohlbelastungen.

In einer interdisziplinären Auswertung können dann die aus den Modellrechnungen erhaltenen bzw. aufbereiteten abiotischen Parameter (Wasserstände, Dauerlinien für beliebige Stellen der Flußauße) mit ökologischen Fragestellungen verknüpft werden. Beispielhaft ist eine solche Zusammenarbeit als Beitrag zum 8. Magdeburger Gewässerschutzseminar (Oktober 1998) mit dem Thema „Zeitabhängige Klassifizierung von Überflutungsflächen in einem GIS am Beispiel der Mittleren Elbe bei Dessau“ vom Verbundprojekt erarbeitet worden [Bücheler u. Nestmann, 1998]. Aus ökologischer Sicht ist künftig zu bewerten, inwieweit elbespezifische Lebensräume von der Abflußdynamik in Wechselwirkung mit morphologischen Entwicklungen, insbesondere in Bereichen allmählicher Auflandung oder Eintiefung der Stromsohle und dadurch veränderter Oberflächen- und Grundwasserstandsverhältnisse, nachhaltig beeinflußt werden.

2 Veranlassung

Bereits seit Mitte des vergangenen Jahrhunderts wurde die Flußlandschaft Elbe in ihrer Eigendynamik und ihrem ursprünglichen Charakter durch Flußbaumaßnahmen, Deichbau sowie Schifffahrt und Besiedelung stark verändert. Dies führte zu veränderten Abflußverhältnissen sowohl im Fluß als auch in der Häufigkeit und Dauer der Überflutung der Vorländer. Das veränderte Abflußregime wirkt sich direkt auf die morphologischen Randbedingungen der Elbe aus. Als Folge der Eingriffe in das Abfluß- und Feststoffregime können an der Elbe folgende Auswirkungen festgestellt werden:

- Sohlendestabilisierung mit in Abschnitten gravierender Tiefenerosion
- Absenkung der Wasserspiegel mit der Folge eines vergrößerten Flurabstandes durch Grundwasserabsenkung
- Trockenfallen der Aue bewirkt einen Rückzug bzw. das Absterben der typischen Tier- und Pflanzengemeinschaften in der Aue
- Veränderung des Abflußverhaltens bei Hochwasserereignissen (verringerte Retention durch vergrößerte Fließgeschwindigkeiten)
- Veränderung der Transportbedingungen für die Binnenschifffahrt
- Abnahme der Standsicherheit von Brücken, Ufermauern, etc.
- Behinderung des Betriebes wasserwirtschaftlicher Anlagen (z.B. Entnahmeverrichtungen)

Die oben aufgeführten Auswirkungen zeigen deutlich, daß die Elbe unter Einbeziehung ihrer Nebenflüsse starken morphologischen Veränderungen auch in relativ kurzen Zeiträumen unterliegt. Inwieweit sich das Flußsystem Elbe aus ökologischer Sicht von einem naturnahen Zustand entfernt hat, läßt sich derzeit noch nicht abschließend beurteilen.

Das Ziel der Untersuchungen dieses Teilprojektes ist es daher, hydraulische und sedimentologische Parameter zu bestimmen, die eine Charakterisierung der Stabilitätsverhältnisse der Elbe im heutigen Ist-Zustand ermöglichen. Die Bewertung und Analyse des Ist-Zustandes kann nur über die Betrachtung der gesamten deutschen Elbe von der tschechisch-deutschen Grenze bis zur Staustufe Geesthacht gelingen. Die Länge der Fließstrecke der deutschen Elbe (rd. 600 km) läßt dabei nur eine eindimensionale Betrachtungsweise zu. Die Berechnungsprogramme, die zum Aufbau von hydronumerischen Modellen von Teilabschnitten der Elbe dienen, beruhen dabei sowohl für die Hydraulik als auch für den Feststofftransport auf in der Praxis bewährten Berechnungsverfahren. Darüber hinaus ist eine Anpassung bzw. Neuentwicklung der Berechnungsprogramme für spezifische Belange vorgesehen.

[Verbundprojektantrag, 1996]

3 Zusammenarbeit

3.1 Verbundprojekt

Das Teilprojekt „1D-Modellierung der Wasserspiegellagen und des Feststofftransports“ stand während der Projektlaufzeit in intensivem fachlichen Austausch zu den anderen Teilprojekten des Verbundes. Im folgenden werden die wichtigsten Kontakte mit den weiteren Projektpartnern näher erläutert.

Teilprojekt TPI.1 „Geländemodell und GIS“

Laut Verbundprojektantrag war die gemeinsame Bearbeitung der Teilprojekte TPI.3 und TPI.1 durch die beiden Institutionen IWK (Universität Karlsruhe) und FBTU (Universität-GH Paderborn, Abteilung Höxter) durch die enge Verknüpfung der Aufgaben vorgesehen. Bereits im ersten Jahr der Projektlaufzeit fand nach gemeinsamer Absprache der Teilprojekte eine sinnvolle Zuordnung von Aufgabenbereichen zu den einzelnen Projektpartnern statt.

In einem ersten Arbeitsschritt waren die grundlegenden Querprofile bzw. Geometrien zu erarbeiten. Dies wurde in Abstimmung gemeinschaftlich von beiden Institutionen für die verschiedenen Streckenabschnitte entlang der Elbe u.a. durch Digitalisierung von Kartenmaterial durchgeführt (siehe hierzu auch Kapitel Datengrundlage und Bericht TPI.1). Im Anschluß daran fand eine Teilung der Bearbeitung in die nachfolgenden Aufgabenbereiche statt.

Dem Verbundprojekt war laut Antrag von 1996 die Anschaffung einer Lizenz für das IWK für das Geoinformationssystem (GIS) ARCInfo der Firma ESRI genehmigt worden. Aus diesem Grund konnte die Erstellung der Digitalen Geländemodelle auch nur in Karlsruhe durchgeführt werden. Die weiteren Nutzungen, die sich aus den Anwendungsmöglichkeiten des GIS ergeben (siehe Bericht TPI.1) waren ebenso nur dort durchführbar. Im Gegenzug dazu wurden die Detailaufbereitung der Daten und die umfangreichen hydraulischen und sedimentologischen Berechnungen vollständig von dem Projektpartner FBTU übernommen. Während der gesamten Projektlaufzeit fand ein ständiger fachlicher Austausch zwischen den beiden Teilprojekten statt.

Teilprojekte „Koordination“ und „Schnittstelle“

Das interdisziplinäre Zusammenwirken der verschiedenen Arbeitsgebiete wurde unter Einberufung von regelmäßigen Arbeitstreffen, Unterstützung bei der Datenbeschaffung (inner- und außerhalb des Projektes) und die Abwicklung administrativer Arbeiten (z.B. Berichterstattung, Finanzen) durch die Koordination intensiviert. Darüber hinaus war die Koordinationsstelle zusammen mit dem Teilprojekt „Schnittstelle“ in der Pflege von Kontakten zur Projektgruppe Elbe-Ökologie und für Aufgaben im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit erfolgreich und

unterstützend tätig. Aus Sicht des FBTU rechtfertigte die Größe des Verbundprojektes und die Anzahl der beteiligten Projektpartner daher das Teilprojekt „Koordination“ vollauf.

Das Teilprojekt „Schnittstelle“ als Bindeglied zwischen Abiotik und Biotik war oftmals als „Brücke“ und Vermittler zwischen den unterschiedlichen Interessensvertretungen hilfreich im Einsatz. Durch die Erstellung der Parameterlisten (siehe Abschlußbericht TPS) konnte auch außerhalb des Verbundes dargestellt werden, welche zeitliche und räumliche Auflösung die berechneten Strömungs- und Feststoffparameter liefern können. Durch die Bereitstellung der Listen wurde es den weiteren Projekten im Rahmen der Elbe-Ökologie erleichtert, gezielte Anfragen über einzelne Elbe-Abschnitte an das Teilprojekt zu richten (siehe Kapitel Verwertung der Ergebnisse).

Teilprojekt TPI.4 „Hydrologische Analyse und Datenmanagement“

Neben den grundlegenden geometrischen Informationen sind die hydrologischen Kenngrößen von zentraler Bedeutung für die hydraulischen und sedimentologischen Berechnungen. Aus diesem Grund wurde ein enger Kontakt zu dem Teilprojekt I.4 „Hydrologische Analyse“ gepflegt. Neben der Korrektur der Abflußkurven für die Hauptpegel der Elbe sind die Erstellung hydrologischer Längsschnitte unter Vorgabe von auenökologisch relevanten Abflüssen verschiedener Jährlichkeiten für die Beurteilung des Abfluß- und Feststoffregimes von Bedeutung.

Durch das große Engagement aller Bearbeiter des Verbundprojektes konnte auch über die räumliche Entfernung der verschiedenen Teilprojekte eine effektive Zusammenarbeit aufgebaut werden. Insbesondere die schnelle und direkte Übertragung von Daten über das Internet und die Nutzung sogenannter mailing-Listen zum Informationsaustausch erleichterten die Zusammenarbeit. Die Anbindung zwischen der ORACLE-Datenbank und den auf den PCs installierten MS-Office-Programmen (z.B. ACCESS, EXCEL) stellte ein wesentliches Kommunikationsmittel dar. Die Eingabe von Daten und die flexible Abfrage von Informationen aus der Datenbank war durch die Verwendung der MS-Office-Programme sehr einfach und wurde zudem in einem GIS- und ORACLE-Workshop (26.-27.2.1998 IWK, Karlsruhe) nähergebracht. Die Datenbank stellt das zentrale Organ zur Verwaltung großer Datenmengen auch über das Ende der Projektlaufzeit dar. Ihre Pflege und Weiterführung sowie Nutzung auch über das Verbundprojekt hinaus ist daher empfehlenswert.

Bundesanstalt für Gewässerkunde

Die Bundesanstalt für Gewässerkunde ist im Verbundprojekt mit zwei Teilprojekten im Arbeitsgebiet Morphologie vertreten. Die Übergabe von Meßdaten für den Aufbau der sedimentologischen Modelle verlief nach Klärung rechtlicher Belange reibungslos und effizient.

Alle weiteren Teilprojekte

Über den oben angeführten engen Austausch hinaus gab es Verknüpfungen zu den noch nicht genannten Teilprojekten. Der Austausch fand hier zum einen auf den zahlreichen Projektbesprechungen statt und zum anderen über die gezielte Anfrage einzelner Bearbeiter hinsichtlich spezieller Grundlagendaten oder Berechnungsergebnisse.

3.2 Externe Partner

Der wichtigste externe Partner des Verbundprojektes ist die Bundesanstalt für Wasserbau (BAW), Karlsruhe und ihre Außenstelle in Berlin. Darüber hinaus sind als weitere Lieferanten grundlegender Datenbestände die zuständigen Wasser- und Schifffahrtsämter (WSA), die Wasser- und Schifffahrtsdirektion Ost (WSD Ost) und verschiedene Landesbehörden (z.B. Landesvermessungsämter) zu nennen. Im folgenden soll die intensive, erfolgreiche Zusammenarbeit mit der Bundesanstalt für Wasserbau näher beschrieben werden. Den weiteren Institutionen gilt an dieser Stelle ebenfalls der Dank für die gute Zusammenarbeit.

Die Kooperation mit der Bundesanstalt für Wasserbau kann von Seiten des Verbundprojektes als ausgesprochen konstruktiv und kollegial beschrieben werden. Bereits bei der Antragstellung war eine Abstimmung des Vorhabens mit der Bundesanstalt für Wasserbau unabdingbar, um die Erfüllung der Forschungsziele zu erreichen. Vor Beginn der Projektlaufzeit fanden zudem zwei Arbeitstreffen (siehe hierzu auch [Zwischenbericht, 1996]) statt, in denen die Rahmenbedingungen der Zusammenarbeit zwischen den Institutionen (Universität Karlsruhe, BAW) sowie die Abstimmung möglicher Schnittstellen zwischen einzelnen Projekten diskutiert wurde. Die Überlassung von Datenmaterial (Geometrie und hydrologische Daten) wurde ebenfalls im Vorfeld der Untersuchung abgeklärt und eine Rückführung von im Verbundprojekt bearbeiteter Daten sichergestellt.

Der Datenaustausch zwischen den Institutionen wurde dahingehend vereinfacht, daß die gleichen Standards für die hydronumerischen Berechnungen eingesetzt wurden. Bei der Bundesanstalt für Wasserbau haben sich die Programme HEC-2 (hydraulische Berechnungen) und HEC-6 (sedimentologische Berechnungen) bereits für unterschiedlichste wasserbauliche Fragestellungen in der Ingenieurpraxis bewährt. Bei den Programmen HEC-2/HEC-6 handelt es sich nur um Rechenkerne ohne Pre- und Postprocessing. Aus diesem Grund hat die Bundesanstalt für Wasserbau in Eigenleistung Ergänzungsmodule (PROFIL, HASE) erarbeitet, die in einem Kooperationsvertrag dem Verbundprojekt zur Verfügung gestellt worden sind. Eine Beschreibung der Berechnungsprogramme und Ergänzungsmodule zur Datenaufbereitung, -konvertierung und -auswertung wird im Kapitel Methodik behandelt.

In der Projektphase fanden weitere Abstimmungsgespräche hinsichtlich der Bearbeitung einzelner Streckenabschnitte an der Elbe statt. Ziel war es, die Streckenabschnitte, die seit mehreren Jahren bei der Bundesanstalt für Wasserbau mit unterschiedlicher Modelltechnik

untersucht werden, im Verbundprojekt nicht vorrangig zu behandeln. So konnte die doppelte Aufbereitung von Daten vermieden werden. Die Arbeitsschwerpunkte im Verbundprojekt wurden auf von der Bundesanstalt für Wasserbau unbearbeitete Elbe-Abschnitte konzentriert, um am Ende der Projektlaufzeit einen Gesamtüberblick unter Einbeziehung der von der Bundesanstalt für Wasserbau erarbeiteten Abschnitte zu erlangen (siehe auch Kapitel Bearbeitungsumfang). Eine Übergabe der Grundlagendaten, die durch die WSÄ/BfG erhoben werden (Querprofile, Wasserspiegelfixierungen, etc.), war auch für die von der Bundesanstalt für Wasserbau bearbeiteten Abschnitte vorgesehen, um den Datenbestand in der projektinternen Datenbank (TPI.4) zu vervollständigen. Eine Nutzung der Datenbankbestände auch über das Projektende hinaus kann sehr einfach weiteren Anwendern bei Klärung der rechtlichen Lage ermöglicht werden. Dies würde die Rückführung von Daten an die Bundesanstalt für Wasserbau und weitere Institutionen wesentlich vereinfachen (siehe hierzu auch Kapitel Verwertung der Ergebnisse und Abschlußbericht des TPI.4).

Die Zusammenarbeit mit der Bundesanstalt für Wasserbau ist auch in der spezifischen Anpassung der hydraulischen und sedimentologischen Software in der zweiten Hälfte des Jahres 1999 angestrebt. Die an der Universität-GH Paderborn, Abteilung Höxter von [Rathke, 1998] entwickelte Software HYSEMO32 (siehe Kapitel Methodik) soll dann als Rechenkern in das Ergänzungsmodul HASE eingearbeitet werden und für zukünftige wasserbauliche und ökologische Fragestellungen bei der Bundesanstalt für Wasserbau zum Einsatz kommen.

4 Methodik

Die Auswahl der verwendeten numerischen Modelle beruht auf in der Praxis bewährten Berechnungsverfahren. Es erfolgte im Vorfeld des Verbundprojektes eine enge Abstimmung mit der Bundesanstalt für Wasserbau, um den Datenaustausch zu erleichtern und eine weitere Nutzung der Ergebnisse auch über das Projektende hinaus sicherzustellen.

4.1 Wasserspiegellagenberechnung

Die Berechnung der Wasserspiegellagen erfolgte mit dem Programm HEC-2, einem eindimensionalen, hydronumerischen Modell zur Berechnung von Wasserspiegellagen in Fließgewässern nach dem Ansatz von Gaukler-Manning-Strickler. Das Programm wurde bereits in den 60-er Jahren im Hydrologic Engineering Center der U.S. Army Corps of Engineers entwickelt und wird laufend aktualisiert.

Eindimensionalen Modellen sind eine Reihe von Vereinfachungen zugrunde gelegt, die im folgenden kurz erläutert werden sollen. Änderungen des Abflusses zwischen zwei Querprofilen werden nur in Längsrichtung betrachtet, Querströmungen und auch vertikale Strömungen bleiben unberücksichtigt. Es besteht jedoch die Möglichkeit, die Querströmungen indirekt durch Verlustbeiwerte (Expansions- und Kontraktionsbeiwert) mit einzubeziehen. Der Abfluß wird als stationär und gleichförmig bzw. schwach ungleichförmig betrachtet, d.h. er ändert sich nicht über die Zeit und die mittlere Geschwindigkeit von einem zum nächsten Querprofil wird als konstant angesehen. Das untersuchte Gerinne sollte wesentlich länger als breit und tief und in seiner Form grundsätzlich als kompakt zu beschreiben sein. Es herrschen turbulente Strömungsverhältnisse, so daß die inneren Verluste infolge Zähigkeit (Dissipation) gegenüber den äußeren Verlusten durch die Wandrauheit als vernachlässigbar angesehen werden können. HEC-2 kann darüber hinaus keine Fließwechsel innerhalb der Untersuchungsstrecke berechnen. [HEC, 1982]

Als Input für die Berechnung sind folgende Daten einzugeben:

- Querprofile mit geodätischen Höhen [mNN]
- Abstände der Profile (Fließlänge), getrennt nach Flußschlauch und Vorland [m]
- Startwasserspiegel am unterstromigen Modellrand [mNN]
- Abfluß im ersten Querprofil [m^3/s]

Die Berechnung der Wasserspiegellagen wird ausgehend von einem Startprofil nach der standard-step-Methode für die nachfolgenden Querprofile ermittelt. Die Verknüpfung der Kontinuitäts- und der Energiegleichung erfordert eine iterative Lösung für das oberstromige Querprofil (bei strömendem Abfluß).

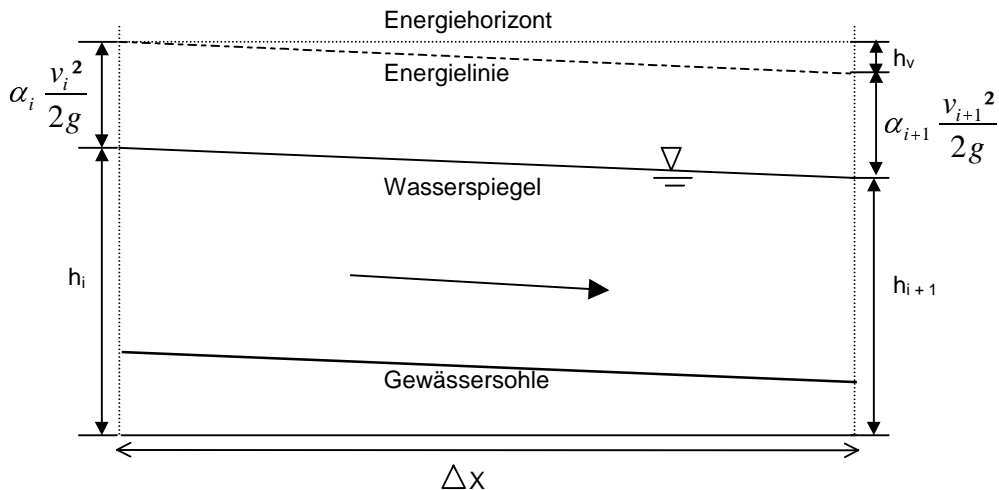


Abb. 4.1: Schema der standard-step-Methode

Um die Geschwindigkeitsverteilung in unregelmäßigen Querschnitten berücksichtigen zu können, wird die Unterteilung in drei Teilbereiche (Vorland links – Flußschlauch – Vorland rechts) vorgenommen. Durch die Festlegung des n -Wertes (Kehrwert des Rauheitsbeiwertes nach Strickler) für die drei Teilbereiche des Fließquerschnitts erfolgt die Eichung des Modells durch Angleichung der berechneten mit in der Natur aufgenommenen Wasserspiegellagen. Dabei sind im Rauheitsbeiwert alle auftretenden Energieverluste (örtlich und global) zusammengefaßt.

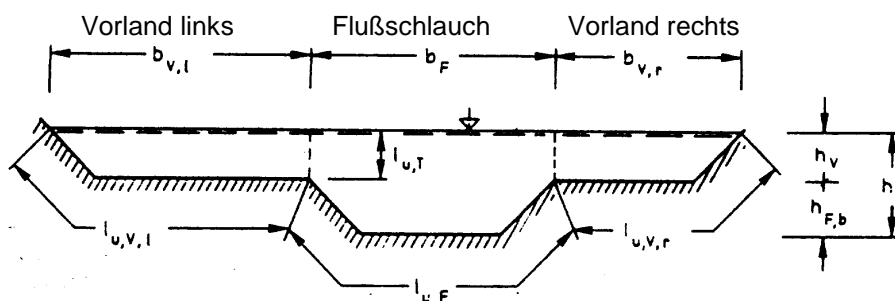


Abb. 4.2: Dreigliederung des Querprofils [DVWK, 1991]

Die Beurteilung der Strömungszustände läßt sich mit Hilfe folgender Größen durchführen:

- Wasserspiegellage [mNN]
- Fließquerschnitt, getrennt nach Flußschlauch und Vorländern [m²]
- Fließgeschwindigkeit, getrennt nach Flußschlauch und Vorländern [m/s]
- Wasserspiegelbreite [m]
- Hydraulischer Radius [m]
- Gesamtschubspannung [N/m²]
- Gefälleverhältnisse [‰]

Die Gesamtschubspannung liefert erste Hinweise auf den möglichen Feststofftransport im Gewässer. Wenn die kritische Schubspannung nach DIN 19661, Teil 2 überschritten wird, ist mit einer Sedimentbewegung an der Sohle zu rechnen. [Zwischenbericht, 1997]

4.2 Feststofftransportberechnung

Zum Einsatz kam hier das ebenfalls vom Hydrologic Engineering Center der U.S. Army Corps of Engineers entwickelte Programm HEC-6, einem eindimensional-hydroneumerischen Feststofftransportmodell mit beweglicher Sohle für die Langzeitsimulation von Akkumulation und Erosion in Fließgewässern. Es enthält weitgehend das Programm HEC-2 und erweitert dieses um den Sedimenttransport. Im Gegensatz zu dem detaillierteren Modell HEC-2 zur Berechnung der Wasserspiegellagen ist hier keine Simulation von Bauwerken (z.B. Brücken) vorgesehen. Ansonsten gelten für die hydraulische Berechnung die gleichen Einsatzbereiche, wie sie bereits zuvor bei der Wasserspiegellagenberechnung beschrieben worden sind.

Das Programm berechnet Veränderungen der Sohle lediglich in vertikaler Richtung in den Grenzen der geschiebeführenden Breite, die i.d.R. zwischen den Buhnenfüßen definiert ist. Es bietet weiterhin die Möglichkeit zur Simulation von Verlandungen in Stauräumen und die Berechnung von Gewässersystemen ohne Vermaschung (z.B. keine Inselumströmungen). [HEC, 1993]

Als Eingangsdaten sind für die Berechnung des Feststofftransports, ausgehend von dem gezeichneten Modell mit fester Sohle, folgende Parameter notwendig:

- Geometrie
 - Querprofile mit geodätischen Höhen [mNN]
 - Geschiebeführende Breite [m]

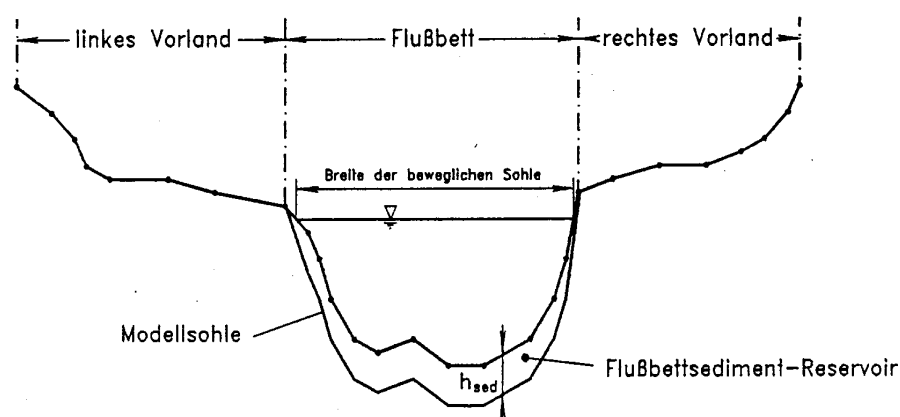


Abb. 4.3: Querprofil mit geschiebeführender Breite [Alexy, 1994]

- Sedimentdaten
 - Kornzusammensetzung der Sohle
 - Geschiebe- und Schwebstofffrachten am oberstromigen Modellrand [t/d]
- Hydrologie
 - Abflußkurve für den unterstromigen Modellrand
 - Diskretisierte Ganglinie (quasi-stationär)
 - Wasserspiegelfixierungen [mNN]

[Zwischenbericht, 1997]

Die Grundlage für die Simulation des Feststofftransports und den daraus resultierenden Veränderungen des Gewässerbettes ist die Kontinuitätsgleichung für die Sedimente (EXNER-Gleichung). Im Berechnungsprogramm bezieht sie sich auf das für jedes Querprofil definierte Kontrollvolumen. Zu Beginn und Ende jedes Berechnungszeitschrittes wird davon ausgegangen, daß sich sämtliche Feststoffe abgelagert haben und der Wasserkörper frei von Feststoffen ist. Aufgrund der von Oberstrom zugeführten und der während des Zeitschrittes aus dem Kontrollvolumen ausgetragenen Feststoffvolumina läßt sich ein Erosions- und Akkumulationsvolumen für den Sohlkörper berechnen. Aus dieser Volumendifferenz wird die Sohllagenänderung berechnet. HEC-6 verschiebt hierbei die bewegliche Sohle um einen für alle Geometriepunkte konstanten Betrag nach oben oder unten. [HEC, 1993]

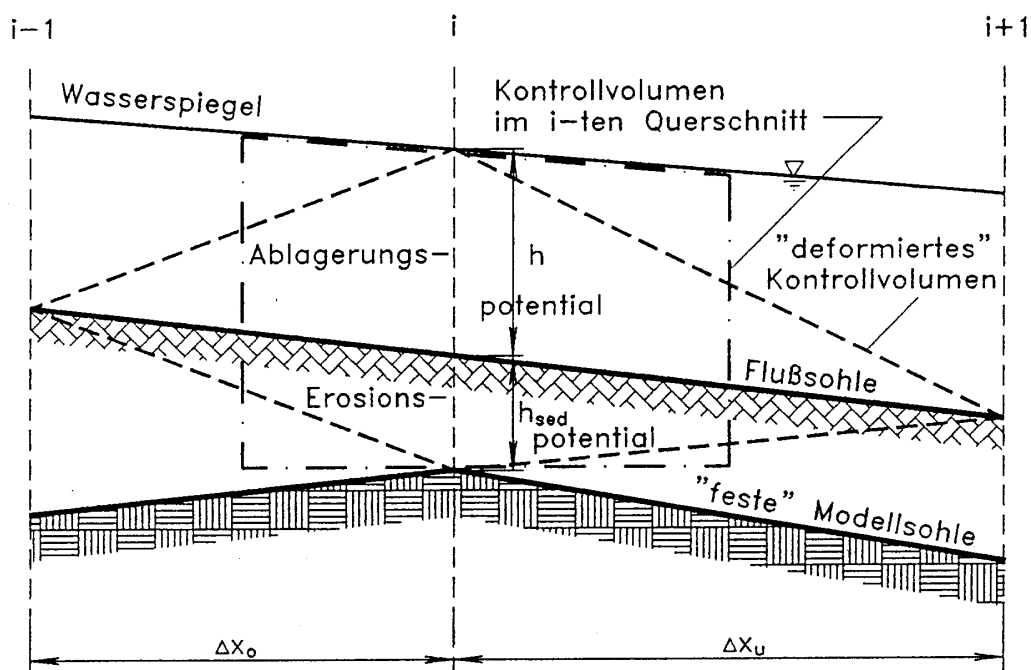


Abb. 4.4: Kontrollvolumen [Alexy, 1994]

In HEC-6 stehen insgesamt 11 verschiedene Gleichungen zur Berechnung des Geschiebetransportes zur Verfügung. Zusätzlich besteht die Möglichkeit eine eigene Transportformel aus Meßdaten zu entwickeln.

- (1) Tofaletti (1969)
- (2) Maddens (1963), Modifikation von Laursen (1958)
- (3) Yang (1973)
- (4) Du Boys (Brown, 1950)
- (5) Ackers-White (1973)
- (6) Colby (1964)
- (7) Tofaletti/Schocklitsch
- (8) Meyer-Peter, Müller (1948)
- (9) Tofaletti (1969), kombiniert mit Meyer-Peter, Müller (1948)
- (10) Maddens (1985) Modifikation von Laursen (1958)
- (11) Laursen-Copeland
- (12) „Benutzerdefiniert“

Der Berechnungsablauf beginnt zunächst mit der Simulation der Wasserspiegellagen für den jeweiligen Abfluß eines Zeitschrittes. In einem nächsten Schritt wird über die Geschiebetransportformel die Feststofftransportkapazität für jedes Querprofil ermittelt. Dadurch erhält man das Erosions- bzw. Akkumulationsvolumen für jede Fließstrecke und die veränderte Gerinnegeometrie. Mit diesem modifizierten Profilen erfolgt dann die Berechnung der hydraulischen Parameter für das folgende Abflußereignis.

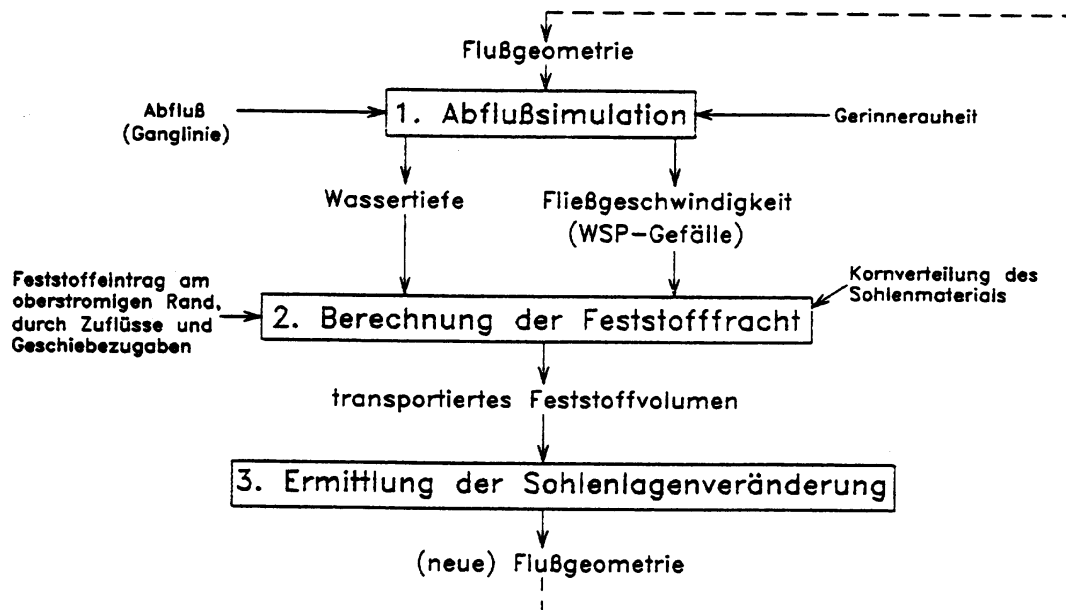


Abb. 4.5: Schema Berechnungsablauf [Alexy, 1994]

Die Eichung des Modells wird durch Nachbildung der Entwicklung der Sohlgeometrie auf Grundlage der Abflußganglinie durchgeführt. Für die Eichung von Fließabschnitten ohne starke Schwankungen der mittleren Sohlage in den letzten Jahrzehnten ist es ausreichend, mit einer aktuellen Sohlpeilung und einer kürzeren Abflußganglinie zu arbeiten. Um sichere Prognosen mit dem Modell treffen zu können, sollte in Streckenabschnitten, die einer starken Veränderung der Sohle unterliegen, eine längere Abflußganglinie (z.B. 30 Jahre) gewählt werden. Für die Eichung ist es in diesem Fall günstig, wenn eine ältere Sohlpeilung als Ausgangsgeometrie herangezogen werden kann. Im Verbundprojekt werden aber nur aktuelle Elbe-Peilungen verwendet, da eine Recherche und Aufbereitung der älteren Peilungen zu zeitaufwendig war.

Als Output der Berechnung lassen sich folgende Parameter darstellen:

- Wasserspiegellage [mNN]
 - Talweg [mNN]
 - Sohlhöhenänderung der geschiebeführenden Breite [m]
 - Feinsand-/Sand-/Kiestransport [t/d]
 - Schubspannung [N/m²]
 - Kornzusammensetzung der Sohle (aktiver Layer) für einen ausgewählten Zeitabschnitt
 - Veränderte Schlüsselkurven
 - Massenermittlung zur Festlegung von Erosions- und Akkumulationsabschnitten [t/a]
- } als Funktion des Ortes
oder der Zeit
- [Zwischenbericht, 1997]

4.3 Pre- und Postprocessing

Für die graphische und numerische Aufbereitung der Naturdaten wurde dem Verbundprojekt das an der Bundesanstalt für Wasserbau, Außenstelle Berlin entwickelte Programm PROFIL [Hentschel, 1994] zur Verfügung gestellt. Die geometrischen, hydraulischen und hydrologischen Meßwerte aus der Natur oder aus Modellen, wie z.B. Gewässergeometrien und Wasserspiegellagen, können mit PROFIL konvertiert, ausgewertet und verglichen werden.

Ein weiteres Programm, welches von der Bundesanstalt für Wasserbau, Außenstelle Berlin entwickelt wurde, stand dem Verbundprojekt ebenfalls zur Verfügung. Es wurde von [Hentschel, 1996] entwickelt und dient als graphische Benutzeroberfläche für das Feststofftransportprogramm HEC-6. Das Programm nennt sich „HEC-6 - Auswertung-Simulation-Ergebnisausgabe“, kurz HASE. Der HASE dient als Pre- und Postprozessor und macht eine direkte Bearbeitung der Eingabe- und Ausgabedatei für HEC-6 überflüssig. Die umfangreiche Ausgabedatei der Feststofftransportberechnung mit HEC-6 ist durch das Programm HASE in binärer Form speicherbar, was den Datenumfang erheblich reduziert. Ein weiterer Arbeitsschritt des HASEN besteht in der automatischen Konvertierung der Einheiten in das amerikanische Maßsystem für die Berechnung bzw. Rückrechnung aus diesem System für die Auswertung.

In Anlage I ist das Ablaufschema zur Simulation des eindimensionalen Feststofftransportprozesses mit dem Programm HEC-6 mit Pre- und Postprocessing durch das Programm HASE dargestellt.

4.4 Eigene Modellentwicklung auf der Basis von Darcy-Weisbach

Gemäß Forschungsantrag war neben der Benutzung gängiger Berechnungsverfahren auch die Entwicklung eines Programmes für 1D-hydraulisch-sedimentologische Untersuchungen vorgesehen. Grundlage für diese Abflußberechnung ist das Fließgesetz nach Darcy-Weisbach, wobei für den Widerstandsbeiwert das Gesetz von Colebrook und White Anwendung findet. Es bietet durch seine Aufteilung der Rauheiten eine differenziertere Betrachtung gegenüber dem Ansatz nach Gaukler-Manning-Strickler.

Das von [Rathke, 1998] an der Universität-GH Paderborn, Abteilung Höxter entwickelte Programm HYSEMO32 bietet die Möglichkeit, die Fließwiderstände in den Vorländern jeweils in maximal drei bewachsene und vier unbewachsene Bereiche zu untergliedern, im Flußschlauch selbst ist eine Unterteilung der Rauheiten in bewachsene und unbewachsene Böschungszonen sowie an der Sohle in Korn- und Formrauheit möglich.

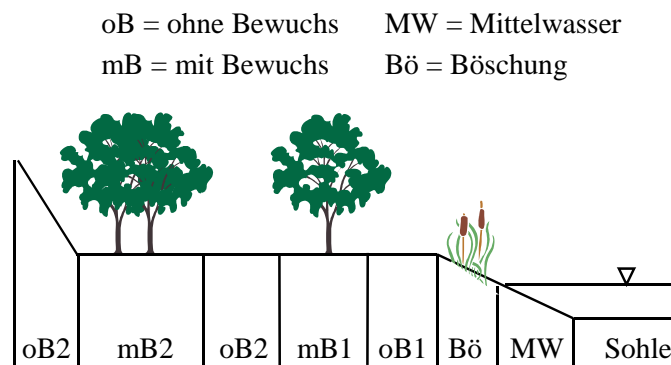


Abb. 4.6: Mögliche Einteilung eines Abflußquerschnittes in HYSEMO32

Zur Abschätzung des interaktionsbedingten Widerstandsbeiwertes bzw. der Trennflächenrauheit verwendet HYSEMO32 das Verfahren nach Mertens. Der Ansatz ist für die Elbe ausreichend genau, da der Einfluß der Interaktion im Übergang vom Vorland zum Flußquerschnitt auf die Abflußsituation bei einem verhältnismäßig breiten Gewässer wie der Elbe als vernachlässigbar einzustufen ist.

Die Transportkapazität eines Profils wird verglichen mit der von Oberstrom eingetragenen Fracht. Ist die Transportkapazität größer, muß Material aus der Sohle aufgenommen werden. Liegt der Fall vor, daß die Fracht die Transportkapazität übersteigt, wird überschüssiges Material abgelagert, d.h. die Sohle erhöht sich. Die neue Sohlenlage wird beibehalten und führt im nächsten Zeitschritt zu veränderten hydraulischen Parametern.

Als Eingabeparameter für sedimentologische Rechnungen mit dem Programm HYSEMO32 dienen:

- Geometrie
 - Querprofile mit geodätischen Höhen [mNN]
 - Widerstandsdaten für die Bereiche Sohle, MW und Böschung im Flußschlauch [m]
 - Widerstandsdaten für bewachsene und unbewachsene Bereiche im Vorland [m]
 - Bewuchsparameter für Bewuchszonen
- Hydrologie
 - Diskretisierte Ganglinie (quasi-stationär)
 - Abflußkurve für den unterstromigen Modellrand
- Sedimentologie
 - Kornverteilung der Sohle (Sieblinie)
 - Eintrag von Geschiebe- und Schwebstofffrachten am oberstromigen Modellrand

Die Ergebnisdatei des Programmes HYSEMO32 liefert folgende Parameter:

- Wasserspiegel- und Energiehöhe [mNN]
- Energiegefälle [‰]
- Grenztiefe [mNN]
- Tiefster Sohlpunkt am Anfang und am Ende der Berechnung [mNN]
- Mittlere Sohlhöhe am Anfang und am Ende der Berechnung [mNN]
- Abflußfläche getrennt nach Flußschlauch und Vorländern [m²]
- Fließgeschwindigkeit getrennt nach Flußschlauch und Vorländern [m/s]
- Mittlere Sohlschubspannung [N/m²]
- Feststofftrieb, getrennt nach Geschiebe- und Schwebstoffanteil [kg/s]

[Hüsener, 1998]

4.5 Fehlerbetrachtung

In diesem Abschnitt wird die Problematik der Interpretation der Ergebnisse näher betrachtet. Grundlegend ist hierbei, daß hydronumerische Modelle in ihrer Genauigkeit nur so gut sein können, wie die Güte der eingegebenen Daten (Geometrie, Hydrologie und Sedimentologie) und die 1D-Modelltechnik es erlauben.

Modelltechnik

Die Vereinfachungen, die der 1D-Modelltechnik zugrunde liegen, sind in den Programmbeschreibungen HEC-2 und HEC-6 näher erläutert. Wesentlich ist die Annahme eines über das Querprofil gemittelten Wasserspiegels. Eine Neigung des Wasserspiegels in Krümmungen oder die im Vergleich zum Hauptgerinne kleineren Wassertiefen in der Aue bei sehr breiten Vorländern durch rückwärtigen Einstau können hierdurch nicht korrekt erfaßt werden. In diesen Abschnitten können die Strömungsparameter der eindimensionalen Berechnung nicht ohne eine kritische Betrachtung auf das gesamte Querprofil bzw. die Vorländer übertragen werden.

Geometrie

Die Sohlpeilungen stellen eine Momentaufnahme der Gewässergeometrie dar, die die ständigen morphologischen Veränderungen an der Sohle nicht berücksichtigen kann. Mögliche Transportkörper, die über die Sohle wandern, werden dabei allenfalls nur in ihrer augenblicklichen Situation erfaßt und können im eindimensional-hydrnumerischen Modell aufgrund des Profilabstandes keine Berücksichtigung finden.

Im Verbundprojekt war eine Auswertung der aktuellen Sohlgeometrien vorgesehen. Die Aufbereitung historischer Geometriedaten, die in der Regel nicht in digitaler Form vorliegen, war unter den Rahmenbedingungen des Verbundprojektes nicht möglich. Für die Erstellung eines hydrnumerischen Modells ist die Eingabe einer Geometrie zu Beginn der Eichganglinie wichtig, wenn über den Simulationszeitraum signifikante Erosions- oder Ablagerungserscheinungen aufgetreten sind.

Da für die Erstellung der Feststofftransportmodelle nur mit einer Sohlgeometrie gearbeitet wurde, wurde der Vergleich über normierte Wasserstände zur Abschätzung der Sohlentwicklung herangezogen. Die auf diesen Grundlagen erstellten Sedimenttransportmodelle dienen zur Abschätzung der sedimentologischen Parameter, für die Erstellung von Modellen mit höherer Genauigkeit ist eine Aufbereitung der historischen Sohlpeilungen unerlässlich.

Für die geometrische Formulierung der Vorländer konnte nicht auf digitale Datensätze der Landesvermessungsämter zurückgegriffen werden, da diese auch zum Ende der Projektlaufzeit nicht durchgängig vorlagen. Die Geländeinformationen des Vorlandes bis zu den Deichen bzw. zum hochwasserfreien Gelände wurden größtenteils in Eigenleistung des Verbundprojektes aus den Topographischen Karten M 1:10.000 (TK10) ergänzt. Diese Arbeiten erfolgten in enger Zusammenarbeit mit dem TPI.1 „Geländemodell und GIS“. Durch Digitalisieren der Höhenlinien, Bruchkanten und Gräben der TK 10 wurden Digitale Geländemodelle bzw. Querprofile für die hydrnumerische Modellierung erstellt. Der Abstand der Höhenlinien der TK 10 beträgt minimal 0,50 m, so daß sich die Genauigkeit der Geländeinformation im Vorland ebenfalls in dieser Größenordnung bewegt. Eine Verbesserung der Genauigkeit durch die

zur Zeit vorhandenen digitalen Datensätze der Landesvermessungsämter ist nicht zu erwarten, da die Grundlage dieser Daten ebenfalls die TK 10 ist.

Hydrologie

Die Wasserspiegelfixierungen stellen eine Momentaufnahme einer Abflußsituation dar. Zur exakten Aufnahme des Wasserspiegels an einem bestimmten Ort zu einer definierten Zeit gehört auch die Kenntnis der Gewässergeometrie. In der Regel liegt aber zu den einzelnen Fixierungen eine Sohlpeilung nicht vor, so daß das Verbundprojekt auf eine möglichst aktuelle Sohlgeometrie aus den 90-er Jahren zurückgreift.

Die Größe der Fehler bei Wasserspiegelfixierungen ist unter anderem vom Wasserstand abhängig. Die Ursachen hierfür sind in der Unstetigkeit der Natur begründet, denn die Abflüsse sind über die Zeit nicht konstant und die Sohle ist ständigen Veränderungen unterworfen. Durch Wind- und Wellenschlag und in Krümmungen ist die Lage des Wasserspiegels über die Querschnittsbreite nicht konstant. Zudem erfolgt die Fixierung der Hochwasserereignisse meist nur an einer Uferseite, so daß Abweichungen über die Wasserspiegellage von mehreren Dezimetern auftreten können. Eine weitere Ungenauigkeit liegt in der Abflußmessung, deren Fehler in einer Größenordnung von 5% liegen kann. Die Messung des Wasserstandes und des Abflusses erfolgt in der Regel nicht zeitgleich; durch instationären Abfluß entsteht eine weitere Fehlerquelle.

Die Fixierungen des Wasserspiegels werden in einem Abstand von 500 m bis 1000 m durchgeführt. Die zwischen den Fixierungswerten liegenden, interpolierten Wasserspiegel für die Eichung des hydronumerischen Modells müssen nicht zwingend den tatsächlichen Verlauf der Wasserspiegellage darstellen. Bei der Eichung ist es daher wichtig, die Abweichungen an den tatsächlich fixierten Werten möglichst gering zu halten. Größere Differenzen zwischen interpolierter und berechneter Wasserspiegellage müssen daher nicht automatisch eine größere Abweichung vom tatsächlichen Wasserspiegelverlauf darstellen.

Bei der Eichung der hydronumerischen Modelle anhand in der Natur aufgenommener Wasserspiegelfixierungen kann der Fehler daher auch nur im Rahmen dieser in der Natur aufgenommenen Daten liegen. Dabei gilt allgemein: Je höher der Wasserstand, um so größer die Ungenauigkeiten. Deshalb sind Abweichungen zwischen fixierter und berechneter Wasserspiegellage bei MNW/MW im Bereich von 10 cm und bei Hochwasser bis hin zu mehreren Dezimetern möglich. Bei der Eichung der Modelle wird selbstverständlich versucht, die Differenzen so klein wie möglich zu halten.

Die cm-Genauigkeit stellt den Gültigkeitsbereich eines hydronumerischen Modells dar. Durch die Definition eines Ausgangszustandes (Eichung) werden kontrollierbare Randbedingungen für die Untersuchung verschiedener Ausbauvarianten geschaffen, die die Reproduzierbarkeit des Modells widerspiegeln. [Zentgraf u. Nestmann, 1988]

Sedimentologie

Die Geschiebe- und Schwebstoffmessungen und die Kornverteilung der Sohle stellen ebenfalls nur eine Momentaufnahme dar. Um die Messungen hinreichend genau interpretieren zu können, ist die hydrologische Vorgeschichte zum Zeitpunkt der Aufnahme einzubeziehen. Die Morphologie der Sohle mit ihrer dynamischen Umlagerung in Abhängigkeit des Abflußgeschehens läßt eine eindeutige Charakterisierung nur schwer zu. Abflußabhängige Geschiebe- und Schwebstoffmessungen sind, wie im nachfolgenden Kapitel dargestellt, an der Elbe noch nicht in erforderlichem Umfang über die gesamte Fließstrecke vorhanden. Eine gesicherte Definition der jährlichen Frachten über die Gesamtstrecke der deutschen Elbe ist daher noch nicht möglich. Siehe hierzu auch die Ergebnisse von Teilprojekt I.6 „Hydrologisches Feststoffbilanzmodell“.

5 Datengrundlage

Die für die Berechnungen erforderlichen Grundlagendaten werden im folgenden dargestellt. Der Aufbau von hydronumerischen Modellen steht und fällt mit der Verfügbarkeit und Genauigkeit der Eingabedaten. Für die Berechnung der Wasserspiegellagen sind neben der Geometrie die hydrologischen Informationen notwendig. Sedimentologische Daten sind zusätzlich für die Berechnungen mit beweglicher Sohle erforderlich.

5.1 Geometrie

Die Geometrie setzt sich zusammen aus den Datenbeständen im Flußquerschnitt und der Topographie der Auen bis zu den Deichen bzw. zum Geländeanstieg, der eine weitere Überflutung verhindert. Die Zuständigkeit in der Vorhaltung der Daten ist hierbei getrennt und liegt bei verschiedenen Institutionen. Die Elbe als Bundeswasserstraße unterliegt der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes mit den ausführenden Organen der Wasser- und Schifffahrtsämter. Für die topographischen Informationen hingegen sind die jeweiligen Landesvermessungsämter zuständig. Für den Aufbau der Querprofile für die hydronumerischen Modelle ist daher eine Zusammenführung der Informationen der verschiedenen Ämter als eine wesentliche Aufgabe anzusehen.

5.1.1 Flußpeilungen

Eine Aufgabe der Wasser- und Schifffahrtsämter liegt darin, die geometrischen Grundlagen für die Erfüllung von Bau- und Unterhaltungsmaßnahmen (z.B. Verkehrssicherungspflicht) von Bundeswasserstraßen zu liefern. Hierzu gehört neben der Errichtung und Unterhaltung des Lage-Höhenfestpunktfeldes als Bezugssystem (Hektometersteine) auch die topographische Erfassung der Gewässersohle, des Uferbereiches, des Wasserspiegels und der Uferlinie.

Im Verbundprojekt war keine Neuaufnahme von Gewässerabschnitten vorgesehen, es sollten lediglich die bereits vorliegenden Datensätze der Wasser- und Schifffahrtsämter ausgewertet werden. Desgleichen sollten nur aktuelle Flußpeilungen (90er Jahre) für die Berechnungen verwendet werden; der Einsatz von historischen Peilungen war im Verbundprojekt nicht vorgesehen. Dies liegt darin begründet, daß der Zeitrahmen von drei Projektjahren für die Gesamtbetrachtung der Elbe sehr eng gesteckt war und eine Aufbereitung von historischen Daten, die nicht in digitaler Form vorliegen, in diesem Rahmen nicht möglich war.

Für die Erstellung von Einfachmodellen mit beweglicher Sohle, die zu einer ersten Abschätzung der Feststofftransportverhältnisse dienen sollen, ist die Einbeziehung der historischen Datensätze in Elbe-Abschnitten, die keiner starken Sohlveränderung in den letzten Jahren unterworfen waren, nicht zwingend erforderlich.

Die Datensätze wurden von den Wasser- und Schifffahrtsämtern direkt übergeben oder von der Bundesanstalt für Wasserbau dem Verbundprojekt zur Verfügung gestellt. Die nachfolgende Tabelle liefert einen Überblick über die aktuellen Flußpeilungen im Zuständigkeitsbereich der einzelnen Wasser- und Schifffahrtsämter. Die Tabelle erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit der an der Elbe vorliegenden Querprofilpeilungen. Sie zeigt nur die im Verbundprojekt vorliegenden Datensätze, die Ausgangsbasis für die hydronumerischen Modelle waren.

Elbe-km	Datum	Art der Peilung	Abstand der Peilung	Wasser- und Schifffahrtsamt
121,0-140,0	1994	Sohlpeilung mit Vorlandanschluß (50-100 m ins Vorland)	100 m	Dresden
140,0-185,0	1993	Sohlpeilung mit Vorlandanschluß, einzelne Profile bis zu den Deichen aufgenommen	100 m, bis Deich ca. km-Abstand	Dresden
154,0- 155,6	1995	Sohlpeilung (Felsbereich Torgau)	20-100 m	Dresden
185,0-220,0	1995	Sohlpeilung mit Vorlandanschluß, einzelne Profile bis zu den Deichen aufgenommen	100 m, bis Deich ca. km-Abstand	Dresden
220,0-235,6	1995/96	Sohlpeilung mit Vorlandanschluß	50-100 m	Dresden
271,2-290,8	1997	Sohlpeilung mit Vorlandanschluß	100 m	Dresden
291,0-340,0	1994	Sohlpeilung bis Böschungskante	100-500 m	Magdeburg
340,0-350,0	1997	Sohlpeilung bis Böschungskante	200 m	Magdeburg
350,0-432,8	1995	Sohlpeilung bis Böschungskante	200 m	Magdeburg
433,0-502,0	1994	Sohlpeilung mit Vorlandanschluß bis zum Deich	500 m	Magdeburg
502,3-513,0	1995	Sohlpeilung bis Böschungskante	50-100 m	Lauenburg
513,0-523,0	1996	Sohlpeilung bis Böschungskante	50 m	Lauenburg
523,0-536,5	1995	Sohlpeilung bis Böschungskante	50-100 m	Lauenburg
537,0-549,3	1995	Sohlpeilung bis Böschungskante	50-100 m	Lauenburg
549,39-584,0	1994	Sohlpeilung bis Böschungskante	ca. 100 m	Lauenburg

Tab. 5.1: Querprofilpeilungen der Wasser- und Schifffahrtsämter

5.1.2 Topographie

Die Aufbereitung der topographischen Informationen erfolgte in enger Zusammenarbeit mit dem Teilprojekt I.1 „Geländemodell und GIS“. Für die Erzeugung der Digitalen Geländemodelle sind die flächenhaften Informationen in der Aue notwendig, für die hydronumerischen Modelle sind nur die Querschnitte durch die Aue in einem definierten Abstand von Interesse. Die Vorgehensweise zur Erstellung der Digitalen Geländemodelle ist in den Zwischenberichten und im Abschlußbericht des TPI.1 näher erläutert. Hier soll nur ein kurzer Abriß über die Verfügbarkeit, die Genauigkeit der Daten und die allgemeine Vorgehensweise zur Erzeugung von Querprofilen dargestellt werden.

Die Vorländer der Elbe liegen größtenteils in den Bundesländern Sachsen, Sachsen-Anhalt und Niedersachsen. Bereits zu Beginn des Projektes und dann fortlaufend wurden Anfragen an die entsprechenden Landesvermessungsämter bezüglich topographischer Informationen der Elbe-Vorländer getätigt. Die Landesvermessung hält topographische Informationen über die Elbe-Auen in Form von Topographischen Karten M 1:10.000 (TK 10) bzw. der Deutschen Grundkarte (DGK 5) vor. Darüber hinaus werden im Rahmen des ATKIS-Projektes (Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem) Digitale Landschaftsmodelle, Digitale Topographische Karten, Digitale Gelände-/Höhenmodelle und Rasterdaten topographischer Landesdaten erstellt. Für das Verbundprojekt sind dabei nur die Digitalen Höhenmodelle von Interesse. Diese Datensätze sind auch zum Ende der Projektlaufzeit nicht flächendeckend und blattschnittfrei für die gesamte deutsche Elbe vorhanden. Die Grundlage der digitalen Datensätze liegt größtenteils in den topographischen Karten und damit auch in der Lage- und Höhengenaugigkeit derselben. Weiterhin enthalten sie auch sogenannte Aussparungsflächen, in denen keine Höheninformationen enthalten sind (z.B. Tagebau, Halden). Die Digitalen Höhenmodelle sind in ihrer Genauigkeit vergleichbar mit den Topographischen Karten, kostenintensiv und bedürfen einer intensiven Nachbearbeitung für die Fragestellungen des Verbundprojektes (z.B. Deiche sind nicht als Höheninformation enthalten).

Aus den oben genannten Gründen dienten im Projekt für die Vorländer in den neuen Bundesländern die Topographische Karte M 1:10.000 bzw. in den alten Bundesländern die DGK 5 als Grundlage. Zunächst wurden die Peilungen des Flußschlauches durch direkte Aufnahme der Vorländer im 100 m-Abstand ergänzt. Im Hinblick auf die Erstellung der Digitalen Geländemodelle für TPI.1 wurde dann dazu übergegangen, die Höhenlinien der TK 10 und weitere Informationen wie Gräben, Seen und Deiche als Polygonzüge bzw. Punkte von der Karte zu digitalisieren und im Geographischen Informationssystem ARCInfo zu rastern. Durch Vorgabe von Polygonen, ausgerichtet an den Hektometersteinen konnten dann Schnitte durch das Digitale Geländemodell gelegt und die Querprofile rückgelesen werden (Programm GEKO, siehe TPI.1).

Eine weitere Möglichkeit, die Topographie zu erfassen, bestand in der Möglichkeit, einzelne Querprofile mit dem Programm PROFIL (ausgerichtet an den Hektometersteinen) zu interpolieren. Diese so erzeugten Querprofile wurden dann in jedem Fall mit der Topographischen Karte und Luftbildaufnahmen abgeglichen.

In der nachstehenden Tabelle sind zunächst die Streckenabschnitte aufgeführt, die im Verbundprojekt neu aufgenommen worden sind. Es sind die jeweiligen Methoden, wie die Vorlandinformationen im Abstand von jeweils 100 m gewonnen wurden, aufgezeigt.

Elbe-km	Topographie
203-220	Querprofilorientiert aus TK 10
271-291	Digitalisierung der Höhenlinien, etc. der TK 10, Erstellung des DGM, Rücklesen der Profile durch vorgegebene Polygone
340-370	Digitalisierung der Höhenlinien, etc. der TK 10, Erstellung des DGM, Rücklesen der Profile durch vorgegebene Polygone
370-400	Querprofilorientiert aus TK 10
400-407	Digitalisierung der Höhenlinien, etc. der TK 10, Erstellung des DGM, Rücklesen der Profile durch vorgegebene Polygone
407-426	Querprofilorientiert aus TK 10

Tab. 5.2: im Verbundprojekt erzeugte Querprofile

Ferner sind dem Verbundprojekt Querprofile mit Vorlandinformationen von der Bundesanstalt für Wasserbau übergeben worden. Die nächste Tabelle zeigt den Überblick der übergebenen Streckenabschnitte und beschreibt die vorhandenen bzw. im Verbundprojekt ergänzten Informationen zur Topographie.

Elbe-km	Topographie
121-203	Interpolation zwischen gepeilten Profilen und ergänzt durch querprofilorientierte Aufnahme aus TK 10
220-235	Interpolation zwischen gepeilten Profilen und ergänzt durch querprofilorientierte Aufnahme aus TK 10
320-338	Interpolation zwischen gepeilten Profilen und ergänzt durch querprofilorientierte Aufnahme aus TK 10 (Profile nicht bis zum Deich)
433-502	Interpolation zwischen gepeilten Profilen und Abgleich mit TK 10 / TK 25
502-537	Interpolation zwischen gepeilten Profilen und Abgleich mit TK 10 / TK 25

Tab. 5.3: von BAW übergebene und im Verbund teilweise ergänzte Profile

5.1.3 Buhnen

Die Elbe ist durch den Einbau von Quer- und Längsbauwerken seit dem letzten Jahrhundert in ihrem Gewässerbett weitestgehend festgelegt. Eine Seitenerosion und dadurch hervorgerufen ein Mäandrieren des Flusses in der Aue ist nicht mehr gegeben. Die Buhnen beschränken den Querschnitt insbesondere bei MNW und MW stark und prägen so das Abflußgeschehen. Für den Aufbau der eindimensional-hydrnumerischen Modelle ist daher die Berücksichtigung der Querschnittseinengung durch die Buhnen von großer Bedeutung. Die Buhnenfelder im Flußschlauch sind bei eindimensionaler Betrachtungsweise ausgegrenzt.

Im hydrnumerischen Modell werden die Buhnen als sogenannte Buhnenschatten berücksichtigt. Die Lage der Buhnenköpfe in der Elbe entspricht nicht dem Abstand der Querprofile im hydrnumerischen Modell. Mit Hilfe des Programmes PROFIL ist eine Projektion der

Elbe-Buhnen auf die entsprechenden Modellprofile nach den Regeln der [WSD West, 1992] möglich. Die nachstehende Abbildung zeigt exemplarisch ein typisches Elbe-Profil mit eingebauten Buhnenschatten.

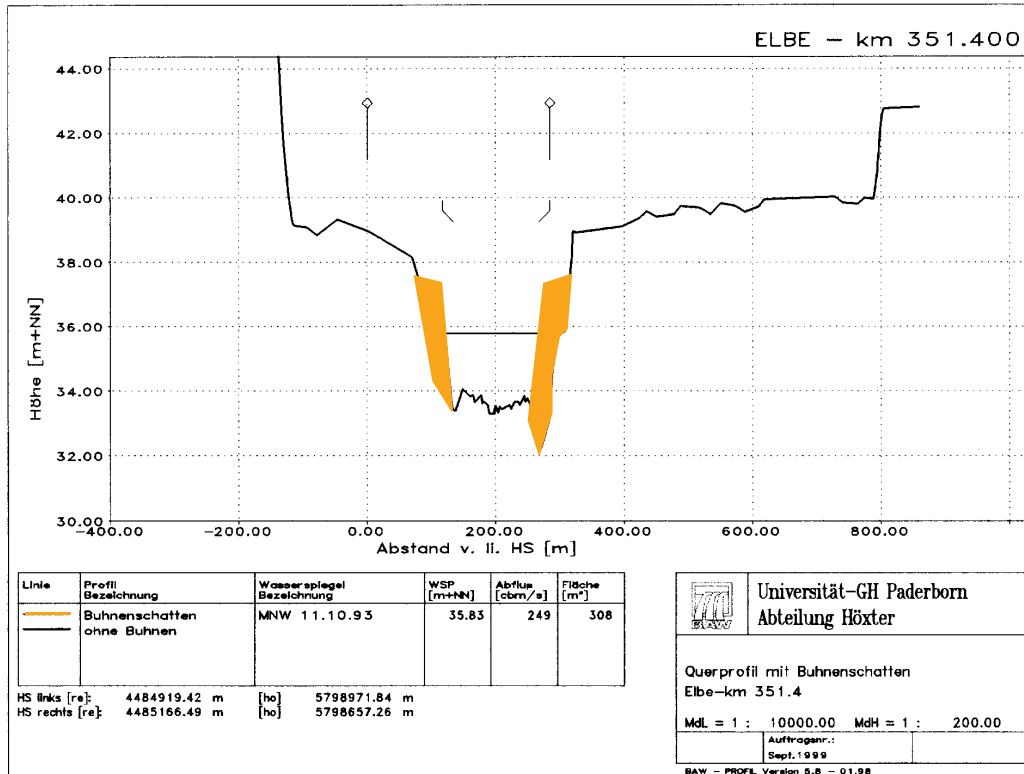


Abb. 5.1: Querprofil mit eingebauten Buhnenschatten

Im Programm PROFIL werden die Buhnen durch den Elbe-km, die Lage und Höhe des Buhnenkopfes sowie die Kopf- und Rücken­neigung charakterisiert. Die grundlegenden Informationen hierzu sind im Verbundprojekt zum einen aus Buhnen­peilungen und zum anderen aus Stromkarten entnommen worden.

Elbe-km	
121-203	Peilung der Buhnen
203-220	Peilung der Buhnen 1996
220-235	Peilung der Buhnen
271-291	Peilung der Buhnen 1997
433-502	Stromkarten und Elbe-Atlas
502-536	Stromatlas der Elbe (WSA Lauenburg) und Elbe-Akte (BfG)

Tab. 5.4: Übersicht der Buhneninformationen

5.1.4 Querprofile

In diesem Abschnitt soll ein tabellarischer Gesamtüberblick über die vorliegenden Querprofile mit einer differenzierten Einteilung der vorhandenen Daten ohne Berücksichtigung ihrer Herkunft gegeben werden. Die Querprofile, die hier aufgeführt sind, sind/werden Bestandteil der projektinternen ORACLE-Datenbank von Teilprojekt I.4.

Elbe-km	Flußschlauch	Vorland	Buhnen
0-121	-	-	-
121-220	X	X	X
220-235	X	-	X
235-271	-	-	-
271-291	X	X	X
290-340	X	-	-
340-426	X	X	X
426-433	X	-	-
433-537	X	X	X
537-586	X	-	-

Tab. 5.5: im Verbundprojekt vorliegende Querprofile

5.2 Hydrologie

5.2.1 Wasserspiegelfixierungen

Die Aufnahme der Wasserspiegel erfolgt durch die Wasser- und Schifffahrtsämter, im Hochwasserfall sind die Landesbehörden für die Ablesung der Deichpegelmarken zuständig. Optimal für die numerischen Berechnungen des Ist-Zustandes sind aktuelle, zu den Querprofilpeilungen passende Abflüsse im Spektrum von MNW bis HW über die gesamte deutsche Elbe. Aber besonders im Hochwasserbereich mangelt es an aktuellen Wasserspiegelfixierungen. Hier muß meist auf historische Abflußereignisse zurückgegriffen werden.

Die historischen und aktuellen Wasserspiegellagen sind dem Verbundprojekt von der Bundesanstalt für Wasserbau und den zuständigen Wasser- und Schifffahrtsämtern übergeben worden. Die Fixierungen sind in die projektinterne ORACLE-Datenbank implementiert und stehen so weiteren Nutzern zur Verfügung. Die nachfolgende Tabelle stellt eine Übersicht der für das Projekt zur Verfügung stehenden Wasserspiegelfixierungen dar.

Tag der Fixierung	Elbe - von	Kilometer bis	ca. Wasserstand am Bezugspegel
1896	2,500	523,300	HW
12.05.1942	0,000	122,095	MW
18.05.1942	121,000	226,000	MW/MHW
21.05.1958	0,000	121,541	MW
14.05.1959	0,000	560,000	MNW
01.07.1961	311,000	333,000	MW
12.05.1969	291,000	565,000	MW/MHW
18.09.1969	0,000	437,600	MHW
23.04.1970	0,000	52,000	MHW
17.07.1971	0,000	460,820	MNW
21.03.1981	422,100	552,130	MHW
03.10.1985	0,000	468,910	MNW
14.08.1987	274,780	371,500	MNW/MW
05.04.1988	474,610	569,000	MHW
11.05.1989	0,000	470,000	MW
04.07.1989	474,610	569,000	MNW
26.03.1990	474,610	569,000	MW
07.06.1990	469,910	503,260	MNW
07.10.1993	0,000	290,340	MNW
11.10.1993	290,890	488,880	MNW
11.10.1993	502,100	573,420	MNW
05.01.1994	505,170	523,870	MHW
09.04.1994	0,000	290,430	MW
23.08.1994	323,000	327,000	MNW
25.08.1994	319,890	333,540	MNW
21.11.1994	141,000	290,400	MNW/MW
31.01.1995	0,000	290,400	MHW
23.08.1995	141,000	210,000	MNW
24.10.1995	0,000	290,430	MNW/MW
15.10.1996	0,000	290,800	MNW
05.03.1997	374,900	388,200	HW

Tab. 5.6: Wasserspiegelfixierungen

5.2.2 Abflußkurven

Als Randbedingung für die hydronumerischen Berechnungen ist eine Wasserstands-Abfluß-Beziehung für den unterstromigen Modellrand einzugeben. Aus dieser Abflußkurve wird dann der entsprechende Startwasserspiegel zu einem vorgegebenen Abfluß ermittelt.

Die Erstellung der Abfluß- und Wasserstandszeitreihen und die Untersuchung ihrer Konsistenz wurde für die neun Hauptpegel der Elbe von TPI.4 „Hydrologische Analyse und Datenmanagement“ durchgeführt. Ausgenommen wegen starker Inkonsistenzen im Hochwasserbereich ist der Pegel in Magdeburg. Nähere Ausführungen zur Zeitreihenuntersuchung sind dem ausführlichen Bericht des oben genannten Teilprojektes zu entnehmen.

Die Abflußkurven der Hauptpegel der Elbe wurden dann mit Hilfe der entsprechenden Wasserspiegelfixierungen durch Differenzenbildung und Regression in die Abflußkurven für den unterstromigen Modellrand transformiert. Besonderheiten bei der Bearbeitung dieses Punktes werden bei der Beschreibung der jeweiligen Berechnungsstrecken erläutert.

5.3 Sedimentologie

5.3.1 Kornverteilung der Sohle

Die Zusammensetzung der Elbesohle von der tschechisch-deutschen Grenze bis zur Staustufe Geesthacht wurde von der Bundesanstalt für Gewässerkunde im Auftrag der Wasser- und Schifffahrtsdirektion Ost in den Jahren 1993/1994 analysiert [Haunschild et al. 1994]. Diese Untersuchung war Grundlage für die Feststofftransportberechnungen, in welcher die Sohle in ihrer Zusammensetzung als Sedimentreservoir zur Verfügung gestellt wird.

Zu beachten ist dabei, daß die Kornzusammensetzung über das Querprofil nicht als konstant anzusehen ist. In Krümmungen mit stark ausgeprägtem Prall- und Gleithang ist eine deutliche Verteilung von grobem Material auf der Außenseite und von Feinmaterial in der verlandeten Zone auf der Innenseite zu erkennen. Des weiteren ist anzumerken, daß die Messung der Sohlzusammensetzung eine Momentaufnahme und immer im Zusammenhang mit dem zeitlichen Abflußgeschehen zu sehen ist. Eine gesonderte Erfassung der Transportkörper ist in diesen Messungen nicht enthalten.

In einigen Streckenabschnitten der Elbe (z.B. Reststrecke) ist die Sohle durch die einwirkenden Schubspannungskräfte von sogenannten Transportkörpern, die sich in Abhängigkeit des Abflusses einstellen, überlagert. Es können sich folgende Formen ausbilden:

- Riffel
Kleine, meist unregelmäßige Sohlunebenheiten, die sich in Strömungsrichtung fortbewegen und deren Höhe von der Wassertiefe unabhängig ist. Ihr Einfluß reicht nicht bis zur Wasseroberfläche.

- Dünen
Größere, meist unregelmäßige Sohlwellen, die sich in Strömungsrichtung bewegen und deren Höhe von der Wassertiefe abhängig ist. Sie beeinflussen die Strömung bis zur Wasseroberfläche.
- Antidünen
Wellige Sohlformen, die sich bei schießendem Abfluß bilden und sich entgegen der Fließrichtung bewegen.

[Zanke, 1982 und DVWK, 1988]

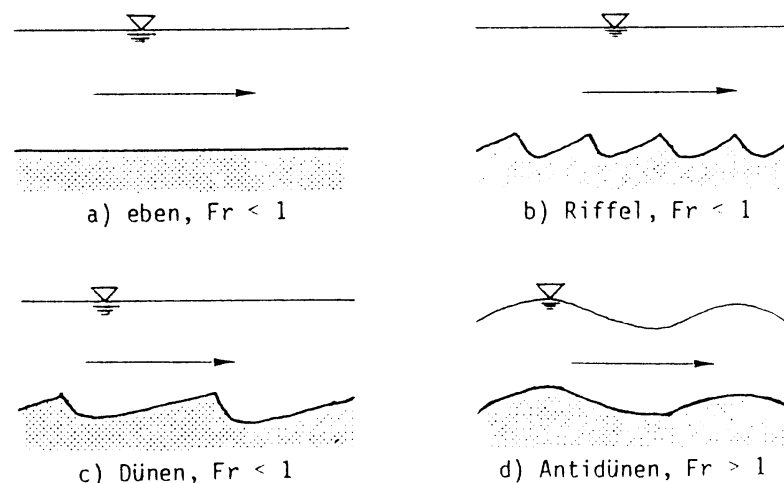


Abb. 5.2: Formen von Transportkörpern [DVWK, 1988]

5.3.2 Geschiebe- und Schwebstoffmessungen

Geschiebemessungen werden von der Bundesanstalt für Gewässerkunde in Zusammenarbeit mit der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung in unregelmäßiger Abfolge (Hydrologie, Verfügbarkeit des Meßschiffes) über die gesamte Fließstrecke der deutschen Elbe durchgeführt, wobei bisher verstärkt in den Schwerpunktbereichen Erosionsstrecke, Stadtstrecke Magdeburg und Reststrecke gemessen wurde. Zur Erfassung der suspendierten Feststoffe werden an der gesamten deutschen Elbe in einem durch die Wasser- und Schifffahrtsverwaltung betriebenen Meßnetz an insgesamt 11 Dauermeßstellen werktäglich Messungen der Schwebstoffkonzentration durchgeführt. Darüber hinaus werden von der Bundesanstalt für Gewässerkunde an über 20 Meßprofilen in der Elbe systematisch Schwebstoffmessungen als Vollprofilmessungen durchgeführt, bei denen analog dem Vorgehen der konventionellen Abflußmessung an mehreren Lotrechten im Profil jeweils in verschiedenen Tiefenstufen Schwebstoffgehalt und Fließgeschwindigkeit ermittelt und über die Multiplikation der beiden Größen der Schwebstofftransport bestimmt wird. Diese Vielpunktmessungen werden bei unterschiedlichsten Abflußsituationen wiederholt und dienen u.a. der Ermittlung von Faktoren, mit Hilfe derer die Aussagefähigkeit der Einzelmessungen im Hinblick auf das Gesamtprofil gewährleistet

wird. Darüber hinaus erlauben diese Vollprofilmessungen eine Differenzierung zwischen den Anteilen an Feinschwebstoff ($d < 63 \mu\text{m}$) und suspendiertem Sand ($d > 63 \mu\text{m}$).
[Schmidt u. Dröge, 1999]

Eine genaue Auflistung der Meßstellen und der Anzahl der vorliegenden Messungen sind dem Bericht des Teilprojektes TPI.6 „Hydrologisches Feststoffbilanzmodell“ zu entnehmen.

Die Auswertung der Daten an den verschiedenen Meßpunkten zeigte auch bei vergleichbaren Abflüssen eine hohe Streuung in ihrer Fracht und auch in der Zusammensetzung des transportierten Materials. Darüber hinaus liegen - wie bereits oben beschrieben - die Untersuchungsschwerpunkte in den bekannten Problemstrecken der Elbe. Die im Verbundprojekt untersuchten Elbe-Abschnitte mit den Meßstellen Aken, Niegripp und Tangermünde sind in ihrer Häufigkeit nicht vorrangig untersucht worden und weisen zudem starke Meßlücken im Bereich des Hochwasserabflusses auf. Die vorhandenen Geschiebe- und Schwebstoffdaten können zur Abschätzung von sedimentologischen Parametern herangezogen werden; für die Erstellung von Feststofftransportmodellen mit höherer Genauigkeit müßte die Häufigkeit der Messungen erhöht und das gesamte Abflußspektrum besser erfaßt werden.

Die Einteilung der Korngrößenklassen der BfG-Messungen erfolgen nach der DIN 4022 von Ton ($< 0,022 \text{ mm}$) bis zu Steinen ($> 63 \text{ mm}$). Für die sedimentologischen Berechnungen mit dem Programm HEC-6 müssen diese Verteilungen in das Korngrößenklassensystem der American Geophysical Union (AGU) von Lehm (0,002-0,004 mm) bis sehr groben Kies (32,000-64,000 mm) umgerechnet werden. In Anlage I sind die Einteilungen der Korngrößenklassen nach DIN 4022 und AGU gegenübergestellt.

6 Bearbeitungsumfang

In die Betrachtung der Elbe bezüglich ihres Abfluß- und Feststoffregimes müssen die Streckenabschnitte, die bereits über Jahre hinweg mit verschiedenster Modelltechnik bei der Bundesanstalt für Wasserbau untersucht werden, einbezogen werden. Dies ist problemlos möglich, da zwischen dem Verbundprojekt und der Bundesanstalt für Wasserbau seit Projektbeginn ein enger und intensiver Daten- und Informationsaustausch herrscht, der auch in Zukunft fortgeführt werden soll.

Die nachfolgende Tabelle zeigt einen Überblick über die im September 1999 vorliegenden eindimensionalen Modelle im Verbundprojekt und bei der Bundesanstalt für Wasserbau. Mit Ausnahme der Stadtstrecke Magdeburg und Wittenberg sind alle Abschnitte mit fester (hydraulisch) und beweglicher (sedimentologisch) Sohle gerechnet worden.

Elbe-km	Bezeichnung des Streckenabschnitts	Bearbeitung
121,0 – 235,6	Erosionsstrecke	BAW
203,0 – 220,0	Wittenberg	Verbundprojekt
271,2 – 288,3	Biosphärenreservat „Mittlere Elbe“	Verbundprojekt
320,36 – 338,0	Stadtstrecke Magdeburg	BAW
344,1 – 374,0	Niegripp	Verbundprojekt
374,0 – 390,0	NSG „Bucher Brack“	Verbundprojekt
388,0 – 408,0	Tangermünde	Verbundprojekt
407,0 – 425,6	Sandau	Verbundprojekt
438,0 – 495,0	Wittenberge	BAW/Verbundprojekt
490,0 – 530,0	Reststrecke	BAW

Tab. 6.1: Bearbeitungsumfang der eindimensionalen Modelle (September 1999)

Im folgenden sollen die oben nicht benannten Elbe-Abschnitte in der nächsten Tabelle näher betrachtet und dann im Anschluß daran Gründe aufgezeigt werden, warum bisher keine Bearbeitung stattgefunden hat.

Die Erhebung und Aufbereitung der wesentlichen Grundlagendaten des Flußschlauches der Elbe und deren Vorländer erwies sich als zeit- und arbeitsintensiver als bei der Antragstellung angenommen. Die Ursache ist im Fehlen digitaler topographischer Informationen in weiten Streckenabschnitten entlang der Elbe bei den zuständigen Stellen (z.B. Landesbehörden) zu sehen. Diese Datenlücken mußten in der Projektlaufzeit mit großem Aufwand aus dem vorhandenen Kartenmaterial auch im Hinblick auf die Erstellung der Digitalen Geländemodelle für die Elbe geschlossen werden. Die Arbeiten zur Aufbereitung grundlegender Geometriedaten für die Elbe ist auch zum heutigen Zeitpunkt noch nicht abgeschlossen.

Elbe-km	Vorliegende Daten		Durchführbarkeit hydrnumerischer Berechnungen	Anmerkungen
	Flußschlauch	Vorland		
0-121	keine durchgängige, aktuelle Flußpeilung	topographische Informationen fehlen	nur mit großem Aufwand möglich	
235-271	keine durchgängige, aktuelle Flußpeilung	Geländemodell km 260-271 vorhanden, km 235-260 digitalisiert	bedingt möglich	Annahme eines Einfachgerinnes als "Flußschlauch"
290-340	aktuelle Flußpeilung aufbereitet	topographische Informationen fehlen	km 300-330 wenig sinnvoll	Umflutkanal über Pretziener Wehr und Stromspaltung Magdeburg
			km 290-300 und km 330-340 möglich	
536-586	aktuelle Flußpeilung aufbereitet	topographische Informationen fehlen	möglich	Ausgrenzung des Staubereiches des Geesthachter Wehres

Tab. 6.2: in der Projektlaufzeit nicht bearbeitete Streckenabschnitte

Für die rund 120 km Fließstrecke von der tschechisch-deutschen Grenze bis hinunter nach Mühlberg (Beginn der Erosionsstrecke) ist in nächster Zeit keine ausreichende Verbesserung der Datenlage zu erwarten. Bei näherer Betrachtung und Charakterisierung dieses Streckenabschnittes ist festzuhalten, daß die Elbe durch das Sandsteingebirge in ihrer Ausuferung stark eingeschränkt ist und hier somit bei Hochwasser keine größeren Retentionsflächen vorhanden sind bzw. potentiell zur Verfügung stehen. Ergänzend dazu ist die Sohle in diesem Elbeabschnitt sehr grobkörnig bzw. teilweise abgeplastert, so daß nur ein geringer Feststoffeintrag in die Erosionsstrecke erfolgt. Aus morphologischer Sicht ist daher diese Strecke bis Mühlberg nicht von vorrangigem Interesse.

Durch das Fehlen einer durchgängigen aktuellen Flußpeilung zwischen km 235 und km 271 ist hier noch kein Berechnungsmodell erstellt worden. Es ist jedoch theoretisch möglich, ein Einfachmodell mit einer stark vereinfachten Flußgeometrie aufzubauen, die sich an den ober- bzw. unterstromig angrenzenden Abschnitten orientiert. Für Belange im Mittel- und Niedrigwasserbereich wäre ein solches Einfachmodell nicht einsetzbar, aber für die Darstellung von Längsschnitten im Bereich über bordvollem Abfluß ist es unter Berücksichtigung der vereinfachten Modellgeometrie zur Abschätzung von hydraulischen Parametern heranzuziehen.

Die Erstellung eines hydrnumerischen Modells von km 300-330 ist für den Gesamtüberblick der Elbe zu aufwendig, da im Hochwasserbereich keine gesicherten Aussagen getroffen werden können. Dies liegt neben der Stromteilung in der Stadt Magdeburg am Umflutkanal um Magdeburg, der durch das Pretziener Wehr gesteuert wird. Die Pegelstände und auch die

Daten, wann das Umflutwehr gezogen wurde, sind für eine numerische Modellierung nicht hinreichend genau dokumentiert.

Im Anschluß an die „Reststrecke“ ab Elbe-km 536 ist der Aufbau eines hydronumerischen Modells durch eine gesicherte Kartengrundlage generell möglich. Aus Zeitgründen konnte dieser Streckenabschnitt jedoch in der Projektlaufzeit noch nicht bearbeitet werden. In einer möglichen Verlängerung des Projektes (beantragt im August 1999) hat dieser Abschnitt in seiner Bearbeitung eine hohe Priorität, da von seiten der Bundesanstalt für Gewässerkunde eine Anfrage bezüglich dieser Geometrie für ein Transportmodell (Tracerversuch) vorliegt.

7 Berechnungsstrecke Wittenberg

7.1 Beschreibung des Untersuchungsgebietes

Der hier untersuchte Elbe-Abschnitt liegt in der sogenannten Erosionsstrecke der Elbe, die sich von km 121 bei Mühlberg bis hinunter nach km 235 bei Coswig erstreckt (Anlage II-1). Die Bundesanstalt für Wasserbau hat in der Erosionsstrecke in den vergangenen Jahren mehrere Elbe-Abschnitte separat mit 1D-Modellen unter verschiedenen wasserbaulichen Fragestellungen untersucht. In der ersten Jahreshälfte 1999 wurde bei der Bundesanstalt für Wasserbau ein Gesamtmodell der Erosionsstrecke von km 121-235 mit beweglicher Sohle aufgebaut. In diesem Zusammenhang wurden vom Verbundprojekt ergänzende Arbeiten von km 203,0 bis km 220,0 zum Aufbau des hydronumerischen Modells durchgeführt. Es wurden die grundlegenden Geometrien aufgenommen und ein 1D-Modell mit fester Sohle aufgebaut. Auf die Erstellung eines sedimentologischen Transportmodells konnte im Hinblick auf das Gesamtmodell bei der Bundesanstalt für Wasserbau verzichtet werden.

Die Besonderheit in diesem Untersuchungsgebiet ist die Straßen- und Eisenbahnbrücke bei Wittenberg (km 214,1), die bei der Modellerstellung berücksichtigt wurde. Am Brückenprofil Wittenberg liegt außerdem einer der neun Hauptpegel (Abfluß- und Wasserstandsmessungen) der Elbe.

7.2 Hydraulisches Modell

7.2.1 Datengrundlage

Geometrie

Die Grundlage dieses Elbe-Abschnitts war eine Querprofilpeilung des WSA Dresden im Abstand von 100 m in Fließrichtung von Dezember 1995. Die Peilung umfaßte den Bereich der Sohle über die Böschung bis ca. 50-100 m in das Vorland. In unregelmäßigen Abständen wurden die Profile bis hin zu den Hochwasserdeichen aufgenommen.

Die Hektometersteine, die die Querprofile in ihrer räumlichen Lage festlegen, sind auf die gerechnete Flußachse bezogen (jeweils 100 m links und rechts der Achse).

Für die Buhnen lag eine Peilung des WSA Dresden von Februar 1996 vor. Die Flußpeilung und die Buhneninformationen passen in diesem Streckenabschnitt der Elbe sehr gut überein und spiegeln die aktuelle Geometrie des Flußschlauches wider.

Hydrologie

Wasserspiegelfixierungen des WSA Dresden lagen für diesen Streckenabschnitt bis zu einem MHQ (bezogen auf den Abflußpegel Wittenberg) vor. Nachstehende Tabelle zeigt den Überblick über die für diesen Elbe-Abschnitt aufgenommenen Fixierungen unter Angabe der Wasserstände und Abflüsse am Pegel Wittenberg (Elbe-km 214,1). Die historische Fixierung von 1896 ist hier gesondert zu betrachten; eine Eichung anhand dieses Wasserspiegels kann aufgrund flußbaulicher und morphologischer Veränderungen nicht durchgeführt werden.

Datum	Wasserstand [m+NN]	Abfluß [m³/s]
07.10.1993	63,91	142
15.10.1996	64,42	199
24.10.1995	64,49	208
21.11.1994	64,50	210
09.05.1994	65,38	336
10.05.1989	65,49	354
31.01.1995	67,65	1211
1896	~ 76,03 (a.P. Torgau)	~ 3000 (a.P. Torgau)

Tab. 7.1: Wasserspiegelfixierungen

7.2.2 Datenaufbereitung

Geometrie

Die fehlenden Geländestrukturen des Vorlandes wurden an der Universität-GH Paderborn, Abteilung Höxter aus Topographischen Karten im Maßstab 1:10.000 (TK10) des Landesvermessungsamtes Sachsen-Anhalt aufgenommen. Die Aufnahme erfolgte querprofilorientiert im Anschluß an die gepeilten Flußprofile. Berücksichtigt werden muß, daß in engen Krümmungen die Profile unter hydraulischen Gesichtspunkten senkrecht zur Strömungsrichtung auf dem Vorland abgeknickt wurden.

Elbe-km	abgeknickte Profile
205,0-207,4	linkes Vorland
206,7-208,4	rechtes Vorland
210,9-213,8	linkes Vorland
216,1-216,8	linkes Vorland
217,5-219,1	rechtes Vorland
218,7-220,0	linkes Vorland

Tab. 7.2: abgeknickte Querprofile

Das Abknicken der Profile erfolgte unter Berücksichtigung der Ablöseregel (10° an Strömungshindernissen). Die oben angeführte Tabelle zeigt einen Überblick über die im Vorland abgeknickten Profile. Der Knickpunkt liegt bis auf den Abschnitt km 205,0-207,4 (an den Hektometersteinen abgeknickt) strömungsbedingt im Vorland und ist auf Lageplänen (Transparentpapier) festgehalten.

In die Querprofile wurden mit Hilfe des Programmes PROFIL die Lage der Buhnen als Buhnenschatten eingebaut. Die Kontrolle erfolgte mit Hilfe ausgedruckter Lagepläne der gepeilten Buhnen und Luftbildern einer MNW-Befliegung der WSD Ost im August 1992.

Als weiterer Schritt zur hydraulischen Aufbereitung der Vorländer wurden Gräben und Seen im Vorland etwa 0,5-1,0 m unter Geländeoberkante abgeschnitten und als nicht durchströmte Flächen betrachtet. Ebenfalls wurden unwirksame Abflußflächen, z.B. Strömungsschatten hinter Leitdeichen, aus der Geometrie entfernt.

Für das hydronumerische Modell wurden die Uferpunkte, die das Querprofil in den Flußschlauch und die Vorländer gliedern, in diesem Elbe-Abschnitt auf Lage und Höhe der Böschungskante gelegt.

Die Fließlängen wurden als Verbindungslinien der Massenschwerpunkte unter einem gerechneten Hochwasser (WSP vom 31.01.95 + 1m) getrennt nach Flußschlauch sowie linkem und rechtem Vorland mit dem Programm PROFIL ermittelt. In Abschnitten mit abgeknickten Profilen im Vorland wurden die Fließlängen in den Lageplänen ausgemessen.

Bei Elbe-km 214,1 erstreckt sich eine Brückenkonstruktion als Damm über das gesamte Vorland mit jeweils 3 Flutbrücken für Eisenbahn und Straße. Eine Skizze der Brücke mit den Flutbrücken ist in Anlage II-1 enthalten. Das Programm HEC-2 bietet die Möglichkeit, Brücken als gesonderte Profile mit veränderten Kontraktions- und Expansionsbeiwerten zu berücksichtigen. Für die Berechnungen mit fester Sohle wurde daher vor der Brücke ein Zwischenprofil bei Elbe-km 214,05 und danach ein Querprofil bei Elbe-km 214,13 eingefügt.

Hydrologie

Die Wasserspiegelfixierungen wurden in unregelmäßigen Abständen von 400 m bis 600 m aufgenommen. Eine Ausnahme bildet das Hochwasser von 1896. Damals wurden die Deichpegelmarken im Abstand von mehreren Kilometern abgelesen; davon lag genau ein Meßwert im Untersuchungsgebiet. Außerdem sind zum heutigen Zeitpunkt durch Flußbaumaßnahmen und Verlegung von Deichverläufen Änderungen im Abflußregime eingetreten, die die damaligen Verhältnisse nicht mehr widerspiegeln. Eine Eichung des hydronumerischen Modells mit diesem Hochwasserereignis ist daher nicht möglich.

Für den Niedrigwasserabfluß lag für das Untersuchungsgebiet keine durchgängige Aufnahme vor, die Fixierung vom 07.10.1993 endet bei km 210,0. Zur Verlängerung dieses Wasserstan-

des wurde deshalb bis zum unteren Modellrand das Gefälle der Fixierung vom 15.10.1996 ($Q=199 \text{ m}^3/\text{s}$) auf die Fixierung vom 07.10.1993 übertragen.

Mit Hilfe des Programmes PROFIL wurde mit einer spline-Funktion eine geglättete stetige Kurve durch die gemessenen Wasserspiegellagen gelegt; so entstand für jedes Querprofil ein interpolierter Wasserspiegel. Für die Eichung des Modells wurden die Wasserspiegelfixierungen vom 07.10.1993/15.10.1996, 09.05.1994 und 31.01.1995 herangezogen, da diese das derzeitige Abflußspektrum am besten repräsentieren.

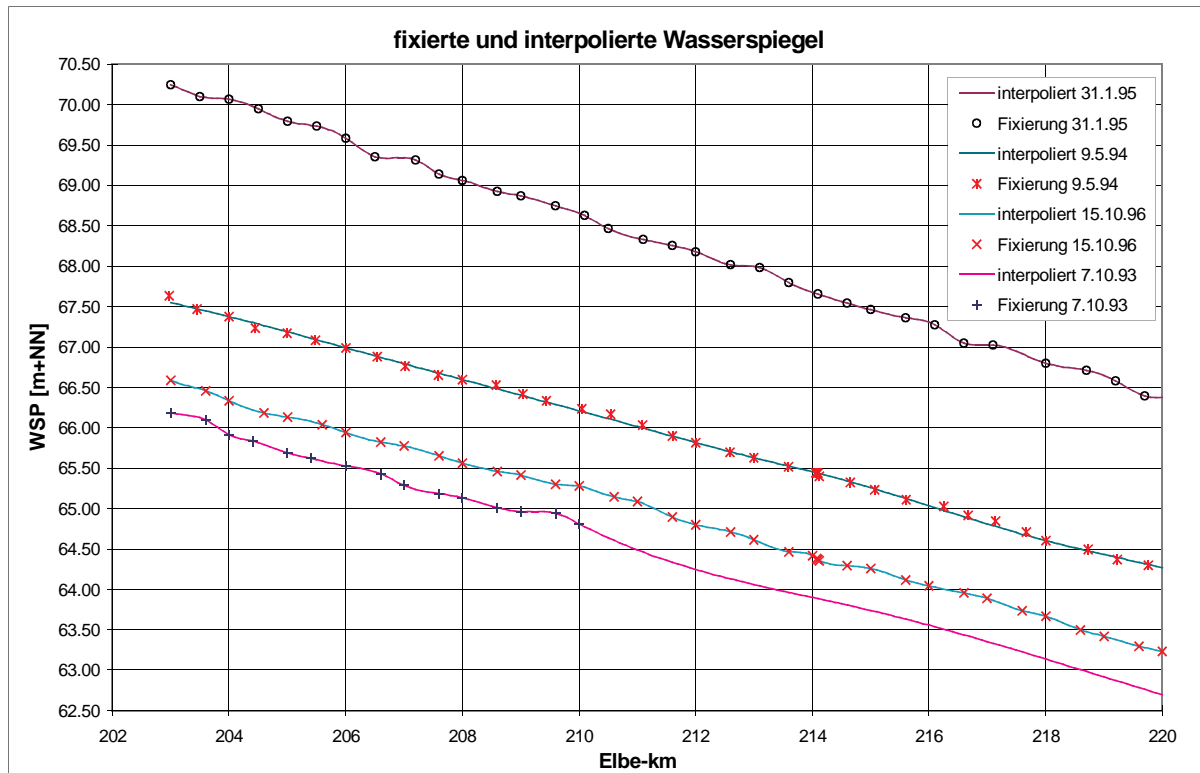


Abb. 7.1: Vergleich fixierter und interpolierter Wasserspiegel

Zum Zeitpunkt der Untersuchung dieses Elbe-Abschnitts war noch keine Zeitreihenanalyse des Pegels Wittenberg von TPI.4 „Hydrologische Analyse und Datenmanagement“ vorgenommen worden. Die Abflußkurve für den Pegel Wittenberg wurde aus den Wasserspiegelfixierungen und weiteren Pegelwerten (insbesondere Hochwasser) angefertigt. In Anlehnung an die Pegelkurve Wittenberg und den Wasserspiegelfixierungen am Elbe-km 220,0 wurde für den unterstromigen Modellrand eine Wasserstands-Abfluß-Beziehung mittels Regression und Differenzenbildung erstellt.

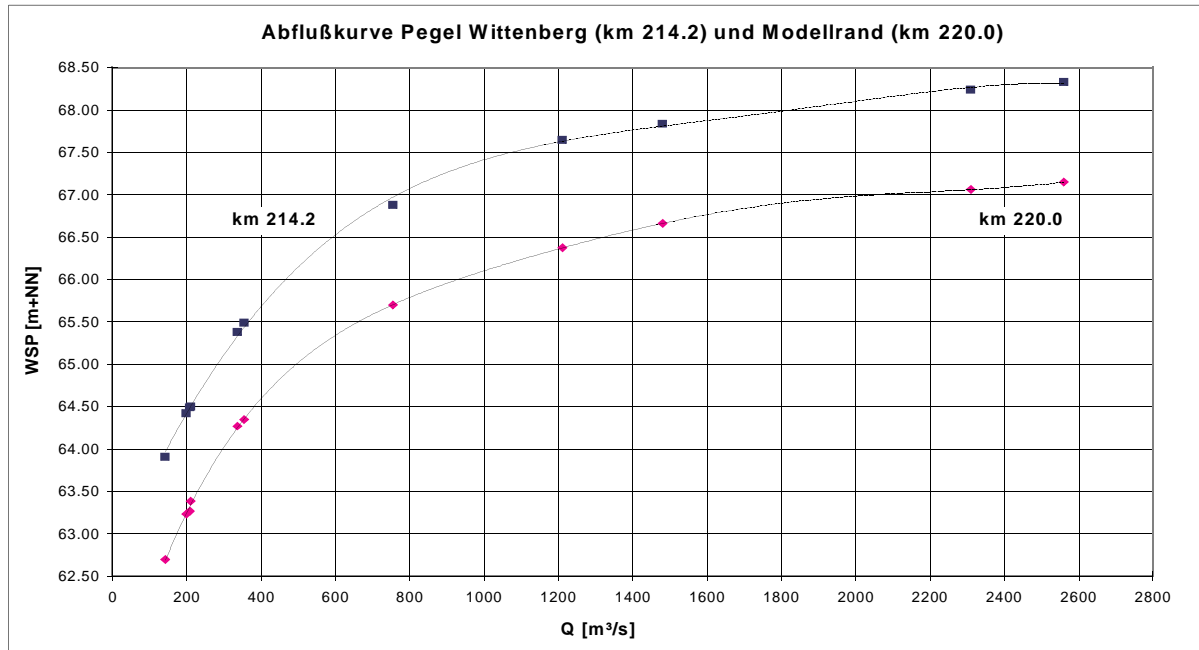


Abb. 7.2: Abflußkurven Pegel Wittenberg und unterstromiger Modellrand

7.2.3 Modelleichung

Die Eichung dieses Streckenabschnittes wurde mit dem Programm BOSS-HEC für AutoCAD durchgeführt. Aufgrund des wenig komfortablen Pre- und Postprocessings erfolgte die Auswertung mit Hilfe eines EXCEL-Makros.

Eichung mittleres Niedrigwasser

Für die Eichung wurde die Fixierung vom 07.10.1993 mit einem Abfluß von 142 m³/s am Pegel Wittenberg herangezogen. Aus der zuvor erstellten Abflußkurve für km 220,0 wurde ein Startwasserspiegel von 62,68 mNN angesetzt.

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

Elbe-km	n [s/m ^{1/3}]	k _{st} [m ^{1/3} /s]
203,0 – 207,8	0,024	41,7
207,9 – 210,6	0,027	37,0
210,7 – 213,1	0,021	47,6
213,2 – 216,1	0,024	41,7
216,2 – 217,6	0,021	47,6
217,7 – 220,0	0,026	38,5

Tab. 7.3: Rauheitsbeiwerte mittleres Niedrigwasser

Die Untersuchungsstrecke ist in ihrem Verlauf gestreckt bis geradlinig, nur am Modellende ist eine Krümmung erkennbar. Die Rauheitsbeiwerte bei der Eichung sind groß und werden nur im Krümmungsbereich ab km 217,7 bedingt durch die höheren Verluste (Sekundärströmung in Krümmungen) hydraulisch kleiner. Die hohen Rauheitsbeiwerte lassen sich ebenfalls dadurch begründen, daß in diesem Elbe-Abschnitt wechselseitig Leitwerke statt Buhnen zur Strömungsführung eingebaut sind.

Die Differenzen zwischen der gemessenen und der mit HEC-2 berechneten Wasserspiegellage liegen zwischen -7 cm und $+6$ cm und damit innerhalb der durch Ungenauigkeiten in der Aufnahme der Wasserspiegel bedingten Toleranzgrenze (10 cm).

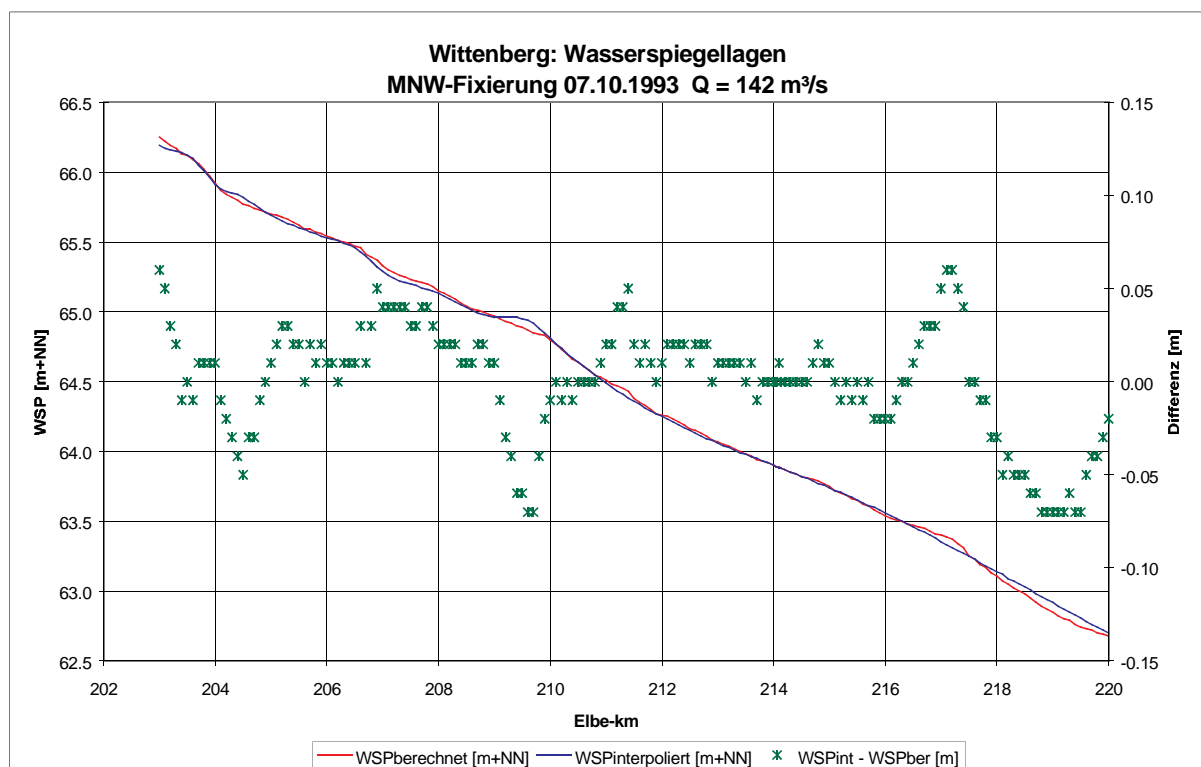


Abb. 7.3: Wasserspiegellagen und -differenzen (mittleres Niedrigwasser)

Die Ergebnisse dieser Eichung (Fließquerschnitt, Geschwindigkeit und Sohlschubspannung) sind graphisch in Anlage II-2 beigelegt. Die Abflußflächen in diesem Elbe-Abschnitt sind durch die meist einseitig angeordneten Leitwerke sehr homogen und betragen rund 150-200 m². Korrespondierend hierzu verhält sich die Fließgeschwindigkeit, die für diesen Abfluß im Mittel bei 0,85 m/s liegt. Nur in engen Querschnitten können Spitzenwerte über 1,0 m/s auftreten. Bei den Sohlschubspannungen trat eine hier relativ große Schwankungsbreite der Werte (2,0 N/m² bis 6,5 N/m²) auf. Dort, wo Spitzen in der Fließgeschwindigkeit auftreten, sind bedingt durch die Verknüpfung über die Energielinie ebenfalls große Werte der Schleppspannung zu finden. Im Vergleich zur kritischen Schubspannung nach DIN 19661 ist bei diesem Abfluß nur eine geringe Bewegung an der Sohle zu erwarten.

Eichung Mittelwasser

Hierzu wurde die Fixierung vom 09.05.1994 mit einem Abfluß von $Q = 336 \text{ m}^3/\text{s}$ und einem Startwasserspiegel von 64,25 mNN aus der unterstromigen Schlüsselkurve benutzt. Nachfolgend sind die Rauheitsbeiwerte der Eichung tabellarisch aufgeführt.

Elbe-km	$n \text{ [s/m}^{1/3}]$	$k_{st} \text{ [m}^{1/3}/\text{s}]$
203,0 – 204,0	0,022	45,5
204,1 – 208,9	0,027	37,0
209,0 – 211,7	0,024	41,7
211,8 – 216,1	0,026	38,5
216,2 – 217,8	0,023	43,5
217,9 – 220,0	0,026	38,5

Tab. 7.4: Rauheitsbeiwerte Mittelwasser

Insgesamt betrachtet sind die Rauheitsbeiwerte für diesen Abfluß hydraulisch rauher als für das mittlere Niedrigwasser. Die Ursache hierfür kann darin liegen, daß bei diesem Wasserstand defekte Bühnenköpfe bereits überströmt werden. Bedingt durch die hierbei auftretenden Turbulenzen und dem kleineren hydraulischen Radius des Querschnittes, nimmt der Strickler-Beiwert ab.

Die Abweichungen zwischen dem fixiertem und dem berechnetem Wasserspiegel bewegen sich mit +6 cm und -5 cm innerhalb der Fehlertoleranz von 10 cm.

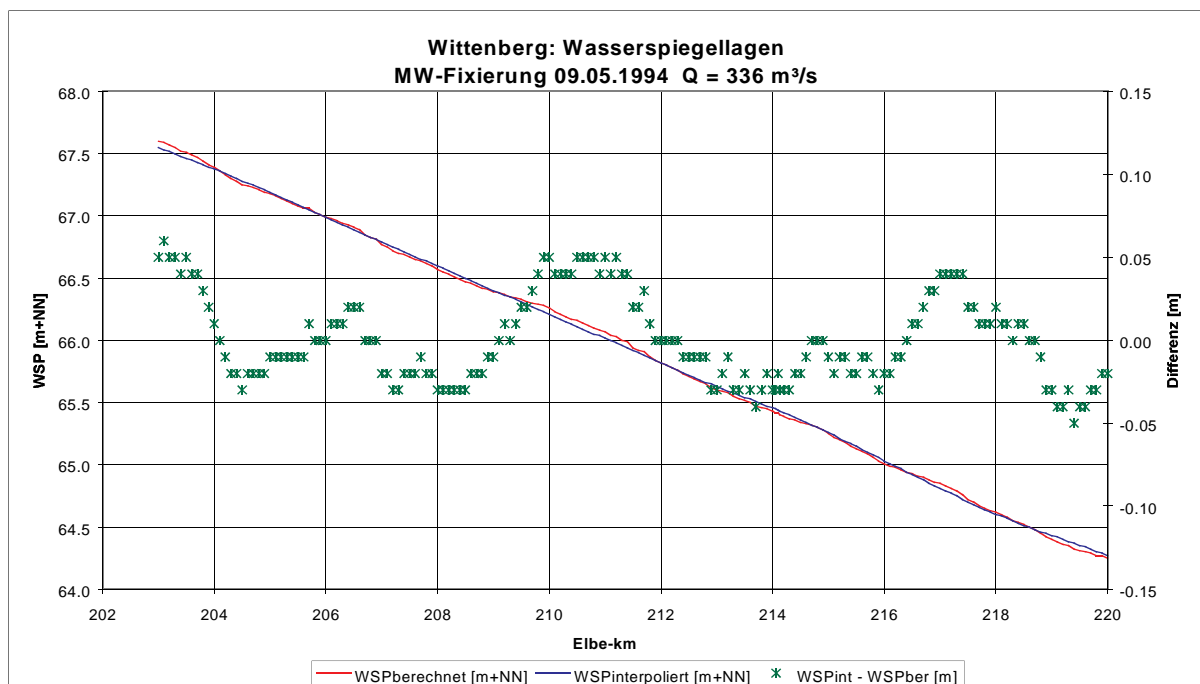


Abb. 7.4: Wasserspiegellagen und -differenzen (Mittelwasser)

Die Ergebnisse dieser Eichung sind als Grafiken in Anlage II-2 enthalten. Bis auf Elbe-km 205,7, hier tritt eine Abflußfläche von knapp 400 m² auf, bewegt sich die Abflußfläche zwischen 300 m² und 350 m². Die Ursache für den Ausreißer könnte dabei in einer fehlerhaft interpretierten Buhne auf der linken Elbeseite liegen. Entsprechend zeigt sich bei diesem Querprofil nur eine Fließgeschwindigkeit von 0,85 m/s, während sonst im Untersuchungsgebiet die Geschwindigkeiten zwischen 1,0 m/s und 1,1 m/s liegen. Bei diesem Abfluß ist bereits mit einem Bewegungsbeginn des Geschiebes zu rechnen. Die Schubspannung liegt für dieses Mittelwasser bei 4,0 N/m² bis 7,0 N/m², gemäß DIN 19661 wird die kritische Schubspannung für Grobsand mit einer Korngröße von 0,63 mm bis 2,0 mm mit 6,0 N/m² angegeben.

Eichung Hochwasser 1

Die Fixierung vom 31.01.1995 mit $Q = 1211 \text{ m}^3/\text{s}$ liegt unter dem MHQ (Jahresreihe 1964-1995) mit $Q = 1360 \text{ m}^3/\text{s}$ des Pegels Wittenberg. Die Startwasserspiegelhöhe für den unterstromigen Modellrand wurde aus der Schlüsselkurve mit 66,37 mNN ermittelt. In Anlage II-2 sind die Ergebnisse dieser Eichung graphisch dargestellt, die verwendeten Rauheitsbeiwerte für den Flußschlauch und die teilweise überströmten Vorländer sind unten aufgeführt. Die unterschiedlichen k_{st} -Werte des linken Vorlandes liegen in der mit flachen Wiesen und inselartigen Waldstücken strukturierten Aue begründet.

Der Abfluß von $1211 \text{ m}^3/\text{s}$ ufert über die gesamte Untersuchungsstrecke von km 203,0-220,0 aus. Der Anteil im Flußschlauch ist dabei um ein vielfaches höher als der Abflußanteil über dem Vorland. Dies zeigt sich auch darin, daß die Rauheitsbeiwerte im Flußschlauch in einer ähnlichen Größenordnung liegen wie bei der Mittelwasser-Eichung.

Elbe-km	Flußschlauch	
	$n \text{ [s/m}^{1/3}]$	$k_{st} \text{ [m}^{1/3}/\text{s}]$
203,0 – 204,9	0,025	40,0
205,0 – 210,0	0,028	35,7
210,1 – 211,7	0,023	43,5
211,8 – 213,4	0,025	40,0
213,5 – 217,0	0,023	43,5
217,1 – 220,0	0,027	37,0

Tab. 7.5: Rauheitsbeiwerte Hochwasser 1 (Flußschlauch)

Elbe-km	Vorland links		Vorland rechts	
	n [s/m ^{1/3}]	k _{st} [m ^{1/3} /s]	n [s/m ^{1/3}]	k _{st} [m ^{1/3} /s]
203,0 – 205,3	0,030	33,3	0,030	33,3
205,4 – 207,8	0,035	28,5		
207,9 – 209,2	0,030	33,3		
209,3 – 213,4	0,035	28,5		
213,5 – 220,0	0,030	33,3	0,030	33,3

Tab. 7.6: Rauheitsbeiwerte Hochwasser 1 (Vorländer)

Die Fixierung zeigt über den gesamten Untersuchungsabschnitt einen stark wellenförmigen Verlauf, der im hydronumerischen Modell nicht exakt nachgefahren werden kann. Es wurde hierbei versucht, den generellen Verlauf der Wasserspiegellage nachzubilden. Es traten bei der Eichung Abweichungen von +9 cm bzw. -10 cm zwischen interpolierter und fixierter Wasserspiegellage auf.

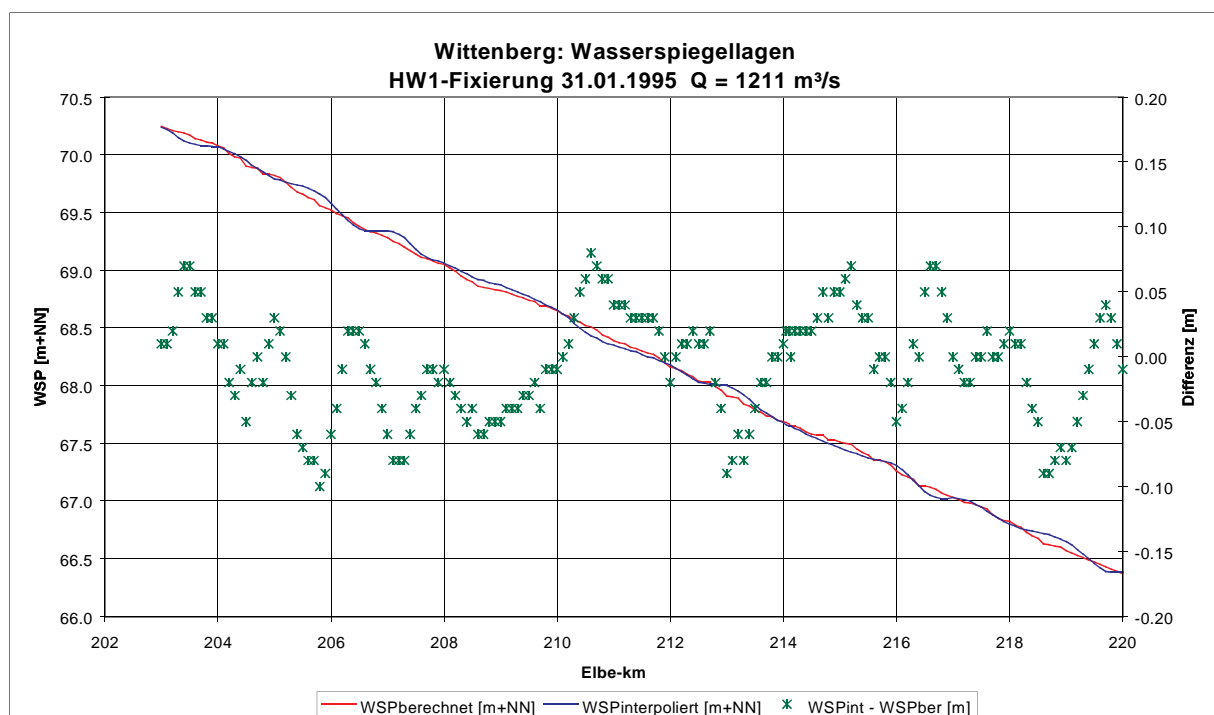


Abb. 7.5: Wasserspiegellagen und -differenzen (Hochwasser 1)

Bei einem Abfluß von 1211 m³/s sind Ausuferungen über die gesamte Bearbeitungsstrecke festzustellen. Auf dem rechten Vorland ist die Deichführung enger an der Elbe gelegen, was sich in den kleineren Abflußflächen widerspiegelt. Auf dem linken Vorland ist eine gleichmäßige Überströmung von Elbe-km 203,0-220,0 zu erkennen. Im Bereich der Stadt Wittenberg ist vor der Straßen- und Eisenbahnbrücke eine Einschnürung erkennbar, die sich durch höhere Fließgeschwindigkeiten bemerkbar macht. Im Flußschlauch liegen die Geschwindigkeiten im Mittel bei 1,4 m/s, während sie im Vorland zwischen 0,2 m/s und 0,7 m/s liegen.

Bei diesem Abfluß ist mit einer stärkeren Umlagerung an der Sohle zu rechnen, da nahezu für die gesamte Untersuchungsstrecke die kritische Schubspannung von $6,0 \text{ N/m}^2$ (Grobsand) überschritten wird.

7.3 Diskussion der Ergebnisse

Das Eichergebnis ist als äußerst zufriedenstellend zu bewerten, es traten keine unerwarteten Ergebnisse auf. Es wäre wünschenswert, auch noch eine Hochwasserfixierung aktuellen Datums zur Verifizierung des gesamten Abflußspektrums zu integrieren. Im Hinblick darauf, daß eine sedimentologische Berechnung dieses Streckenabschnittes nicht stattfand, wurde auf die Ermittlung eines fiktiven Hochwassers verzichtet.

Der Brückenbereich bei Wittenberg konnte ausreichend genau über die Flutmulden unter den Flutbrücken im 1D-Modell nachgebildet werden.

Dieser Streckenabschnitt ist in das Modell der Erosionsstrecke (km 121-235), wie es bei der Bundesanstalt für Wasserbau aufgebaut wurde, eingebettet.

8 Berechnungsstrecke Biosphärenreservat „Mittlere Elbe“

8.1 Beschreibung des Untersuchungsgebietes

Das Biosphärenreservat „Mittlere Elbe“ ist mit einer Fläche von 43.000 ha das größte zusammenhängende Schutzgebiet in Sachsen-Anhalt. Es erstreckt sich entlang der Elbe zwischen Coswig über Dessau, Mulde- und Saalemündung bis hinunter nach Barby. Je nach Naturausstattung ist das Reservat in vier Schutzzonen eingeteilt, die über einen langen Zeitraum eine ungestörte Entwicklung garantieren. Das Biosphärenreservat mit dem größten zusammenhängenden Auwaldkomplex in Mitteleuropa ist Verbreitungsgebiet des vom Aussterben bedrohten Elbebibers.

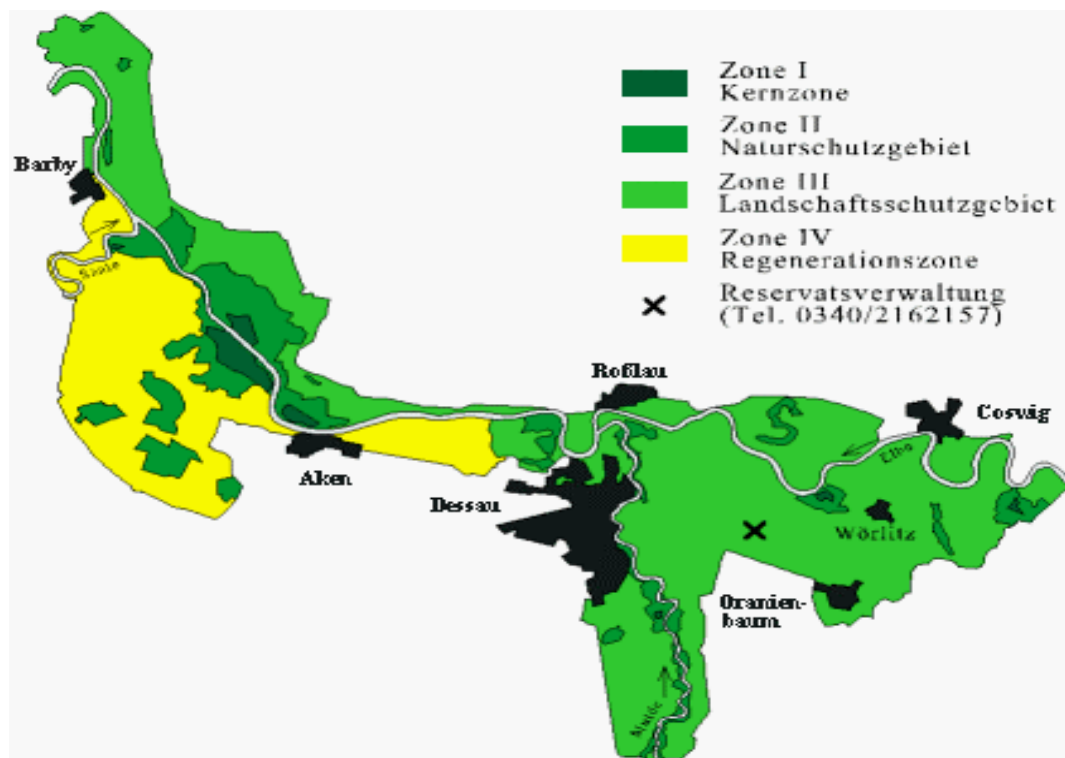


Abb. 8.1: Zonen im Biosphärenreservat

Der untersuchte Streckenabschnitt wurde von Elbe-km 271,2 (zwischen Brambach und Steutz) bis Elbe-km 288,3 (kurz vor der Saalemündung) festgelegt (Anlage III-1). Der Einflußbereich der Saale sollte möglichst nicht miteerfaßt werden, da für die Berechnung eines Zuflusses, obwohl modelltechnisch möglich, keine ausreichende Datenlage vorhanden war. Der oberstromige Modellrand ergab sich aus der Tatsache, daß stromaufwärts keine aktuelle Querprofilpeilung des Flußschlauches vorlag. Im Untersuchungsgebiet bei Elbe-km 274,7 liegt der Pegel Aken, an dem Wasserstands- und Abflußmessungen durchgeführt werden.

8.2 Hydraulisches Modell

8.2.1 Datengrundlage

Geometrie

Die Grundlage dieses Elbe-Abschnitts war eine Querprofilpeilung des WSA Dresden im Abstand von 100 m in der Zeit von Juni bis September 1997. Die Peilung erfaßte den Bereich der Sohle bis zu den Böschungsoberkanten, nur in einzelnen Ausnahmen wurde das Vorland noch 50-100 m miterfaßt. Als Bezugssystem wurden die im Gelände vermarkten Hektometersteine im Abstand von 200 m in Fließrichtung herangezogen.

Für die Bühnen lag eine Peilung des WSA Dresden von Mai 1997 vor. Die Flußpeilung und die Bühneninformationen passen in diesem Streckenabschnitt der Elbe sehr gut überein und spiegeln die aktuelle Geometrie des Flußschlauches wider.

Hydrologie

Nachstehende Tabelle zeigt den Überblick über die für diesen Elbe-Abschnitt aufgenommenen aktuellen Fixierungen des WSA Dresden unter Angabe der Wasserstände und Abflüsse am Pegel Aken (Elbe-km 274,7).

Datum	Wasserstand [m+NN]	Abfluß [m³/s]
07.10.1993	51,26	179
24.10.1995	51,84	272
15.10.1996	51,85	273
21.11.1994	51,93	287
14.08.1987	52,54	404
10.05.1989	52,62	421
09.05.1994	52,72	442
31.01.1995	55,03	1186

Tab. 8.1: Wasserspiegelfixierungen

8.2.2 Datenaufbereitung

Geometrie

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 TK 10 und anschließender

Rasterung (6x6 m) mit dem Programm ARCInfo 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. Aufgrund der Breite der Vorländer und einer Krümmung der Elbe unterhalb von Aken wurden in den Abschnitten Elbe-km 274,6-275,0, km 275,4-276,1 und km 277,1-279,9 die Querprofile auf dem rechten Vorland an den Hektometersteinen abgeknickt. Die Profile wurden derart abgeknickt, daß sie annähernd senkrecht zur Strömungsführung im Vorland lagen (Anlage III-1).

Die Konvertierung der Bühnenpeilung des WSA Dresden zeigte, daß zwischen km 275 und km 277,5 keine Bühnen aufgenommen worden sind, obwohl auf den Luftbildern der MNW-Befliegung von Oktober 1992 in diesem Abschnitt Bühnen deutlich zu erkennen sind. Eine Überprüfung der Abflußflächen bei einem Mittelwasserabfluß zeigte in diesem Abschnitt Querschnittsflächen, die nahezu doppelt so groß waren wie in der angrenzenden Streckenführung. Aus diesen Gründen wird eine fehlerhafte Aufnahme der Bühnen vermutet, die fehlenden Bühnen wurden ergänzt. Sie wurden in ihrer Lage aus den Stromkarten in Bezug zu den Hektometersteinen aufgenommen. Die Höhe wurde mit Hilfe eines mittleren Gefälles der angrenzenden Bühnenkopfhöhen angesetzt. Für die typische Elbe-Bühne wurde die Kopfneigung mit 1:5 und die Rückenneigung mit 1:200 angenommen. Eine Kontrolle der eingepaßten Bühnen erfolgte über die Luftbilder und die Abflußfläche bei Mittelwasser.

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

Die hydraulische Aufbereitung der Vorländer wurde durch das alte und neue Hafenbecken von Aken (km 274,2-274,7 und km 275,8-277,3) bestimmt. Diese Abschnitte wurden als abflußunwirksame Querschnittsfläche betrachtet. Durch das Setzen von „encroachments“ im Programm HEC-2 bzw. HEC-6 wurden diese Flächen vom Abflußgeschehen ausgenommen. Im Bereich von km 279,3 bis km 281,0 befindet sich linksseitig ein Leitdeich dicht an der Elbe. Der Strömungsschatten des Deiches wurde auch von der effektiven Abflußfläche ausgenommen und danach eine Aufweitung der Strömung bis zum Hochwasserdeich nach der 10° -Ablöseregeln angenommen. Ebenso wurde mit einem kleineren Leitdeich auf der rechten Seite des Vorlandes im Abschnitt km 287,2-288,3 verfahren.

Im Abschnitt km 272-278 sind auf der rechten Vorlandseite die Deiche ca. 2 km von der Elbe entfernt. Ein vielfältiges Rinnen- und Muldensystem durchzieht die Aue ebenso wie ein alter, geschlitzter Deich relativ dicht am Elbeufer. Bereits bei leicht ausufernden Abflüssen kann sich das Grabensystem durch Einstau von Unterstrom und Einfließen von Oberstrom füllen.

Diese Verhältnisse sind nur schwer im Modell nachvollziehbar, da nur eindimensionale Strömungsverhältnisse nachgebildet werden können. In den Gräben der Aue steht das Wasser und es fließt nicht bzw. nur sehr langsam. Für die Erstellung des Modells wurden in diesem Bereich die Profile stark verkürzt, um die effektiv durchströmte Abflußfläche besser abschätzen zu können (Anlage III-1).

Die Fließlängen wurden als Verbindungslinien der Massenschwerpunkte unter einem gerechneten Hochwasser (Gefälleverhältnisse in Anlehnung an das Hochwasser von 1896) 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.

Hydrologie

Die Wasserspiegelfixierungen wurden in unregelmäßigen Abständen von 400-600 m aufgenommen. Mit Hilfe des Programmes PROFIL wurde über eine spline-Funktion eine geglättete stetige Kurve durch die gemessenen Wasserspiegellagen gelegt, so daß für jedes Querprofil ein interpolierter Wasserspiegel zugeordnet werden konnte. Für die Eichung des Modells wurden die Wasserspiegelfixierungen vom 07.10.1993, 10.05.1989 und 31.01.1995 herangezogen, da diese das derzeitige Abflußspektrum am besten repräsentieren. Für den Hochwasserbereich wurde ein fiktiver Abfluß mit $Q = 3200 \text{ m}^3/\text{s}$ in Anlehnung an das Hochwasser von 1896 angenommen.

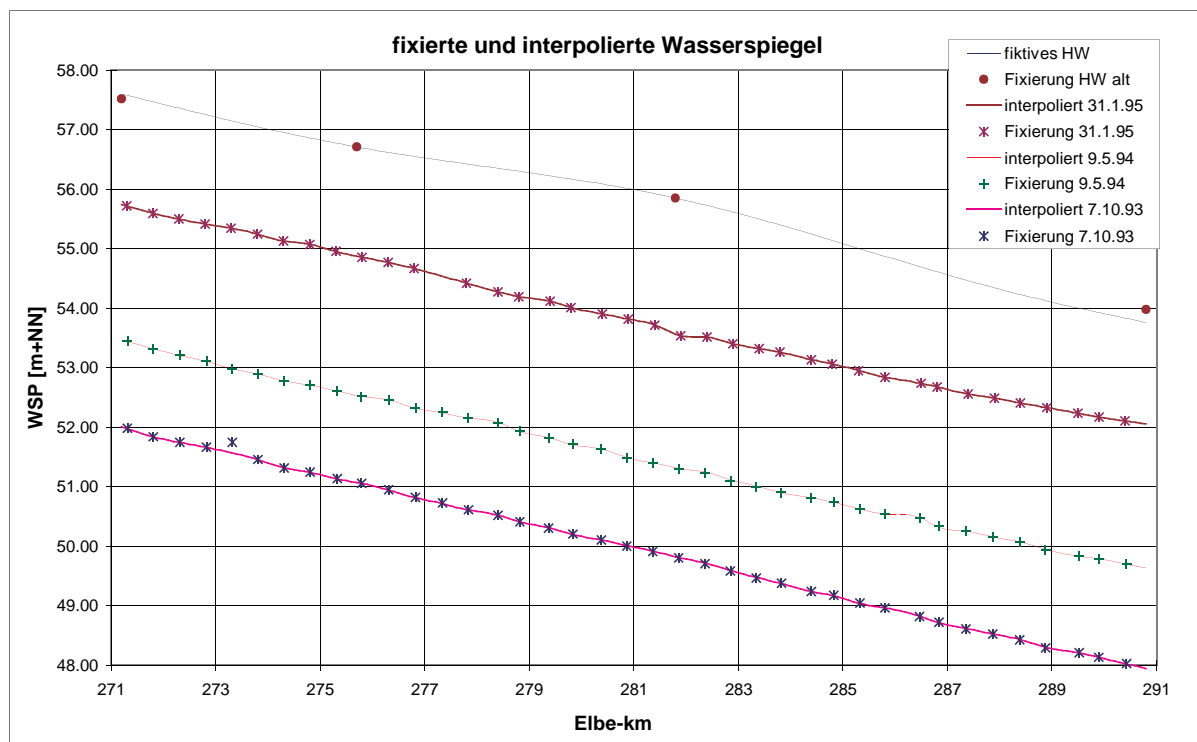


Abb. 8.2: Vergleich fixierter und interpolierter Wasserspiegel

Zum Zeitpunkt der Untersuchung dieses Elbe-Abschnitts lag eine Zeitreihenanalyse des Pegels Aken von TPI.4 „Hydrologische Analyse und Datenmanagement“ vor, so daß hier auf eine aktuell ermittelte Abflußkurve (gültig von Februar 1983 bis Oktober 1996) zurückgegriffen werden konnte. In Anlehnung an die Pegelkurve und die Wasserspiegelfixierungen wurde für den unterstromigen Modellrand (km 288,3) eine Schlüsselkurve aufgestellt.

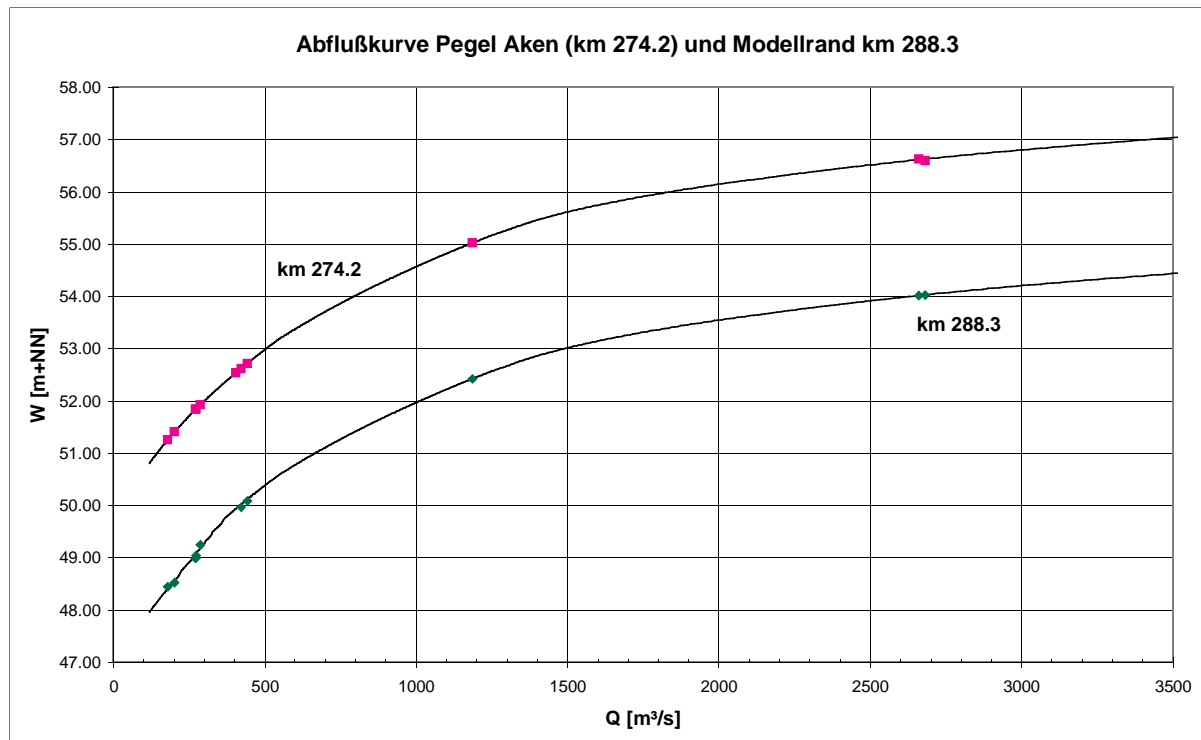


Abb. 8.3: Abflußkurven Pegel Aken und unterstromiger Modellrand

8.2.3 Modelleichung

Die Eichung dieses Streckenabschnittes erfolgte zunächst mit dem Programm BOSS-HEC für AutoCAD. In einer späteren Überarbeitung wurde auf die Kombination HEC/HASE zurückgegriffen, da hier das Pre- und Postprocessing anwenderfreundlicher ist. Die Möglichkeiten der differenzierteren Rauheitsbetrachtung im Vorland und das Setzen von „encroachments“ erleichterten die Datenaufbereitung erheblich. Im folgenden werden nur die Ergebnisse der zweitgenannten Eichung aufgeführt.

Eichung mittleres Niedrigwasser

Für die Eichung wurde die Fixierung vom 07.10.1993 mit einem Abfluß von $Q = 179 \text{ m}^3/\text{s}$ am Pegel Aken herangezogen. Aus der zuvor erstellten Abflußkurve für km 288,3 wurde ein Startwasserspiegel von 48,41 mNN entnommen.

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

Elbe-km	n [s/m ^{1/3}]	k_{st} [m ^{1/3} /s]
271,2 – 272,8	0,023	43,5
272,9 – 277,7	0,028	35,7
277,8 – 280,4	0,026	38,5
280,5 – 288,3	0,028	35,7

Tab. 8.2: Rauheitsbeiwerte mittleres Niedrigwasser

Abgesehen vom Eingangsbereich der Modellstrecke zeigt sich ein durchweg einheitliches Verhalten der Rauheitsbeiwerte. Der „hydraulisch glattere“ Bereich von km 277,8-280,4 enthält eine Krümmung, in der höhere Verluste durch den Einfluß der Sekundärströmung und Umlenkung auftreten sollten. Eine mögliche Begründung für den umgekehrten Fall wie er hier auftritt ist, daß im Krümmungsbereich durch die Kolkbildung an der Außenseite und Anlandungen an der Innenseite der Fließquerschnitt stark eingengt wird und daher der Strickler-Beiwert ansteigt.

Die Differenzen bei dieser Eichung zwischen interpoliertem Wasserspiegel und mit HEC-2 berechneter Wasserspiegellage betragen +4 cm bzw. -5 cm und liegen damit in der Fehlertoleranz von 10 cm. Als Graphik sind hier nur die Differenzen dargestellt, die Lagen der Wasserspiegel sowie die weiteren Ergebnisgrafiken sind in Anlage III-2 beigelegt.

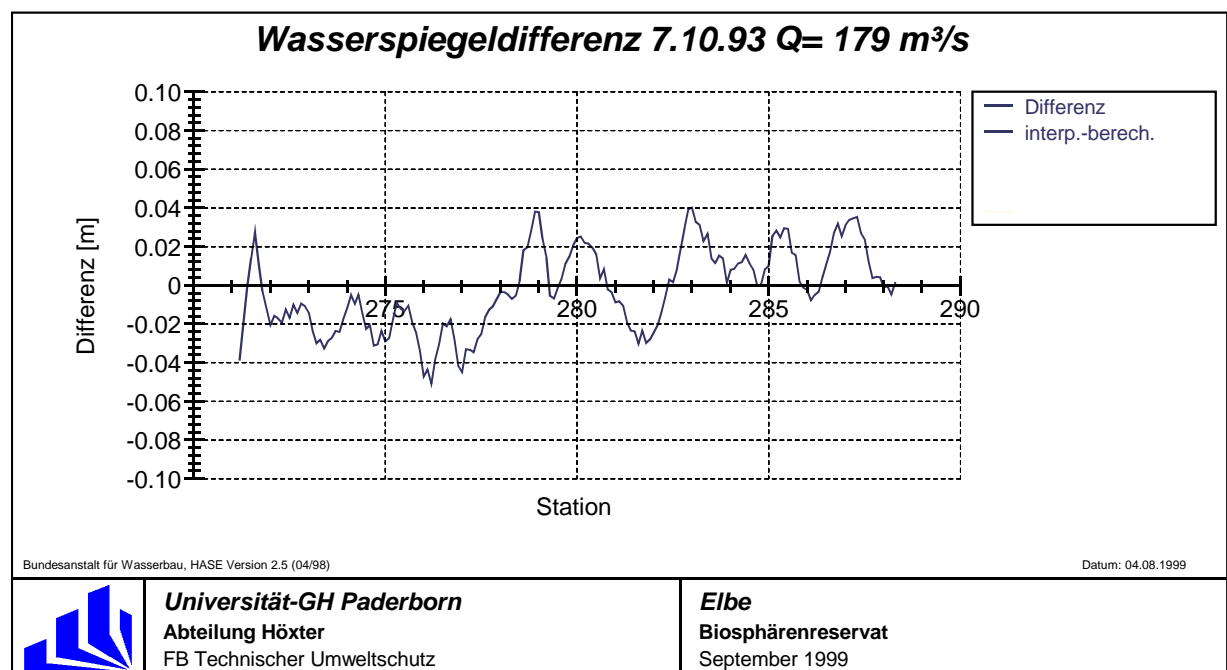


Abb. 8.4: Wasserspiegeldifferenz mittleres Niedrigwasser

Die Querschnittsflächen in diesem Elbe-Abschnitt schwanken bei diesem Abfluß zwischen 200 m² und 280 m². Im Krümmungsbereich bei km 278-279, in dem die Querprofile V-förmig ausgeprägt sind, zeigen sich erwartungsgemäß kleine Abflußflächen. Korrespondierend zur Abflußfläche zeigt sich die Fließgeschwindigkeit; durchschnittlich liegt sie bei 0,75 m/s. Am Anfang des Modells bei km 271,5 ist möglicherweise eine Buhne bei der Peilung nicht korrekt erfaßt worden. Hier zeigt sich aus Querschnittsbetrachtungen bzw. Luftbildauswertungen kein besonderer Anlaß für die hier auftretenden hohen Geschwindigkeiten (1,0 m/s) bzw. die kleine Abflußfläche von 180 m².

Bei den Sohlschubspannungen trat eine natürliche Schwankungsbreite der Werte zwischen 3,0 N/m² und 6,0 N/m² auf. Ein Vergleich mit der kritischen Schubspannung nach DIN 19661 zeigt, daß bei diesem Abfluß mit einer beginnenden Bewegung von Geschiebe im Bereich des Mittelsandes an der Sohle zu rechnen ist.

Eichung Mittelwasser

Hierzu wurde die Fixierung vom 09.05.1994 mit einem Abfluß von $Q = 442 \text{ m}^3/\text{s}$ und einem Startwasserspiegel von 50,12 mNN aus der unterstromigen Schlüsselkurve benutzt.

Für diesen Streckenabschnitt reichte ein einziger Strickler-Beiwert für die gesamte Strecke aus, um zufriedenstellende Eichergebnisse zu erzielen. Für den Flußschlauch wurde mit einem Wert von $0,030 \text{ s/m}^{1/3}$ ($33,3 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$) gerechnet. Für das Vorland, das heißt in diesem Fall die an einigen Stellen gerade überströmten Bühnenköpfe, wurde ein Strickler-Wert von $10,0 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ eingegeben.

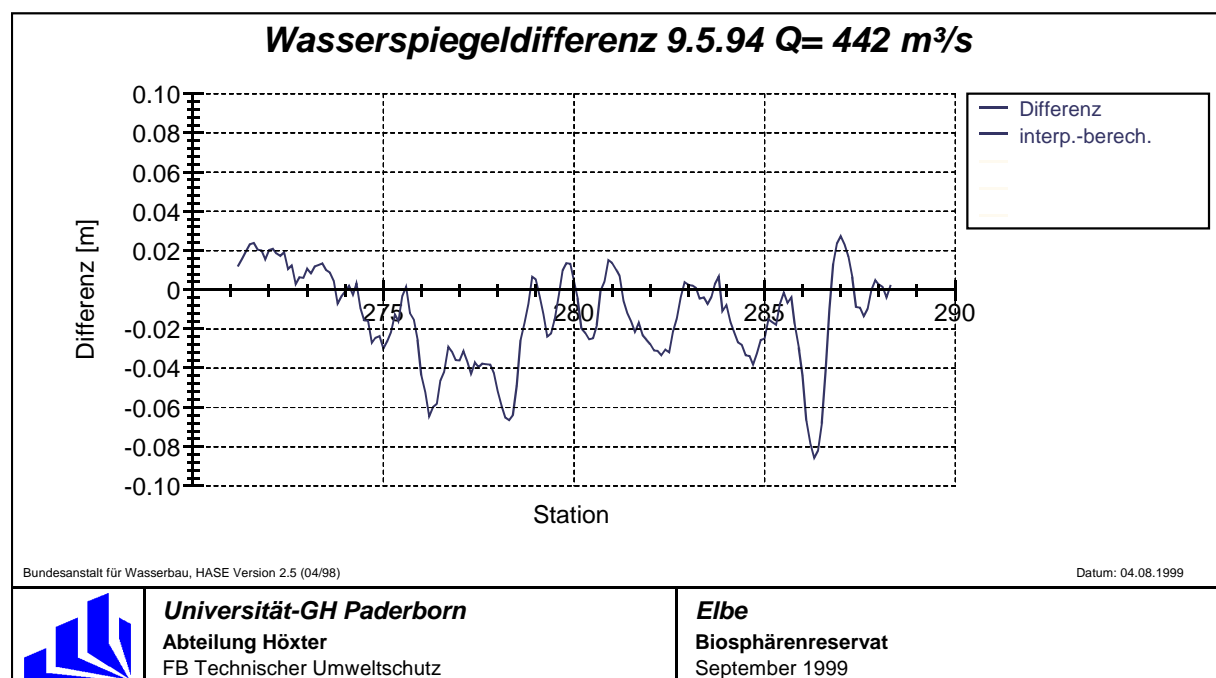


Abb. 8.5: Wasserspiegeldifferenz Mittelwasser

Es zeigt sich ein hydraulisch relativ rauher Flußschlauch, der nicht allein durch das Strömungsverhalten erklärt werden kann. Möglicherweise ist der Einfluß der Buhnen, der über die wasserstandsabhängige Überströmung der Buhnen mit einem hohen Beiwert belegt ist, überbewertet. Testrechnungen mit kleineren Werten brachten allerdings keine nennenswerte Verringerung des Strickler-Beiwertes im Flußschlauch.

Die Differenzen zwischen fixiertem und berechnetem Wasserspiegel liegen zwischen +2 cm und -9 cm. Auf eine bessere Anpassung im Bereich von km 286-287 wurde hier verzichtet, da die Schwankung in der Wasserspiegelfixierung nicht plausibel erscheint.

Die interpolierten und berechneten Wasserspiegellagen sowie die weiteren Ergebnisse der Eichung (Fließquerschnitt, Geschwindigkeiten und Schubspannung) sind als Grafiken in Anlage III-2 enthalten. Bei diesem Streckenabschnitt ist die Dreigliederung des Querschnitts durch die Uferpunkte definiert, so daß bereits bei diesem Abfluß eine Überströmung des „Vorlandes“ (= Buhnen) zu erkennen ist. Die Abflußfläche über den Buhnenköpfen bzw. Buhnenrücken ist dabei vernachlässigbar klein, was sich auch in den Fließgeschwindigkeiten von maximal 0,2 m/s zeigt. Die effektive Abflußfläche im Flußschlauch beträgt hier im Mittel 450 m² bei Fließgeschwindigkeiten von etwa 1,0 m/s. Die Schubspannungswerte sind in der Strecke gleichmäßiger als beim mittleren Niedrigwasser und liegen zwischen 6,0 N/m² und 8,0 N/m². Bei diesem Abfluß muß mit einem beginnenden Geschiebetransport an der Sohle gerechnet werden, da die kritische Schubspannung für ein Grobsandgemisch von 0,63 mm bis 2,0 mm bei 6,0 N/m² liegt.

Eichung Hochwasser 1

Die Fixierung vom 31.01.1995 mit $Q = 1186 \text{ m}^3/\text{s}$ liegt unter dem MHQ (Jahresreihe 1964-1995) mit $Q = 1528 \text{ m}^3/\text{s}$ des Pegels Aken. Der Startwasserspiegel für den unterstromigen Modellrand wurde aus der Schlüsselkurve mit 52,43 mNN ermittelt. In Anlage III-2 sind die Ergebnisse dieser Eichung graphisch dargestellt, die verwendeten Rauheitsbeiwerte für den Flußschlauch und die teilweise überströmten Vorländer sind unten aufgeführt. Da bei diesem Untersuchungsgebiet mit der rauheitsabhängigen Buhnenfunktion gearbeitet wurde, kann für das Vorland nicht der exakte Strickler-Beiwert angegeben werden. Die Rauheitsbeiwerte für eine ungehinderte Überströmung des Vorlandes sind der Eichung des Hochwassers 2 zu entnehmen. Für diesen gerade ausufernden Abfluß sind die Rauheitsbeiwerte zwischen der gerade überströmten Buhne und dem ungehinderten Vorlandabfluß zu finden.

Elbe-km	Flußschlauch	
	$n \text{ [s/m}^{1/3}]$	$k_{st} \text{ [m}^{1/3}/\text{s}]$
272,1 – 273,5	0,028	35,7
273,6 – 280,0	0,032	31,3
280,1 – 288,3	0,029	34,5

Tab. 8.3: Rauheitsbeiwerte Hochwasser 1 (Flußschlauch)

Bei ausufernden Abflüssen kann die Toleranz der Fehlergrenze im Gegensatz zu kleineren Abflüssen heraufgesetzt werden, da die Ungenauigkeiten in der Datenaufnahme steigen und eine Neigung des Wasserspiegels in Krümmungen nicht ausgeschlossen werden kann. Trotzdem konnte hier die Fehlertoleranz von 10 cm eingehalten werden. Die Abweichungen zwischen interpolierter und mit dem hydronumerischen Modell berechneter Wasserspiegellage betragen maximal +6 cm bzw. -5 cm.

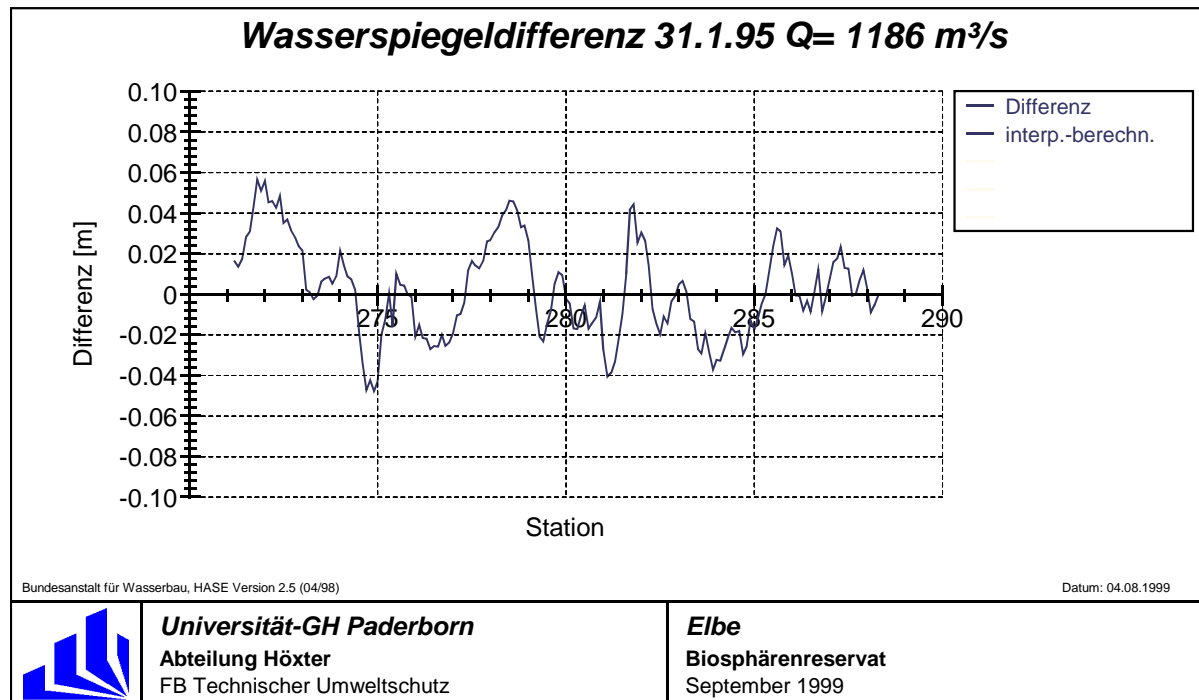


Abb. 8.6: Wasserspiegeldifferenz Hochwasser 1

Bei einem Abfluß von 1186 m³/s sind Ausuferungen über die gesamte Bearbeitungsstrecke festzustellen. Die großen Aueflächen mit dem vielfältigen Rinnen- und Muldensystem von km 275-279 auf dem rechten Vorland stellen sich hier mit Fließquerschnitten von 400 m² bis 500 m² dar. Im Flußschlauch selbst liegt die Abflußfläche bei rund 800 m², so daß hier bereits die Hälfte des Abflusses über das Vorland geführt wird. Im Flußschlauch liegen die Geschwindigkeiten im Mittel bei 1,4 m/s, während sie im Vorland zwischen 0,1 m/s und 0,5 m/s liegen. Bei diesem Abfluß ist mit einer stärkeren Umlagerung an der Sohle zu rechnen, da nahezu für die gesamte Untersuchungsstrecke die kritischen Schubspannungen für Grobsand und ein Kies-Sand-Gemisch überschritten werden (9,0-13,0 N/m²).

Eichung Hochwasser 2

Um auch für den Hochwasserfall Aussagen treffen zu können, wurde hier ein fiktives Hochwasser für die Eichung herangezogen. In Anlehnung an das historische Hochwasser von 1896 und den Gefälleverhältnissen vom 31.01.1995 wurde eine Hochwassersituation mit einem Abfluß von rund 3200 m³/s und einem Startwasserspiegel von 54,31 mNN extrapoliert. Für

den Flußschlauch wurde ein konstanter Rauheitsbeiwert von $0,024 \text{ s/m}^{1/3}$ ($41,7 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$) verwendet. Im vorderen Modellabschnitt (km 271,2-280,0) wurde für die Vorländer mit einem Rauheitsbeiwert von $0,050 \text{ s/m}^{1/3}$ ($20,0 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$) gearbeitet, daran anschließend mit $0,040 \text{ s/m}^{1/3}$ ($25,0 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$). Die niedrigen Strickler-Beiwerte des Vorlandes für dieses Untersuchungsgebiet liegen in der starken Strukturierung der Aue durch Waldbestände und dem starken Bestand an dichtstehenden Büschen begründet.

Die Abweichung zwischen der fiktiv erstellten Wasserspiegellage und der im 1D-Modell berechneten Wasserspiegellage liegen hier noch im Toleranzbereich von mehreren Dezimetern. Es tritt eine Schwankungsbreite von +4 cm und -15 cm auf.

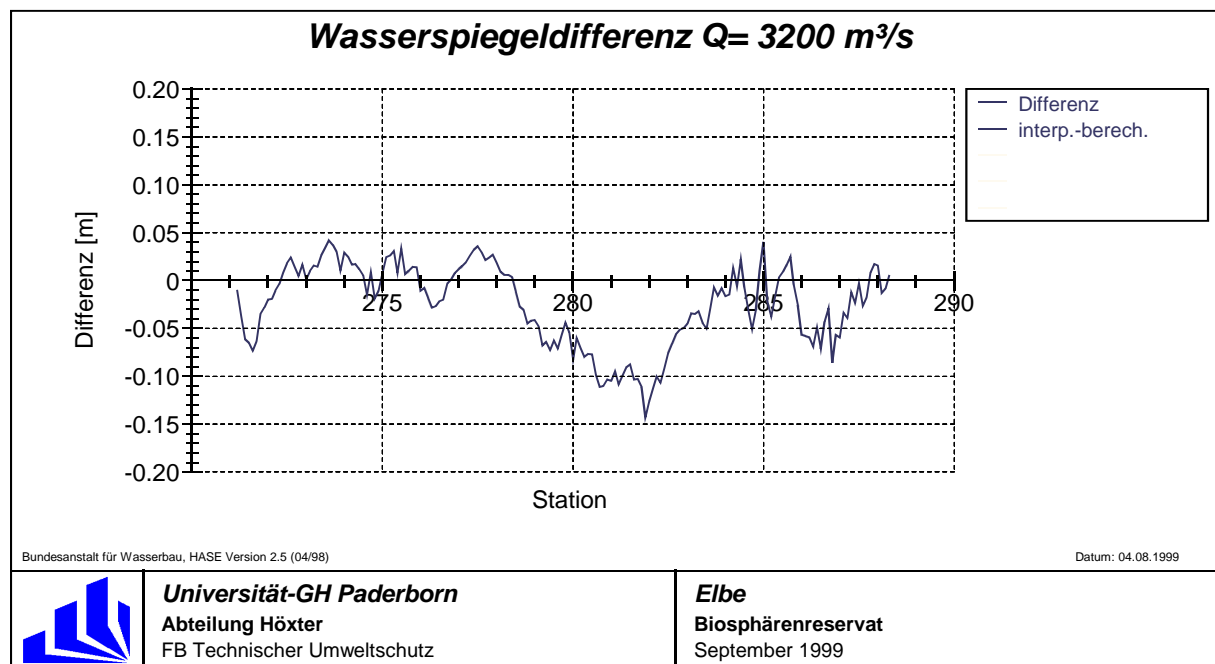


Abb. 8.7: Wasserspiegeldifferenz Hochwasser 2

Das Verhalten der strömungstechnischen Parameter für den Abfluß von $Q= 3200 \text{ m}^3/\text{s}$ sind in Anlage III-2 enthalten. Die Werte dienen hier nur zur Orientierung, liegen aber in Größenordnungen, die in anderen Elbe-Abschnitten bei Hochwasser durchaus auftreten. Daher liegt die Vermutung nahe, daß die Veränderungen in der Geometrie zur Ermittlung der effektiv durchströmten Abflußfläche der Realität sehr nahe kommen. Im Flußschlauch treten dabei Fließgeschwindigkeiten von $1,7 \text{ m/s}$ bis $2,5 \text{ m/s}$ auf, während die Vorländer mit $0,5 \text{ m/s}$ bis $0,8 \text{ m/s}$ durchströmt werden.

Im Abschnitt der größten Ausuferungen (km 276-279) zeigt sich bei der Schubspannung ein verhältnismäßig kleiner Wert von $5,0 \text{ N/m}^2$. Sonst liegen die berechneten Schubspannungen im Vergleich zur kritischen Schubspannung in einer Größenordnung, die auf eine Bewegung der Körner nahezu über die gesamte Sieblinie schließen lassen.

8.3 Sedimentologisches Modell

8.3.1 Datengrundlage

Geometrie

Ausgangsbasis für die Eichung mit beweglicher Sohle ist das geeichte hydronumerische Modell mit fester Sohle, wie es im vorangegangenen Kapitel beschrieben wurde. Die Geometrie und die tiefenabhängigen Rauheitsbeiwerte für den Flußschlauch und die Vorländer wurden direkt übernommen.

Hydrologie

Für die Erstellung der Ganglinie lagen die Tageswerte des Abflusses am Pegel Aken seit 1935 vor. Um den möglicherweise signifikanten Einfluß des Staustufenbaus in Tschechien, der in den 60er Jahren abgeschlossen wurde, auszugrenzen, wurde eine Pegelganglinie für die letzten 31 Jahre gewählt. Es wurden die Tageswerte aus den Jahren 01.11.1964 bis 31.10.1995 zur Aufstellung der Ganglinie für das Modell verwendet.

Die Zeitreihenanalyse von TPI.4 erlaubte eine Aufstellung verschiedener Schlüsselkurven für den unterstromigen Modellrand km 288,3. Korrigierte Schlüsselkurven mit folgenden Gültigkeitsbereichen lagen vor (Anlage III-3):

11/1957 bis 10/1975

11/1975 bis 12/1980

01/1981 bis 10/1981

11/1981 bis 19.01.1983

20.01.1983 bis 10/1996

Sedimentologie

Für den Streckenabschnitt km 271,2-288,3 lag keine Messung der Sohlzusammensetzung vor, so daß hier auf benachbarte Probenahmestellen bei Elbe-km 260,5 und km 290,5 zurückgegriffen werden mußte. Die Sohldaten wurden dem BfG-Bericht „Kornzusammensetzung der Elbesohle von der tschechisch-deutschen Grenze bis zur Staustufe Geesthacht“ [Haunschild et al. 1994] entnommen. Für die beiden Meßstellen lagen jeweils Querschnittsmittelwerte und Einzelbeprobungen links-mitte-rechts vor.

Für den Eintrag der Geschiebe- und Schwebstofffrachten am oberstromigen Modellrand konnte auf eine Meßstelle der Bundesanstalt für Gewässerkunde im Untersuchungsgebiet bei Aken (km 275,0) zurückgegriffen werden. Zum Zeitpunkt des Modellaufbaus standen Geschiebe- und Schwebstoffmessungen aus den Jahren 1994-1998 zur Verfügung. Die Streuung

der vorliegenden Meßwerte bei Elbe-km 275,0 wird durch die tabellarische Darstellung veranschaulicht.

Datum	Abfluß [m³/s]	Fracht [t/d]	geschiebeführende Breite [m]
26.04.94	875	179	143
26.05.94	388	365	126
02.11.94	210	323	126
09.05.95	545	187	137
03.07.95	511	114	133
14.09.95	509	31	133
08.11.95	420	482	119
22.07.96	586	369	128
04.09.96	374	297	124
21.10.96	342	487	147
08.09.97	241	292	135
27.11.97	197	336	130
16.04.98	337	201	113

Tab. 8.4: Geschiebemessungen Aken

Datum	Abfluß [m³/s]	Feinschweb [t/d]	susp. Sand [t/d]	Gesamt [t/d]	Fein [%]	Sand [%]
01.11.94	210	439	78	517	85	15
03.07.95	510	1937	124	2061	94	6
14.09.95	509	819	110	928	88	12
08.11.95	420	26	97	123	21	79
22.07.96	586	2372	208	2580	92	8
04.09.96	374	1020	121	1141	89	11
21.10.96	342	560	100	660	85	15
27.02.97	856	4129	966	5095	81	19
08.09.97	241	614	61	675	91	9
27.11.97	197	119	40	159	75	25
25.06.98	234	360	76	436	83	17

Tab. 8.5: Schwebstoffmessungen Aken

8.3.2 Datenaufbereitung

Geometrie

Das 1D-Modell mit beweglicher Sohle benötigt die Definition der geschiebeführenden Breite im Flußschlauch (auf den Vorländern ist keine Erosion/Ablagerung möglich). Für HEC-6 wird die geschiebeführende Breite zwischen den Bühnenfüßen definiert (Anlage III-3), eine Verlandung der Bühnenfelder kann im 1D-Modell nicht simuliert werden. Um ein ausreichendes Sedimentreservoir zur Verfügung zu stellen, wurde die Tiefe der beweglichen Sohle mit 5 m eingegeben.

Hydrologie

Durch Verschiebung der Schlüsselkurven des Pegels Aken unter Berücksichtigung der Gefälleverhältnisse und historischen Wasserspiegelfixierungen wurden für den unterstromigen Modellrand bei km 288,3 ebenfalls fünf Wasserstands-Abfluß-Beziehungen aufgestellt (Anlage III-3). Bei der Berechnung wurde dann ab dem jeweiligen Datum bzw. Zeitschritt mit der gültigen Abflußkurve gerechnet.

Eine Verwendung der über 10.000 Tagesabflußwerte des Pegels Aken der letzten 31 Jahre als Randbedingung kann mit dem Programm HEC-6 nicht verarbeitet werden. Das Programm HASE enthält ein Modul zur Erzeugung der Ganglinie aus der Pegelreihe. Dabei wird eine Abflußdifferenz eingegeben, um die Schrittweite bei der Zusammenfassung von Tagesmittelwerten festzulegen. Beginnend vom Startwert werden alle Tage, deren Abflußdifferenz kleiner als die vorgegebene ist, aufaddiert und zu einem Zeitschritt zusammengefaßt. Aus den Abflüssen dieser Tage wird das arithmetische Mittel gebildet und als Abflußwert für den Zeitschritt verwendet. Durch die Vorgabe einer Abflußdifferenz von $\Delta Q = 200 \text{ m}^3/\text{s}$ konnte die Zahl der Berechnungszeitschritte auf 605 reduziert werden.

Langanhaltende Abflußperioden können programmintern ohne Ausgabe von Ergebnissen verkürzt werden. Dies ist notwendig, da die hydraulischen Bedingungen nur zu Beginn eines Zeitschrittes berechnet werden. Treten Erosion oder Akkumulation in so großem Umfang auf, daß sich die hydraulischen Bedingungen merklich ändern, so würden die Ergebnisse bei zu langen Zeitschritten verfälscht. Die Dauer eines verkürzten Zeitschrittes wurde bei kleinen Abflüssen auf maximal 10 Tage festgesetzt.

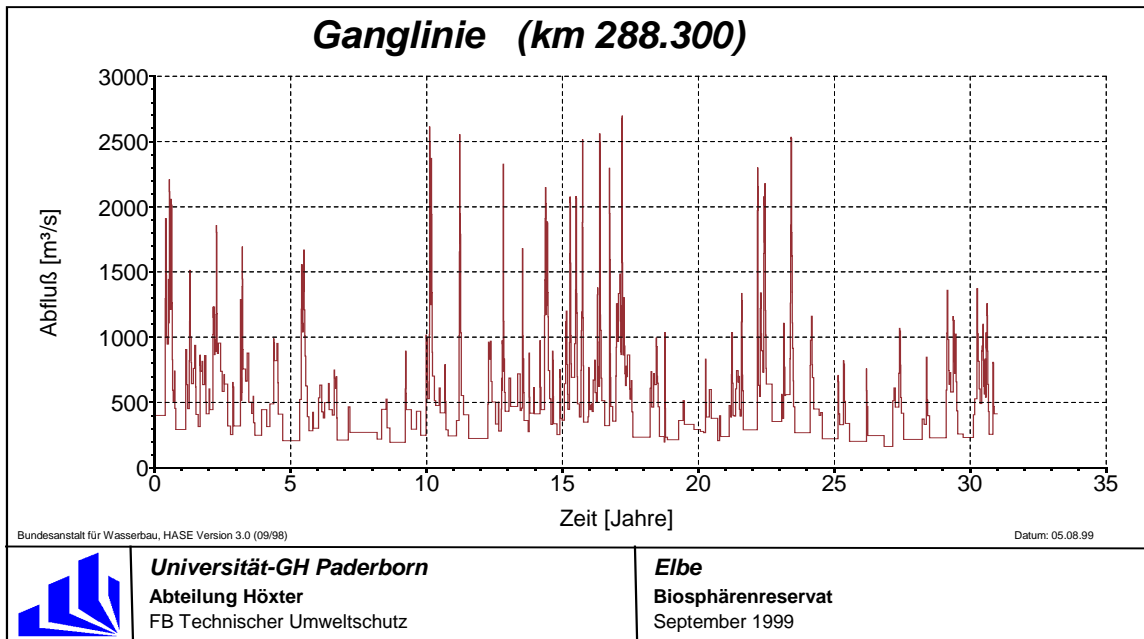


Abb. 8.8: Abflußganglinie Pegel Aken (31 Jahre)

Sedimentologie

Wie bereits oben erwähnt, lag für das Untersuchungsgebiet keine Sohlbeobachtung vor. Aus den beiden angrenzenden Messungen wurde daher ein gewichtetes Querschnittsmittel für Elbe-km 279,7 (Mitte des Untersuchungsgebiets) erstellt, welches das gesamte Untersuchungsgebiet im Modell repräsentierte.

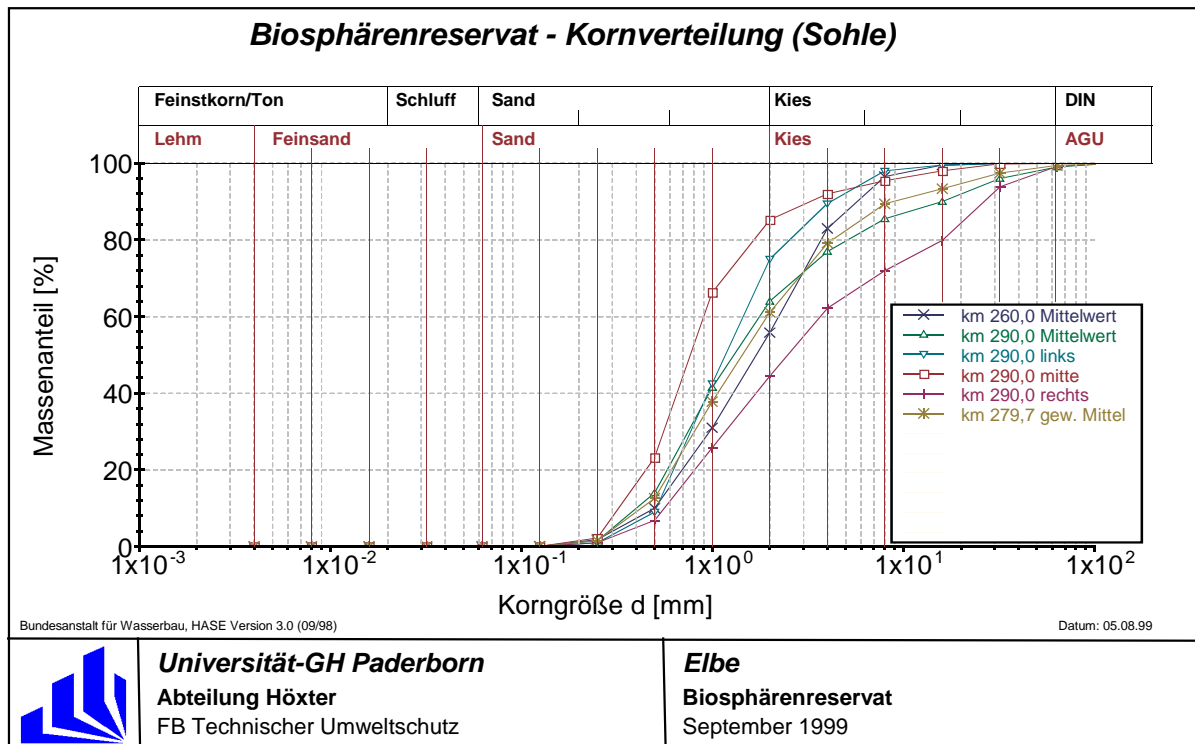


Abb. 8.9: Kornverteilung der Sohle

Die abflußabhängigen Geschiebe- und Schwebstoffmessungen wurden für die Erstellung der oberstromigen Abfluß-Fracht-Beziehung herangezogen. Der höchste gemessene Abfluß der Geschiebemessung lag bei 875 m³/s, für die Schwebstoffmessung bei 677 m³/s. In dem Programm HEC-6 wird allerdings keine Unterteilung in Schweb und Geschiebe vorgenommen, sondern nur ein Wert für die Transportrate in [t/d] und eine zugehörige Kornverteilung angegeben. Für die Erstellung der Abfluß-Transport-Beziehung wurden die Meßwerte gegeneinander aufgetragen und über den gemessenen Bereich hinaus extrapoliert. Die Abfluß-Transport-Beziehung repräsentiert dabei das gesamte Abflußspektrum der diskretisierten Ganglinie von 162 m³/s bis 2700 m³/s (Anlage III-3).

Für HEC-6 werden konkrete Verteilungen der Korngrößenklassen der American Geophysical Union (AGU) benötigt. Für die Schwebstoffdaten liegt nach den BfG-Messungen nur eine Verteilung in Feinschweb und suspendierten Sand vor, die auf die entsprechenden Korngrößenklassen verteilt werden mußte. Der Feinschweb wird hierbei auf die Klassen 0,004 bis 0,063 mm verteilt, der suspendierte Sand schließt sich bis zu einer Korngröße von 0,5 mm an. Für die Kornverteilung der Gesamtfracht wurde dann die Geschiebe- und Schwebstoffverteilung verhältnismäßig umgerechnet (Anlage III-3).

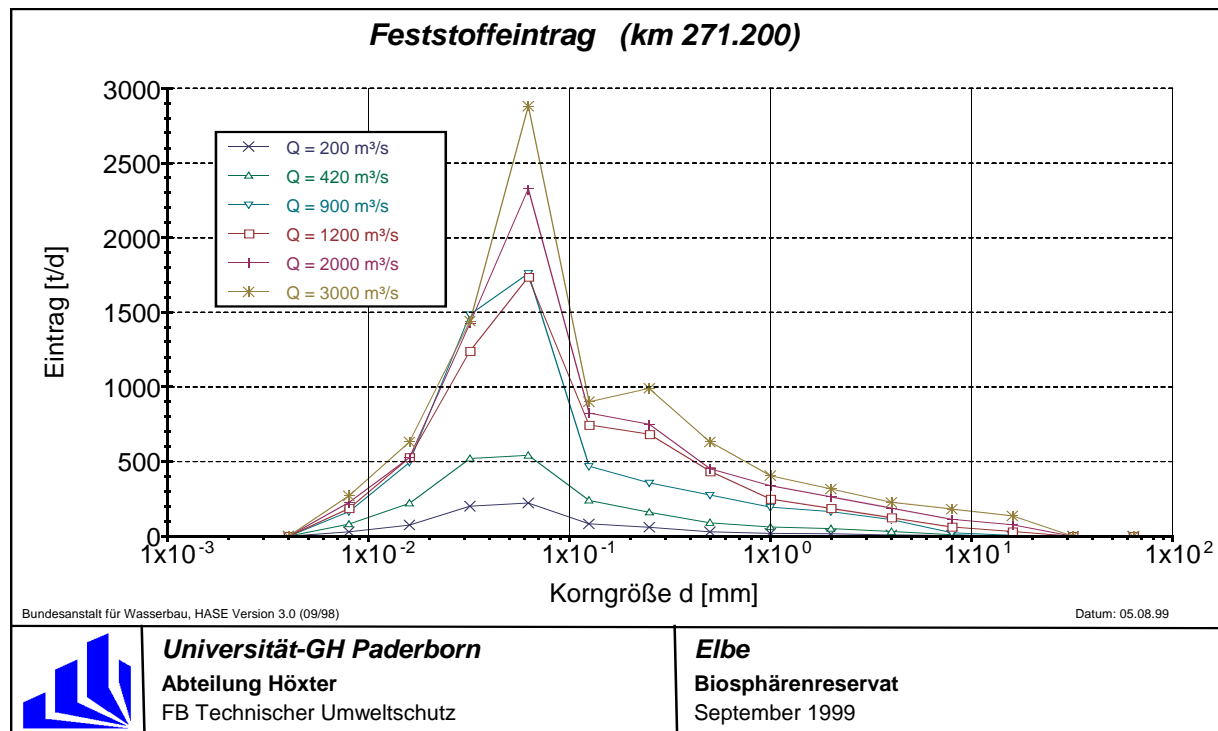


Abb. 8.10: Feststoffeintrag am oberstromigen Modellrand

8.3.3 Modelleichung

Die Kornverteilung der Sohle, der Eintrag der Frachten und deren Verteilung, der Transportansatz sowie die Sensitivität des Modells gehören zu den Eichparametern und wurden zur Anpassung des Modells an die gegebenen Verhältnisse im Rahmen der Eichung verändert.

Da historische Peilungen nicht in die Untersuchungen des Verbundprojektes eingezogen wurden, fand kein direkter Vergleich der Sohllagen zu Beginn und Ende der Ganglinie statt. Für das Untersuchungsgebiet sind nach Untersuchungen der Bundesanstalt für Wasserbau im Bereich des GIW89* (20d) in den letzten 29 Jahren Sohleintiefungen von rund 30 cm aufgetreten [Faulhaber, 1997]. Im Rahmen der Eichung wurde daher versucht, einen stabilen Zustand der Sohle unter Berücksichtigung der stattgefundenen Sohleintiefung zu erreichen. Abweichungen einzelner Profile im Bereich mehrerer Dezimeter können bei der Eichung toleriert werden, solange sie nach einer gewissen Anlaufphase einen stabilen Zustand erreichen.

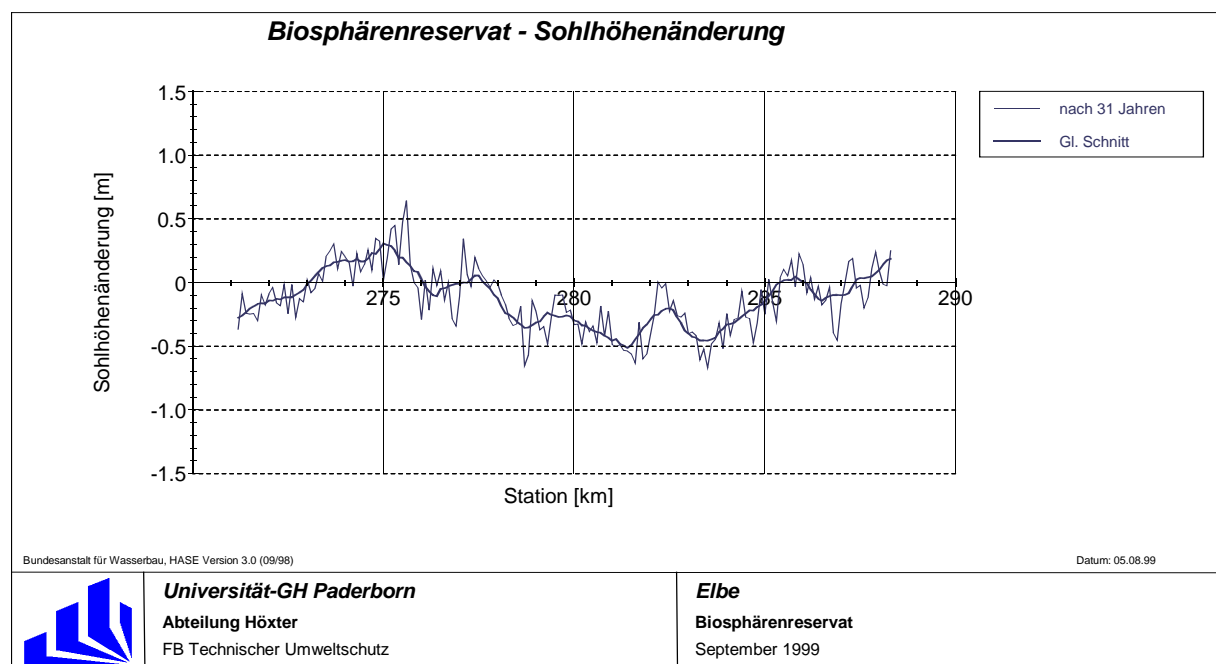


Abb. 8.11: Sohlländerung nach 31 Jahren Simulationszeit

Nach Vergleichsrechnungen wurde der Transportansatz nach Tofaletti ausgewählt. Der Einsatzbereich dieser Transportformel wird für große Flüsse mit sandigem Bettmaterial, wie es in der Elbe vorkommt, empfohlen.

Ein wichtiges Eichkriterium ist die jährliche Feststofftransportrate. Nach Messungen der Bundesanstalt für Gewässerkunde liegt diese für den Zeitraum 1992-1996 im Mittel bei 440.000 t/a [Schmidt u. Dröge, 1999]. Hierbei traten Jahreswerte der Gesamtfracht von 370.000 t/a bis zu 510.000 t/a auf. Aus den wenigen Meßdaten läßt sich keine zuverlässige Zahl für den Gesamttransport ermitteln, daher mußte auf diese Werte zurückgegriffen werden.

Bei der Eichung stellte sich jedoch heraus, daß bei dieser Jahresfracht kein stabiler Sohlzustand erreicht werden kann. Der Feststoffeintrag mußte stark erhöht werden, um Erosionstendenzen entgegenzuwirken. An dieser Stelle muß nochmals daran erinnert werden, daß Abweichungen zwischen Meßdaten und Berechnung von bewegten Sedimentmengen von 100% und mehr hingenommen werden müssen, da diese Zahlen generell den Charakter von Schätzwerten haben [Zanke, 1982]. Im Berechnungsmodell lag der Gesamttransport für den oben genannten Zeitraum bei rund 705.000 t/d, der Sand-/Kiestransport lag hier bei 220.000 t/a. Der Massentransport über den Eichzeitraum von 31 Jahren ist in Anlage III-3 dargestellt.

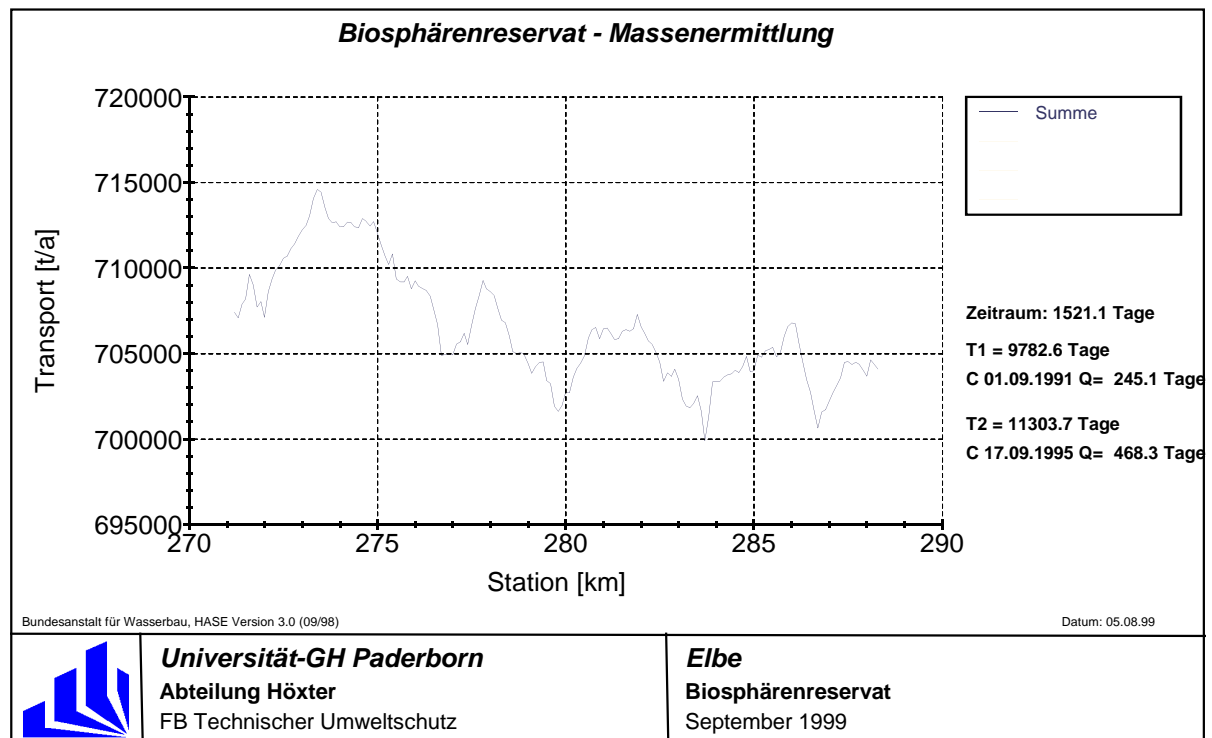


Abb. 8.12: Gesamttransport für den Zeitraum 1992-1996

Eine Untersuchung von vergleichbaren Abflüssen zeigt eine Absenkung der Wasserspiegellagen zum Ende der Berechnungszeit im Abschnitt km 278-285, in dem auch die größten Erosionen auftreten. Unter Berücksichtigung der Erosionstendenz dieses Streckenabschnitts ist dies verständlich und muß akzeptiert werden (Anlage III-3).

Die Zusammensetzung der Sohle war in den Eingangsdaten aus zwei verschiedenen Messungen gemittelt worden. Während der Eichung zeigte sich, daß die Messung von km 290,5 über den gesamten Streckenverlauf, die eine etwas feinere Kornzusammensetzung aufweist, für die Eichung des Modells besser geeignet war. Die Zusammensetzung des aktiven Layers in der Modellsohle lag am Ende des Simulationszeitraumes mit $d_{65} = 3,5$ mm nur leicht gröber als der Ausgangswert von $d_{65} = 2$ mm (Anlage III-3).

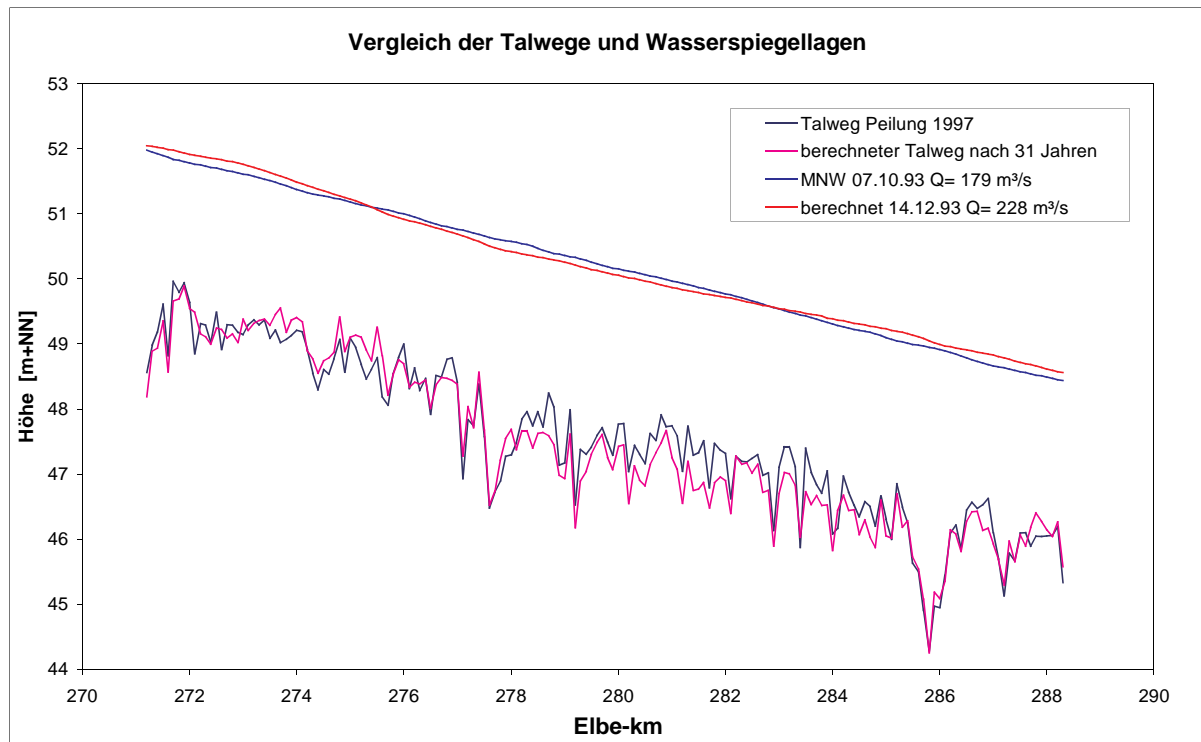


Abb. 8.13: Vergleich der Talwege und Wasserspiegellagen

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß vor dem Hintergrund des Datenmaterials die Eichung als hinreichend genau zu bewerten ist.

8.4 Modell mit dem Ansatz nach Darcy-Weisbach

Der Streckenabschnitt Biosphärenreservat „Mittlere Elbe“ wurde sowohl mit den Programmen HEC-2/HEC-6 als auch mit der Eigenentwicklung HYSEMO32 nach dem Ansatz von Darcy-Weisbach gerechnet. Diese Untersuchung wurde im Rahmen einer Diplomarbeit an der Universität-GH Paderborn, Abteilung Höxter im Dezember 1998 durchgeführt [Hüsener, 1998].

8.4.1 Hydronumerisches Modell

Die Datengrundlage und –aufbereitung hinsichtlich Geometrie und Hydrologie ist bereits ausführlich erläutert worden. Ergänzend hierzu war die Eingabe der erforderlichen Bewuchsparameter für den Ansatz nach Mertens. Das nach DVWK 220 empfohlene Verfahren der Bewuchskartierung konnte aufgrund des erheblichen Aufwandes, bedingt durch die Gebietsgröße, nicht durchgeführt werden. Die Aufnahme der Bewuchsparameter erfolgte durch die Auswertung von Luftbildern, der TK 10 und einer Gebietsbegehung.

Bewuchsart	Bewuchs- klasse	dp [m]	ax [m]	ay [m]
Geschlossen, zusammen- hängend, jung	I	0,10	1,5	1,5
Geschlossen, mehrjährig, jung	II	0,3	7	7
Solitärbewuchs	III	0,5	30	30
Lichter Bewuchs, in Gruppen	IV	0,4	15	15

Tab. 8.6: Einteilung der Bewuchsklassen

Der niedrige Unterbewuchs wird sich bei Überströmung an die Geländeoberfläche anlegen und ist in diesem Fall mit einer entsprechenden äquivalenten Sandrauheit anzugeben. Eine Auswahl von Einzelrauheiten für die Vorländer ist der nachstehenden Tabelle zu entnehmen.

	k_s [mm]
Ackerboden	20-250
Ackerboden mit Kulturen	250-800
Waldboden	160-320
Rasen	60
Gras	100-350
Gras und Stauden	130-400

Tab. 8.7: Einzelrauheiten der Vorländer [DVWK, 1991]

Die Rauheit der Sohle wurde aufgeteilt in die Kornrauheit, welche mit 1-2 mm in etwa dem d_{50} -Korn entspricht und die Formrauheit. Die Aufteilung war zur späteren Sedimenttransportberechnung notwendig, da dort die Einzelrauheiten mit entsprechenden Schubspannungsanteilen benötigt werden und daher eine zusammengefaßte Rauheit falsche Ergebnisse liefern würde. Eine Berechnung der Transportkörperhöhen nach BROWNLIE ergab im Durchschnitt Werte zwischen 6 cm und 10 cm. Bei der Eichung stellten sich mit diesen Werten jedoch zu hohe Wasserspiegel ein. Eine Verwendung der Formrauheit von 2 cm für die gesamte Untersuchungsstrecke brachte für die Eichung zufriedenstellende Ergebnisse. Die Formrauheit erfaßt damit offensichtlich den Einfluß von Riffeln, während großformatige Transportkörper über die Geometrie enthalten sind.

Die Modelleichung erfolgte durch das Anpassen der berechneten Wasserspiegellagen mittels Variation des Modellparameters Fließwiderstand an die in der Natur aufgenommenen Wasserspiegelfixierungen. Als Eichparameter dienten letztendlich die äquivalenten Sandrauheiten (k_s -Werte), da diese nicht schlüssig aus Naturmessungen hervorgehen. Des weiteren müssen alle nicht näher zu quantifizierenden Widerstände (z.B. Sekundärströmungen) in diesem Sammelparameter berücksichtigt werden.

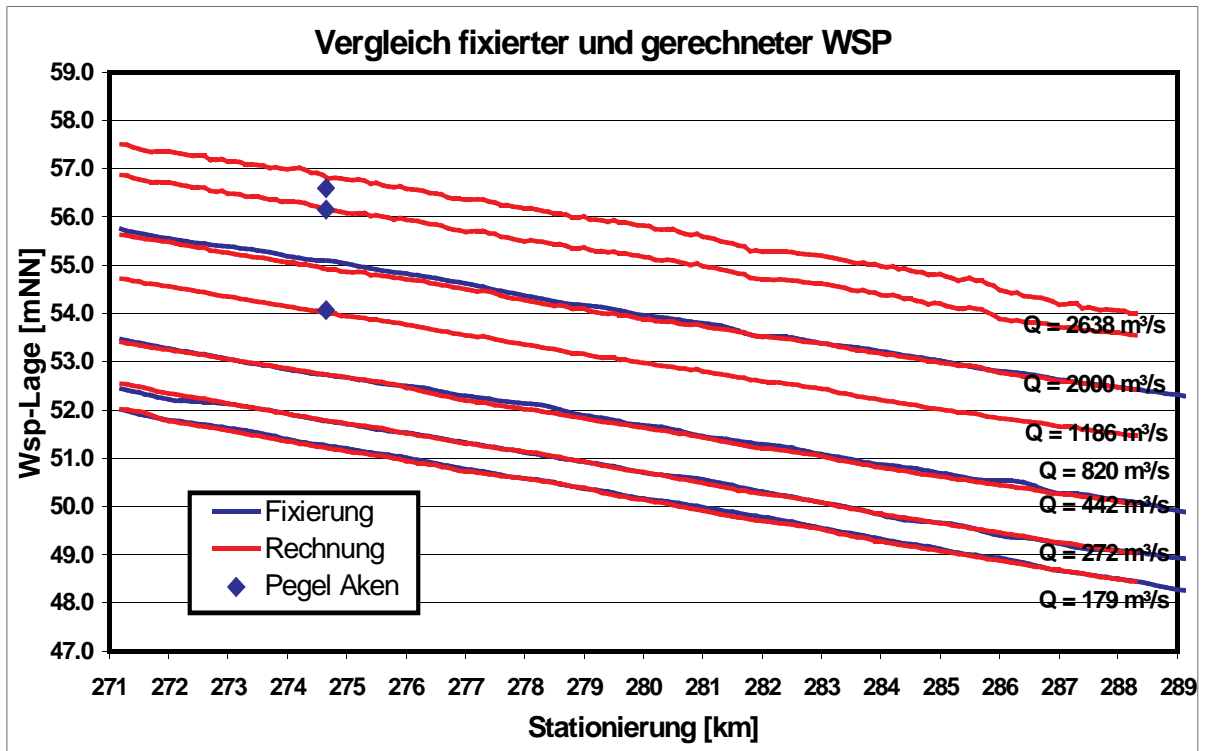


Abb. 8.14: fixierte und mit HYSEMO32 gerechnete Wasserspiegellagen

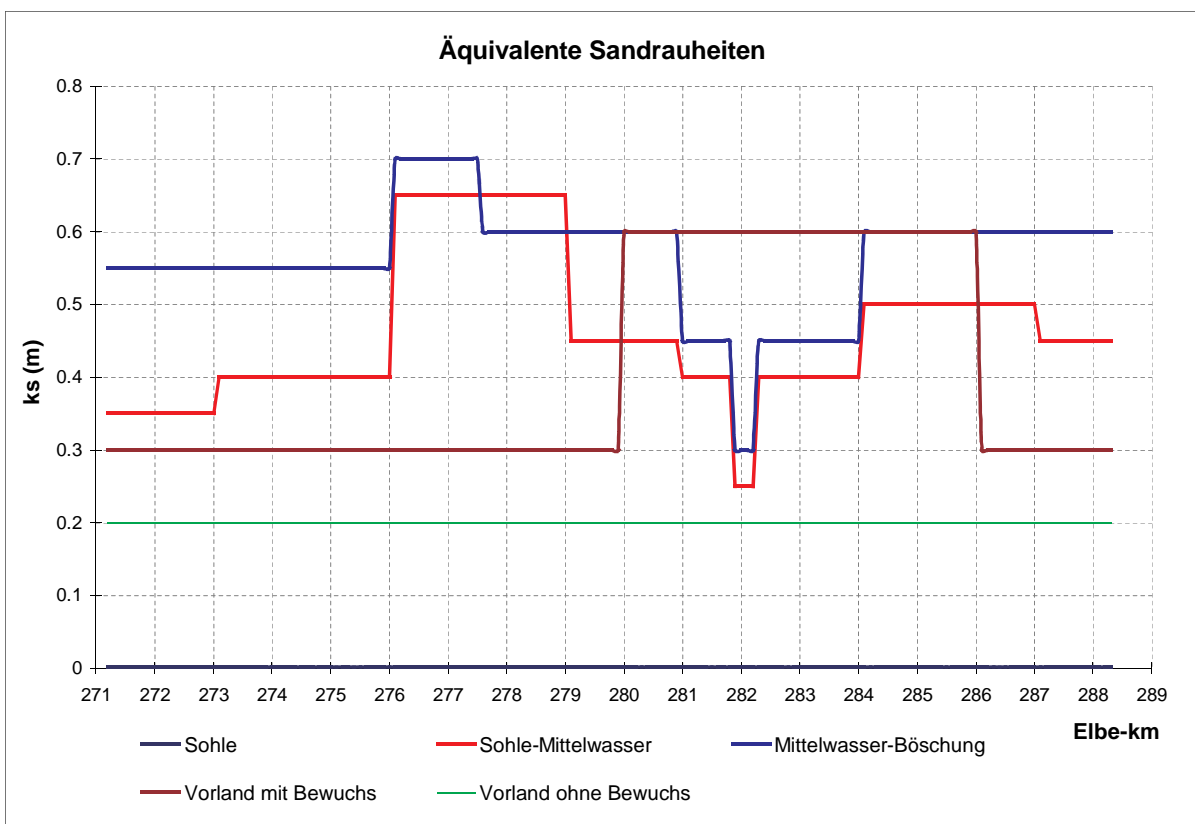


Abb. 8.15: äquivalente Sandrauheiten

8.4.2 Sedimentologisches Modell

Die Eigenschaften des transportierten Materials lassen sich anhand der Korngrößen und ihrer prozentualen Verteilung recht gut charakterisieren. Für die Elbe kann anhand von geologischen Querschnitten und Sohlbeprobungen festgestellt werden, daß Sohlmaterial und Geschiebe ähnlich sind, da das an der Sohle und Ufer anstehende Material aus eigenen Aufschotterungen besteht. Die Sieblinie der Sohle dient deshalb als Eingangswert für das Berechnungsprogramm.

Die Auswertung der Geschiebe- und Schwebstoffmessungen diente der Eichung und Beurteilung der Berechnungsergebnisse. Für das Modell wurde eine Gesamttransportkurve aus den Geschiebe- und Schwebstoffmessungen erstellt, wobei der suspendierte Sand der Schwebstoffmessung anteilmäßig bis zu einer Korngröße von 0,2 mm zum Geschiebe gerechnet wurde. Die Transportkurve mußte, um sie mit den Ergebnissen der Berechnung vergleichen zu können, an den Körnungsbereich der Sohlsieblinie angeglichen werden. Das heißt vom Gesamttransport wurden die Fraktionen abgezogen, die nicht zur Sohle gehörten. Zwei Möglichkeiten der Reduzierung wurden hier untersucht, die ähnliche Ergebnisse lieferten:

1. Aufteilung des Gesamttransports in einen Sohlanteil (0,0625 bis 64 mm) und einen sohl-fremden Anteil (< 0,0625 mm).
2. Die Sieblinien der Kornzusammensetzung der Sohle sowie die der Gesamttransportmessungen wurden zusammen aufgetragen. Der Beginn der Sohlsieblinie (bei 0,1 mm) wurde auf die gemittelte Linie der Gesamtfrachtzusammensetzung verschoben. Der Schnittpunkt lag bei ca. 65 %, somit beträgt der Anteil des zur Sohle gehörenden Materials ca. 35 %.

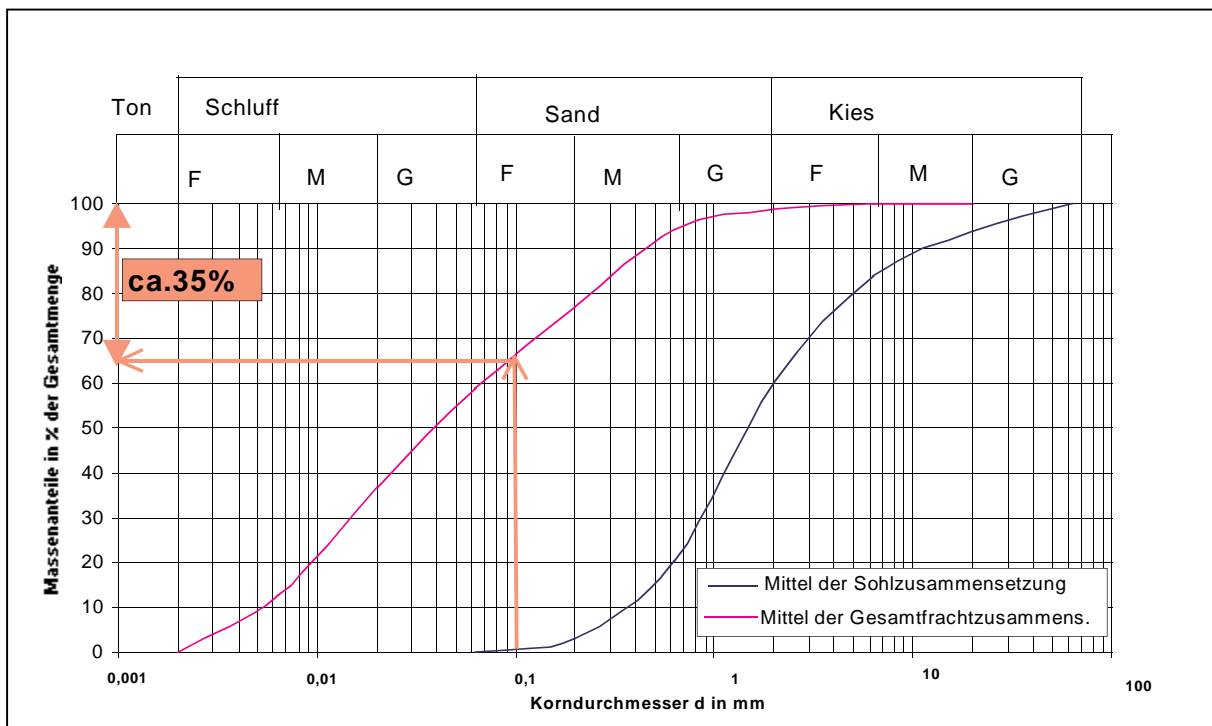


Abb. 8.16: Ermittlung pauschalen Reduzierungsfaktors

Ein Vergleich zwischen den im Programm HYSEMO32 vorhandenen Transportformeln nach Tofaletti und Ackers-White zeigte, daß beim zweitgenannten Ansatz zu große Transportfrachten berechnet wurden. Die Ergebnisse lagen hier in der Größenordnung der Gesamttransportmessungen, die den Anteil an Schwebstoffen, die ungehindert durch das Modell transportiert werden, enthält. Der Ansatz von Ackers-White wurde daher für die sedimentologische Berechnungen nicht weiter verwendet.

Da bisher keine Ergebnisse morphologischer Berechnungen mit HYSEMO32 vorlagen, kann das Modell nur zur Abschätzung sedimentologischer Parameter herangezogen werden. In umfangreichen Testrechnungen wurde eine Plausibilitätsprüfung der Berechnungsergebnisse durchgeführt. Grundsätzlich waren die durch das Modell gelieferten Ergebnisse korrekt und entsprachen weitgehend den Naturmessungen. Dies zeigt auch der Vergleich der Ganglinie mit der Entwicklung der Sohlagen. Bei nahezu bordvollen Abflüssen und Hochwasserereignissen sind stärkere Erosionen an der Sohle zu erkennen, die während den Perioden mit niedrigeren Abflüssen wieder teilweise kompensiert werden.

Als Vergleich der Sohlagen ist ein Längsschnitt der Sohle zu Beginn und Ende der Eichganglinie aufgezeigt. Abgesehen von bereichsweisen Ausnahmen kann die Sohle gut repräsentiert werden. Als Randbedingungen sind die Transportformel nach Tofaletti und am oberen Modellrand eine feste Sohle zu nennen, da der Eintrag von Oberstrom als nicht bekannt angesetzt wurde. Der Berechnungszeitraum war mit 31 Jahren angesetzt worden (Eichganglinie 01.11.1964-31.10.1996). Die in Abbildung 8.17 dargestellten Ergebnisse sind aufgrund der gewählten Randbedingung zum Geschiebeeintrag und den ohnehin komplexen Strömungsbedingungen auf dem Vorland nicht als tatsächlich zu erwartende Sohlentwicklung zu verstehen, sondern sollen zeigen, daß entsprechende Berechnungen mit dem Programm HYSEMO32 möglich sind.

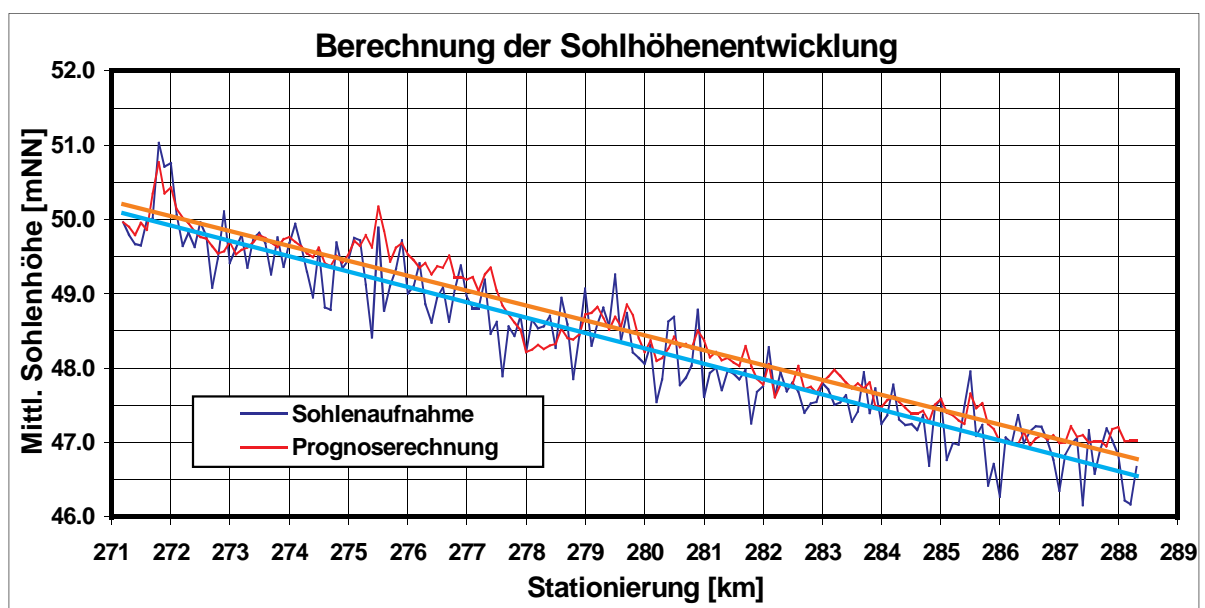


Abb. 8.17: Berechnung der Sohlhöhenentwicklung für einen Zeitraum von 31 Jahren

8.5 Diskussion der Ergebnisse

Dieser Streckenabschnitt stellte mit seinen topographischen Besonderheiten höchste Anforderungen an die Datenaufbereitung für das hydronumerische Modell. Der Bereich des rechten Vorlandes von km 273-280 mit seinen stellenweise über 2 km breiten Vorländern, die durch ein vielfältiges Rinnen- und Muldensystem durchzogen sind, ist im 1D-Modell nur schwer zu erfassen. Erschwerend kamen hier Reste eines Leitdeiches hinzu, der stellenweise geschlitzt wurde und so eine Querströmung zur Hauptfließrichtung erzeugt. Die hier auftretenden komplexen Strömungsverhältnisse können mit einem 1D-Modell, das querprofilorientiert von einem mittleren Wasserstand über das gesamte Profil ausgeht, nur näherungsweise erfaßt werden und müssen kritisch hinterfragt werden. Dennoch lassen sich über Breite und Tiefe gemittelte Strömungsparameter bestimmen.

Das 1D-Modell mit beweglicher Sohle ist daher für dieses Teilstück nur als Abschätzung zu betrachten. Für weiterführende Untersuchungen wird für diesen Streckenabschnitt die Erstellung eines zweidimensionalen Modells vorgeschlagen. Bei enger Deichführung im unterstromigen Modellbereich (ab km 280) und gleichmäßiger Überströmung des Vorlandes treten die oben beschriebenen Probleme nicht auf.

Die Ergebnisse des Programmes HYSEMO32 für diesen Untersuchungsabschnitt mit dem Ansatz nach Darcy-Weisbach sind äußerst zufriedenstellend. Im Vergleich mit dem Ansatz nach Gaukler-Manning-Strickler zeigen sich weitgehend übereinstimmende Ergebnisse. Es läßt sich daraus schließen, daß der Berechnungsansatz der Programme HEC-2/HEC-6 ausreicht, um das Abflußgeschehen der Elbe hinreichend genau zu beschreiben. Als Ursache hierfür ist in erster Linie die Verteilung des Abflusses auf Flußschlauch und Vorland zu sehen. Selbst bei höchsten Wasserständen wird der deutlich höhere Abflußanteil im Flußschlauch abgeführt; die Durchströmung von Bewuchsbereichen bzw. die Interaktion mit bewuchsfreien Querschnittanteilen tritt in den Hintergrund.

Der Ansatz nach Darcy-Weisbach ist erheblich intensiver in der Datenaufbereitung, da die Bewuchsformen charakterisiert werden müssen. Es kann daher davon ausgegangen werden, daß für einen Fluß wie die Elbe 1D-Modellierungen auf der Basis des Gaukler-Manning-Strickler-Ansatzes mit hinreichender Genauigkeit durchgeführt werden können.

9 Berechnungsstrecke Niegripp

9.1 Beschreibung des Untersuchungsgebietes

Das Berechnungsprogramm HEC-6 kann eine maximale Anzahl von 300 Querprofilen verarbeiten. Bei einem regelmäßigen Abstand der Querprofile von 100 m ergibt sich so eine maximale Länge von 30 km Fließstrecke. Das hier aufgebaute Modell umfaßt die Elbe-km 344,1-374,0 und ist im Anschluß an das nachfolgende Modell (siehe Berechnungsstrecke NSG „Bucher Brack“) 30 km nach Oberstrom aufgebaut worden.

9.2 Hydraulisches Modell

9.2.1 Datengrundlage

Geometrie

Die Grundlage für die Querprofile waren für diesen Untersuchungsabschnitt zwei Peilungen des WSA Magdeburg. Der erste Abschnitt von km 344-350 wurde im September 1997, die Strecke im Anschluß ab km 350 wurde bereits im Oktober 1995 aufgenommen. Es handelt sich in beiden Fällen um Sohlpeilungen bis zur Böschungskante ohne Vorlandaufnahme, der Abstand der Peilungen beträgt jeweils 200 m.

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

Für diesen Streckenabschnitt lag keine Geländeaufnahme der Buhnen vor. Für die Aufnahme der Lage der Buhnen wurden die aktuellen Stromkarten der WSD Ost (Stand 1994) im Maßstab 1:2000 herangezogen.

Hydrologie

Für die Eichung dieses Streckenabschnittes lagen Wasserspiegelfixierungen des WSA Magdeburg vor. Hier mußten auch Fixierungen älteren Datums herangezogen werden, um eine Abdeckung des gesamten Abflußspektrums gewährleisten zu können. Die Sohle war in diesem Abschnitt in den letzten 30 Jahren nur einer maximalen Eintiefungsrate von 0,5 cm/Jahr ausgesetzt, so daß nicht von einer ausgeprägten Erosionstendenz gesprochen werden kann [Faulhaber, 1997].

Als Bezugspegel sind hier die beiden Elbepegel Magdeburg-Strombrücke (km 326,6) und Tangermünde (km 388,2) herangezogen worden. Der Pegel Magdeburg-Strombrücke ist im

Hochwasserbereich allerdings nicht relevant, da ein Teil des Abflusses durch einen Umflutkanal um die Stadt Magdeburg umgeleitet wird. Gesteuert wird dies durch das Pretziener Wehr, welches ab einem Pegelstand von 5,92 m am Pegel Barby geöffnet wird. Durch das Wehr fließen dann maximal 20-25% des Hochwasserabflusses. In Magdeburg selbst liegt zudem eine Stromteilung der Elbe vor, so daß am Pegel Magdeburg-Strombrücke nicht der gesamte Elbe-Abfluß erfaßt wird.

Datum	Wasserstand Magdeburg [m+NN]	Abfluß Magdeburg [m³/s]	Wasserstand Tangermünde [m+NN]	Abfluß Tangermünde [m³/s]
11.10.1993	40,61	242	29,31	249
10.05.1989	41,75	546	30,78	538
14.08.1987	41,78	554	30,80	543
12.05.1969	43,61	1200	32,56	1284
1896	~46,63	<i>nicht bekannt</i>	~34,93	<i>nicht bekannt</i>

Tab. 9.1: Wasserspiegelfixierungen

9.2.2 Datenaufbereitung

Geometrie

Da die Sohlpeilung des WSA Magdeburg im Abstand von 200 m durchgeführt wurde, erfolgte die Verdichtung auf 100 m mit Hilfe des Programmes PROFIL durch Interpolation. Die fehlenden Vorlandinformationen wurden dann in Eigenleistung des Verbundprojektes von TPI.3 in Zusammenarbeit mit TPI.1 ergänzt.

Für den Streckenabschnitt ab km 370,0 wurden die fehlenden Vorlandinformationen durch querprofilorientierte Aufnahme aus der TK 10 gewonnen. Die vorhandene Geometrie wurde dazu im Abstand von 100 m bis zu den Hochwasserdeichen ergänzt.

Für den Abschnitt km 344,1-370,0 wurden in Höxter die TK 10 digitalisiert. Neben den Höhenlinien wurden auch die Deiche, Bruchkanten, Gräben und Seen mit einer aus der Karte entnommenen bzw. abgeschätzten Höhe/Tiefe punktweise aufgenommen. Zum Teil wurde eine Verdichtung der Punkte zwischen den Höheninformationen vorgenommen, um die Genauigkeiten bei der Rasterung zu erhöhen. Aus den digitalisierten Daten der Vorländer und der in Gauß-Krüger-Koordinaten konvertierten Flußpeilung wurde dann von TPI.1 ein Geländemodell im Raster von 6x6 m erzeugt. Aus dem Digitalen Geländemodell wurden die vollständigen Querprofile rückgelesen. Dies erfolgte durch Vorgabe der Profile unter strömungstechnischen Gesichtspunkten. In einer u-förmigen Flußschleife mußten die Querprofile an den Hektometersteinen abgeknickt werden und wurden daher auch von km 363,8-367,4 nicht bis zum Deich aufgenommen (Anlage IV-1).

Elbe-km	abgeknickte Profile
340,8-342,1	rechtes Vorland
362,5-364,5	rechtes Vorland
366,6-369,0	rechtes Vorland
363,8-367,7	linkes Vorland

Tab. 9.2: abgeknickte Querprofile

In die aus dem Digitalen Geländemodell rückgelesenen Querprofile wurde in einem weiteren Aufbereitungsschritt die Peilung des WSA Magdeburg im Abstand von 200 m wieder eingebaut, um die Datenbasis im Flußschlauch zu optimieren.

In diesem Streckenabschnitt war eine weitere hydraulische Aufbereitung der Vorländer für das hydronumerische Modell unerlässlich. Das Vorland ist durchsetzt von Seen und Gräben, die im Modell bereits bei Mittelwasser mit Wasser gefüllt sind, aber nicht zur effektiven Abflußfläche des Vorlandes im Modell beitragen. Durch das Setzen von „encroachments“ im Programm HEC-2 bzw. HEC-6 wurden diese Flächen vom Abflußgeschehen ausgenommen. Für einen Altarm der Elbe auf dem linken Vorland von km 353,5-355,0 wurde ein Ersatzgerinne konstruiert und in die Modellgeometrie eingebaut, um bei bordvollem Abfluß ein Durchströmen zu ermöglichen. Weiterhin wurden Strömungsschatten hinter Leitdeichen von der effektiven Abflußfläche ausgenommen und im Anschluß an den Deich nach der 10°-Ablöseregeln aufgeweitet.

Da keine Bühnenpeilung vorlag, wurden die Bühnen und Parallelwerke aus den Stromkarten der WSD Ost abgeleitet. In den Stromkarten von km 344-352 ist neben den Bühnen auch der Verlauf der Uferlinie bei einem Abfluß von $Q = 319 \text{ m}^3/\text{s}$ am Pegel Magdeburg-Strombrücke eingetragen. Dieser Wasserstand liegt zwischen mittlerem Niedrigwasser und Mittelwasser, so daß die Bühnenköpfe deutlich erkennbar sind. Etwas schwieriger gestaltete sich die Definition der Bühnenköpfe ab km 352, da durch die Zeichnung nicht immer eine eindeutige Zuordnung möglich war. Bei einem Maßstab von 1:2000 kann eine Unsicherheit von 5 mm auf der Karte in der Natur die Lage des Bühnenkopfes um 10 m verändern!

Weil die Bühnen nicht in dem regelmäßigen Abstand der Modellgeometrie von 100 m in der Elbe vorkommen, wurde die Streichlinie als Hilfsmittel herangezogen. Sie ist als Verbindung der Bühnenköpfe definiert und spiegelt so die Verhältnisse zwischen den Bühnenköpfen wider. Wie sich bei der späteren Eichung mit beweglicher Sohle herausstellte, mußten einige Streckenabschnitte mit Bühnen nachgebessert werden, um die Sohle entsprechend den Naturverhältnissen in einem stabilen Zustand zu halten. Dies geschah durch Vorziehen bzw. Rückversetzen der Bühnenköpfe um maximal 10 m. Ein Abgleich mit den Stromkarten und Luftbildern einer MNW-Befliegung zur Kontrolle der eingebauten Bühnen fand statt.

Für die Rückenfeigung wurde 1:200 angesetzt, die Kopfneigung mit 1:5 vorgegeben. Die Höhe der Bühnenköpfe erfolgte in Anlehnung an den RW59.

Die Uferpunkte für die Dreigliederung des Querprofils wurde auf die Bühnenköpfe bzw. wenn keine Bühnen vorhanden waren (Leitwerk) auf einen Geometrie punkt mit vergleichbarer Höhe festgelegt.

Die Fließlängen für den Flußschlauch und die Vorländer wurde als Verbindung der Schwerpunktslage unter einem gerechneten Hochwasser (durchschnittliches Gefälleverhältnis der Fixierung von 1896) mit Hilfe des Programmes PROFIL bestimmt. In Bereichen mit abgknickten Querprofilen wurde die Fließlänge im Lageplan (AutoCAD) ausgemessen.

Hydrologie

Durch die Wasserspiegelfixierungen wurde mit Hilfe des Programmes PROFIL eine spline-Funktion durch die Punkte gelegt, um für jedes Querprofil einen interpolierten Wasserspiegel zu erhalten.

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 lag zwischen dem 10.05.89 und dem 12.05.69, der Abfluß lag aber laut BfG-Messung nur in der Größenordnung 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. Diese Fixierung lag nur als Längsschnitt im Kilometer-Abstand von km 344,0 bis km 371,5 vor. Mit einem durchschnittlichen Gefälle von 0,17 ‰ wurde die Fixierung bis hinunter zu km 374,0 verlängert.

Da für den Hochwasserbereich keine zuverlässige Fixierung vorlag, wurde der Wasserspiegel für einen Abfluß von rd. $3200 \text{ m}^3/\text{s}$ (a.P. Tangermünde) extrapoliert. Dies geschah durch eine gewichtete Interpolation der Wasserspiegelfixierung vom 12.05.69 und dem historischen Hochwasserereignis von 1896.

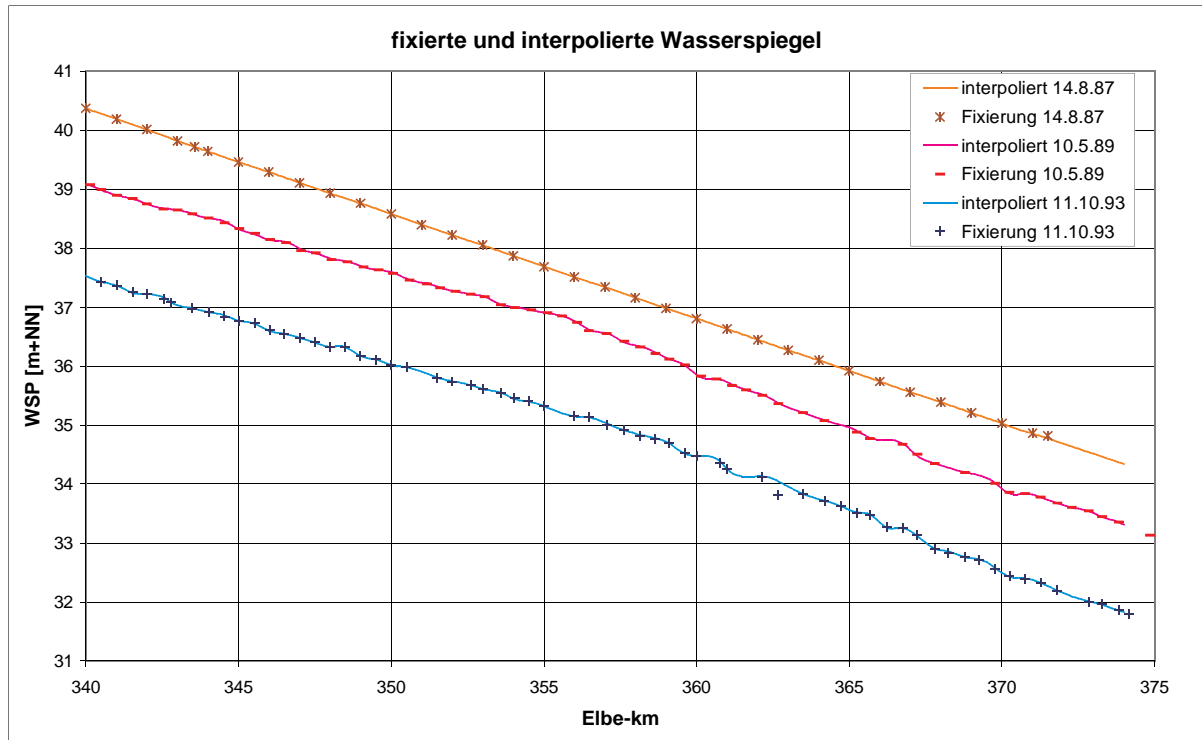


Abb. 9.1: Vergleich fixierter und interpolierter Wasserspiegel (MNW/MW)

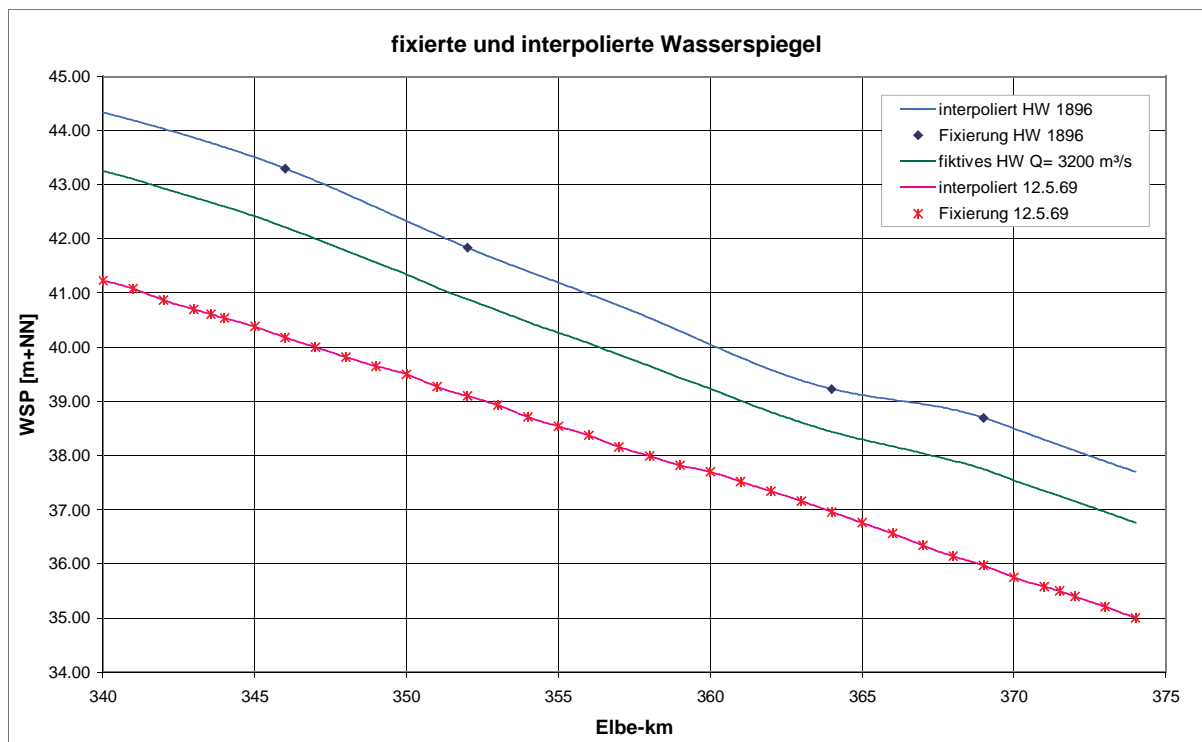


Abb. 9.2: Vergleich fixierter und interpolierter Wasserspiegel (HW)

Für den unterstromigen Modellrand von km 374,0 wurde eine Abflußkurve aus den benachbarten Abflußpegeln der Elbe und den Wasserspiegelfixierungen erstellt. Von einer Zeitreihenanalyse des Pegels Magdeburg (km 326,6) wurde wegen starker Inkonsistenzen im Hochwasserbereich im TPI.4 „Hydrologische Analyse und Datenmanagement“ abgesehen. Für den Pegel Tangermünde (km 388,2) lagen korrigierte Abflußkurven seit 1963 vor.

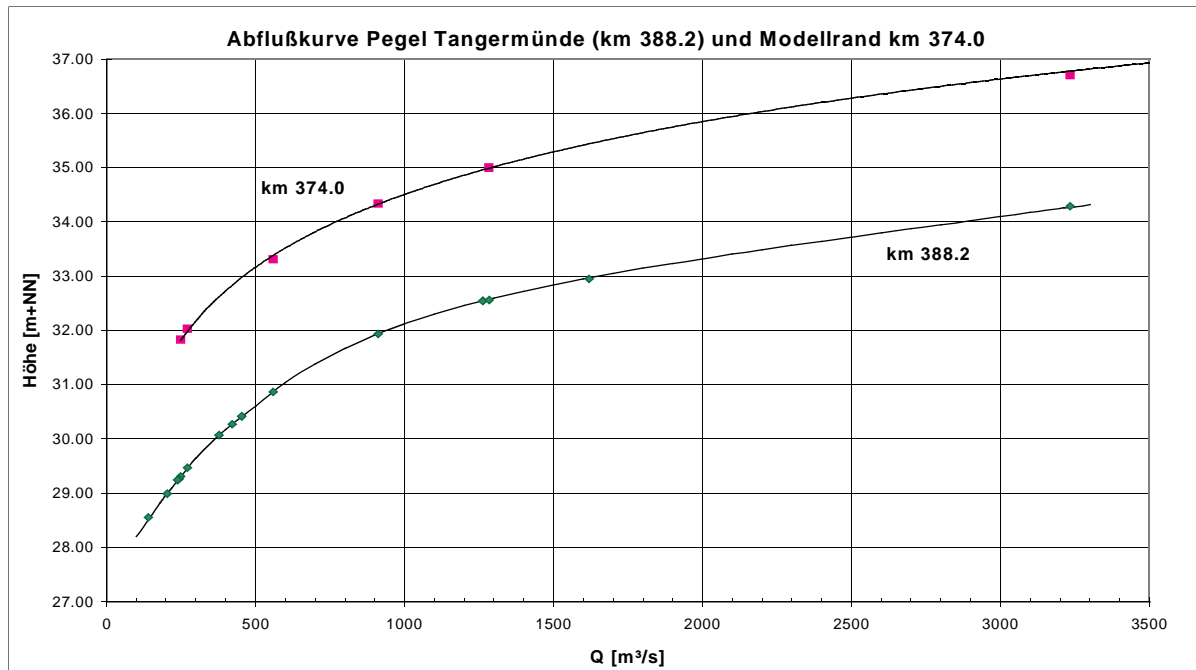


Abb. 9.3: Abflußkurven Pegel Tangermünde und unterstromiger Modellrand

9.2.3 Modelleichung

Die Eichung des Streckenabschnittes km 344,1-374,0 wurde mit der Kombination der Programme HEC/HASE durchgeführt. Bei der hydraulischen Eichung wurde hierzu die bewegliche Sohlhöhe gleich Null gesetzt. Weiterhin wurde bereits bei dieser Eichung versucht, im Vorland mit tiefenabhängigen Rauheitsbeiwerten zu arbeiten, wie sie als „Buhnenfunktion“ im Programm HASE (näheres siehe Streckenabschnitt Biosphärenreservat „Mittlere Elbe“) einzugeben ist.

Eichung mittleres Niedrigwasser

Für die Eichung wurde die Fixierung vom 11.10.1993 mit einem Abfluß von $Q = 249 \text{ m}^3/\text{s}$ am Pegel Tangermünde herangezogen. Aus der zuvor erstellten Abflußkurve für km 374,0 wurde ein Startwasserspiegel von 31,83 mNN angesetzt.

Die Rauheitsbeiwerte für die Eichung sind in der unten angeführten Tabelle 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]
344,1 – 359,4	0,024	41,7
359,5 – 362,0	0,022	45,5
362,1 – 366,2	0,024	41,7
366,3 – 374,0	0,027	37,0

Tab. 9.3: Rauheitsbeiwerte mittleres Niedrigwasser

Die Strickler-Beiwerte im Flußschlauch sind für diesen niedrigen Abfluß vergleichsweise groß. Einzig im letzten Drittel der Untersuchungsstrecke befindet sich ein etwas rauherer Bereich. Die Ursache hierfür könnte in der engen Flußkrümmung, die bei km 364 beginnt, liegen. Der Sammelparameter, in dem alle örtlichen und globalen Verluste eingehen, spiegelt hier den Einfluß der Sekundärströmung der Krümmung wider. Die hohen Strickler-Beiwerte im ersten Teil der Bearbeitungsstrecke könnten einen Hinweis darauf geben, daß die Sohle wenig durch die Bildung von Transportkörpern beeinflusst wird. Eine Bestätigung dieser Vermutung zeigt sich auch bei der Eichung des Mittelwassers. Hier sind entgegen der Erkenntnis, daß die Rauheitsbeiwerte größer werden mit von der Sohle unbeeinflusster Strömung, kleinere Strickler-Beiwerte aufgetreten.

Die Differenz zwischen interpolierter Wasserspiegellage und der mit dem 1D-Modell berechneten Wasserspiegellage liegt in der Toleranz von 10 cm. Die größten Abweichungen zeigen sich bei km 360-362 mit -10 cm bzw. +8 cm, hier tritt in der Fixierung in relativ kurzem Abstand ein starkes Gefälle auf, das im Modell aufgrund der kurzen Distanz nur schwer nachzubilden ist.

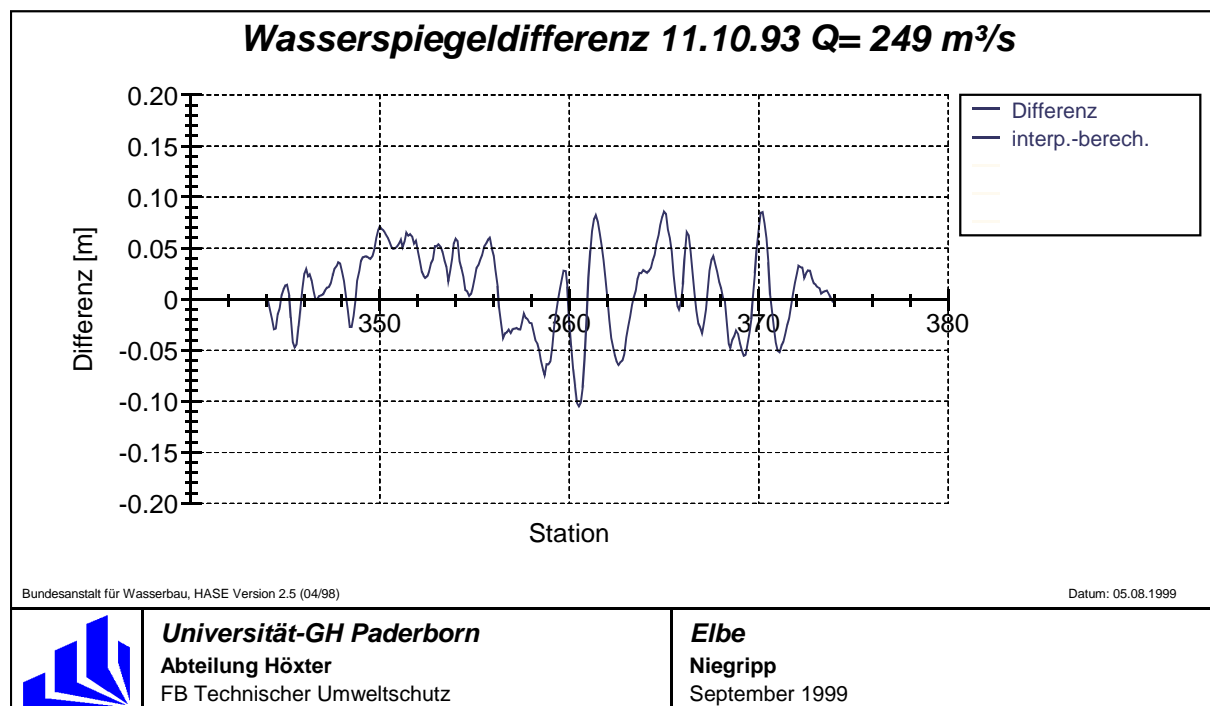


Abb. 9.4: Wasserspiegeldifferenz mittleres Niedrigwasser

Die Ergebnisse der strömungstechnischen Beurteilung dieses Eichabflusses sind graphisch in Anlage IV-2 beigelegt. Die Abflußflächen für diesen Streckenabschnitt liegen bei durchschnittlich 320 m². Im engen Krümmungsbereich (km 364-371) treten dabei die kleinsten Abflußflächen in einer Höhe von 230 m² bis 300 m² auf. Im Querschnitt der Profile zeigt sich die typische Ausbildung von Prall- und Gleithang, wobei die Verlandung auf der Innenseite der Krümmung deutlich ausgeprägt ist. Dies bestätigen die Luftbilder der MNW-Befliegung der WSD Ost aus dem Jahr 1992. In diesem Streckenabschnitt treten auch die größten Geschwindigkeiten mit über 1,0 m/s auf, während sich die Fließgeschwindigkeit im übrigen Streckenabschnitt zwischen 0,7 m/s und 0,9 m/s bewegt.

Erste Aussagen über einen möglichen Sedimenttransport lassen sich aus der berechneten Schubspannung im Vergleich zur kritischen Schubspannung nach DIN 19661 ziehen. Die berechneten Werte zeigen eine geringe Schwankungsbreite bei 2,5 N/m² bis 4,5 N/m² und deuten bei diesem Abfluß auf eine Geschiebebewegung der Körnung Mittelsand an der Sohle hin. Nur im Bereich der bereits mehrfach erwähnten engen Krümmungen von km 365-371 treten Spitzen in der Schubspannung bis zu 8,0 N/m² auf. Durch die engen Querschnitte und die hohen Fließgeschwindigkeiten tritt ein verstärkter Angriff des strömenden Wassers an die Sohle auf, was sich auch in der Kolkbildung an der Außenseite der Krümmungen zeigt.

Eichung Mittelwasser

Hierzu wurde die Fixierung vom 10.05.1989 mit einem Abfluß von $Q = 560 \text{ m}^3/\text{s}$ und einem Startwasserspiegel von 33,31 mNN aus der unterstromigen Schlüsselkurve verwendet. Nachfolgend sind die Rauheitsbeiwerte der Eichung für den Flußschlauch tabellarisch aufgeführt. Für die Vorlandrauheit, die hier die bei diesem Wasserstand an einigen Stellen überströmten Bühnenrücken widerspiegelt, wurde für die Eichung ein Strickler-Beiwert von $10 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ eingesetzt.

Elbe-km	Flußschlauch	
	$n \text{ [s/m}^{1/3}\text{]}$	$k_{\text{st}} \text{ [m}^{1/3}/\text{s]}$
344,1 – 347,2	0,028	35,7
347,3 – 354,7	0,025	40,0
354,8 – 362,6	0,029	34,5
362,7 – 366,0	0,025	40,0
366,1 – 374,0	0,028	35,7

Tab. 9.4: Rauheitsbeiwerte Mittelwasser (Flußschlauch)

Bei diesem Abfluß liegen die Strickler-Rauheiten im Flußschlauch kleiner als beim mittleren Niedrigwasser. Eine mögliche Ursache kann darin begründet sein, daß die Bühnenköpfe bei diesem Abfluß teilweise überströmt werden und die Interaktion auf den Flußschlauch höhere Verluste hervorruft.

Die Differenzen zwischen dem interpolierten Wasserspiegel und dem mit dem hydronumerischen Modell berechneten Wasserspiegel betragen maximal -7 cm bzw. $+12$ cm. Der generelle Verlauf der Wasserspiegellage mit einem kleineren Aufstau von km 352-356 konnte hier gut nachgebildet werden.

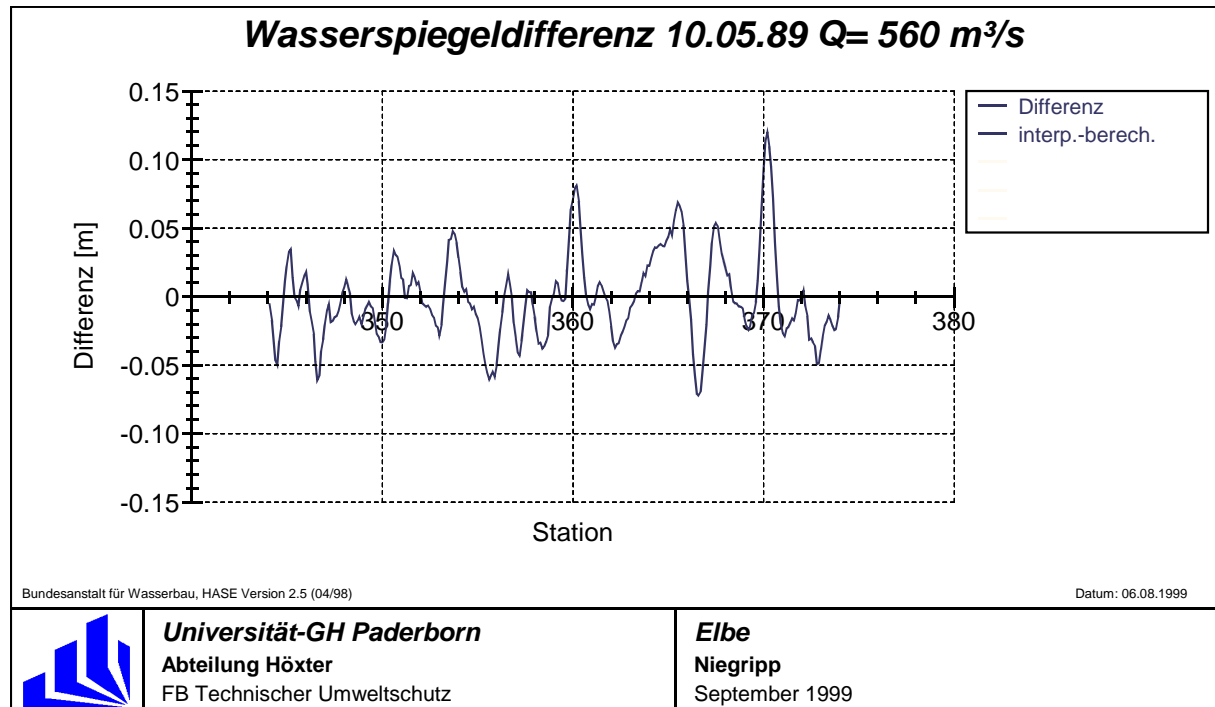


Abb. 9.5: Wasserspiegeldifferenz Mittelwasser

Die weiteren Ergebnisse der Eichung sind als Grafiken in Anlage IV-2 enthalten. Nahezu über den gesamten Streckenverlauf zeigt sich eine sehr geringe Überströmung der Bühnenköpfe, die allerdings durch die hohen Rauheitsbeiwerte in einem zu vernachlässigenden Anteil zum Gesamtabfluß beiträgt. Die durchschnittliche Abflußfläche beträgt rund 550 m^2 , wobei auch hier in der Krümmung am Ende der Modellstrecke die kleinsten Fließquerschnitte mit 480 m^2 auftreten. Entsprechend hoch zeigen sich die Fließgeschwindigkeiten mit $1,25 \text{ m/s}$, während im übrigen Untersuchungsgebiet Werte zwischen $0,9 \text{ m/s}$ und $1,1 \text{ m/s}$ vorhanden sind. Auch bei der Schubspannung treten am Modellende die größten Werte ($9,0 \text{ N/m}^2$) auf, wobei hier der Verlauf derselben im Gegensatz zum mittleren Niedrigwasser ausgeglichener ist. Schubspannungen von $4,0 \text{ N/m}^2$ bis zu $8,0 \text{ N/m}^2$ wurden berechnet, dies weist auf einen Geschiebetransport an der Sohle hin, da die kritische Schubspannung der Sohle für Mittel- und Grobsand, wie er im Elbe-Abschnitt auftritt, bei $2,0 \text{ N/m}^2$ bzw. $6,0 \text{ N/m}^2$ liegt.

Eichung Hochwasser 1

Die Eichung für diesen Abfluß ist nur als Kontrolle anzusehen, da in der Fixierung vom 14.08.1987 die bereits oben beschriebenen Unstimmigkeiten aufgetreten sind. Es wurde mit einem Abfluß von $Q= 911 \text{ m}^3/\text{s}$ am Pegel Tangermünde und einem Startwasserspiegel von

34,31 mNN für km 374,0 gerechnet. Die Rauheitsbeiwerte für den Flußschlauch sind in nachfolgender Tabelle aufgeführt, für das Vorland (überströmte Buhnen) wurde für die gesamte Strecke mit einem Rauheitsbeiwert von $0,045 \text{ s/m}^{1/3}$ ($22,2 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$) gerechnet.

Elbe-km	Flußschlauch	
	n [$\text{s/m}^{1/3}$]	k_{St} [$\text{m}^{1/3}/\text{s}$]
344,1 – 350,1	0,028	35,7
350,2 – 356,2	0,026	38,5
356,3 – 361,0	0,027	37,0
361,1 – 366,2	0,024	41,7
366,3 – 374,0	0,027	37,0

Tab. 9.5: Rauheitsbeiwerte Hochwasser 1 (Flußschlauch)

Die bei der Eichung verwendeten Rauheitsbeiwerte bewegen sich in der nach DVWK 92 empfohlenen Größenordnung für natürliche Gerinne mit Spiegelbreiten >30 m bei höchstem Wasserstand. Dies bestätigt auch den angenommenen Abfluß für diese Wasserspiegellage. Im Vergleich zum Mittelwasser treten gleiche bzw. leicht höhere Strickler-Beiwerte auf.

Die Differenzen zwischen den aus dem Längsschnitt interpolierten Wasserspiegellagen und der mit HEC berechneten Wasserspiegellage zeigen Abweichungen in einer Größenordnung von +6 cm bis -5 cm.

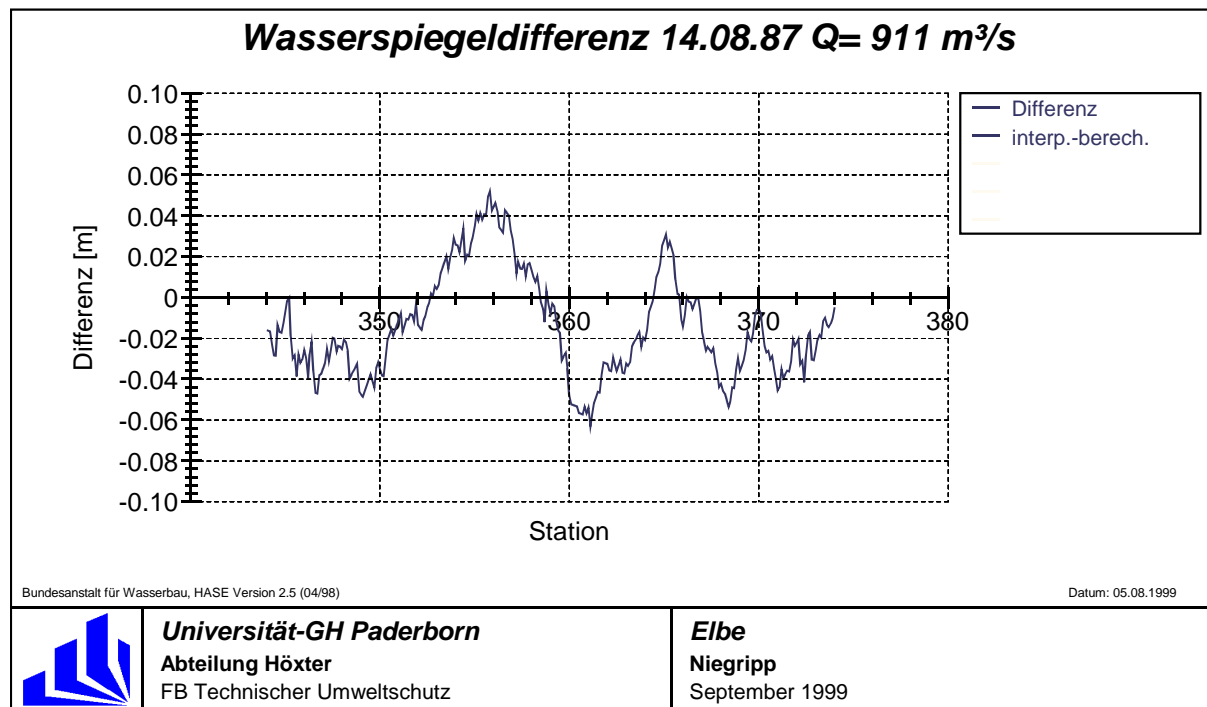


Abb. 9.6: Wasserspiegeldifferenz Hochwasser 1

Die Wasserstände dieses Abflusses liegen fast im gesamten Streckenabschnitt noch unterhalb der Böschungskante. Der größte Abflußanteil wird im Flußschlauch abgeführt, wobei die Bühnen schon deutlich überströmt sind. Die durchschnittliche Querschnittsfläche im Flußschlauch liegt bei 720 m², während über den Bühnenrücken Flächen bis maximal 80 m² auftreten. Im Flußschlauch liegen die Fließgeschwindigkeiten in einer Höhe von 1,2 m/s bis 1,4 m/s. Über den Bühnenrücken sind die Geschwindigkeiten aufgrund des Einflusses der Bühnen deutlich geringer und bewegen sich bei 0,25 m/s. Der Einfluß der engen Krümmungen am hinteren Modellende nimmt aufgrund der überströmten Bühnen ab; die Strömungsparameter zeigen eine geringere Schwankungsbreite. Die Schubspannung liegt im gesamten Streckenabschnitt über 6,0 N/m² (Spitzenwerte 10,0 N/m²), eine durchgängige Bewegung an der Sohle ist die Folge.

Eichung Hochwasser 2

Die Fixierung vom 12.05.1969 mit $Q = 1284 \text{ m}^3/\text{s}$ liegt unter dem MHQ (Jahresreihe 1964-1995) mit $Q = 1741 \text{ m}^3/\text{s}$ des Pegels Tangermünde. Der Startwasserspiegel für den unterstromigen Modellrand wurde aus der Schlüsselkurve mit 35,00 mNN ermittelt. In Anlage IV-2 sind die Ergebnisse dieser Eichung graphisch festgehalten, die verwendeten Rauheitsbeiwerte für den Flußschlauch sind tabellarisch aufgeführt. Für diesen gerade ausufernden Abfluß sind die Rauheitsbeiwerte zwischen den gerade überströmten Bühnen und dem ungehinderten Vorlandabfluß zu finden und mit $0,038 \text{ s/m}^{1/3}$ ($26,3 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$) festgesetzt worden.

Elbe-km	Flußschlauch	
	$n \text{ [s/m}^{1/3}]$	$k_{st} \text{ [m}^{1/3}/\text{s}]$
344,1 – 353,3	0,028	35,7
353,4 – 365,3	0,026	38,5
365,4 – 374,0	0,027	37,0

Tab. 9.6: Rauheitsbeiwerte Hochwasser 2 (Flußschlauch)

Dieser Abfluß ufert in weiten Strecken in die Aue aus, eine vollständige Durchströmung des Vorlandes findet noch nicht statt. Da dieser Abfluß nur 70 cm über dem Hochwasser 1 liegt, zeigen sich bei der Eichung im Flußschlauch ähnliche Rauheitsbeiwerte.

Die Differenzen zwischen interpolierter und berechneter Wasserspiegellage liegen im tolerierbaren Rahmen. Da es sich bei dieser Fixierung um einen Längsschnitt im Abstand von einem Kilometer handelt, zeigen sich in der Wasserspiegellage sehr stetige Gefälleverhältnisse. Mögliche Schwankungen zwischen den Meßwerten sind nicht erfaßt worden und können folglich im Modell auch nicht nachgebildet werden.

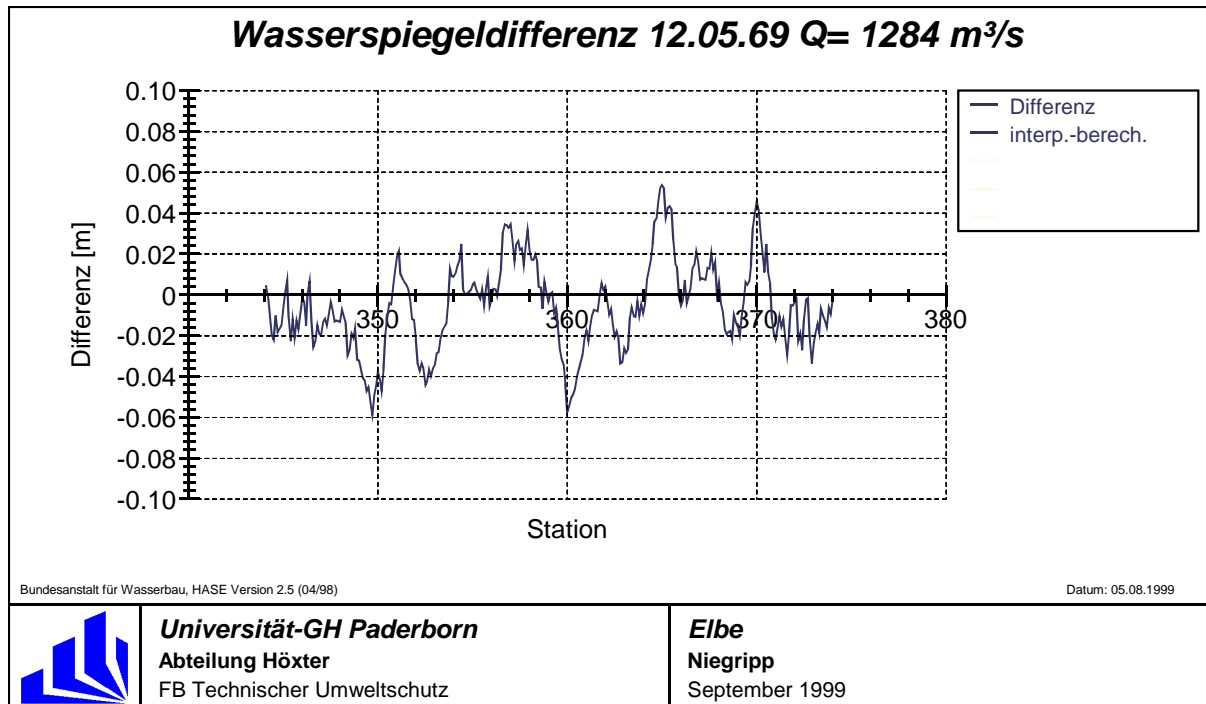


Abb. 9.7: Wasserspiegeldifferenz Hochwasser 2

Die Abflußflächen im Flußschlauch zeigen gegenüber dem Hochwasser 1 nur eine geringe Zunahme, da der Wasserstand nicht stark differiert und durch die Uferpunkte die Breite des Hauptgerinnes festgelegt ist. Die Werte zeigen hier eine Spannweite von 790 m² bis 910 m². Über den Vorländern hat durch die beginnende Überflutung der Aue die effektive Abflußfläche gegenüber dem Hochwasser 1 verhältnismäßig stärker zugenommen. Es findet eine Überströmung mit einer Fläche von 20 m² bis 300 m² statt. Ebenso sind die Fließgeschwindigkeiten im Hauptgerinne nur leicht gestiegen und differieren zwischen 1,3 m/s und 1,6 m/s. In der Aue dagegen zeigen sich hier bereits Fließgeschwindigkeiten von 0,5 m/s. Auch die Schubspannung zeigt höhere Werte zwischen 8,0 N/m² und 14,0 N/m², wobei hier im unterstromigen Modellbereich in der Krümmung wieder die höchsten Werte erreicht werden.

Eichung Hochwasser 3

Um auch für den Hochwasserfall Aussagen treffen und für das Modell mit beweglicher Sohle die Pegelganglinie nachfahren zu können, wurde hier eine Hochwassersituation mit einem Abfluß von 3200 m³/s am Pegel Tangermünde extrapoliert. Der Startwasserspiegel für diesen Abfluß beträgt 36,76 mNN bei Elbe-km 374,0. Da die Vorländer in diesem Streckenabschnitt sehr homogen aus Wiesen und Weideland bestehen, wurde bei unbeeinflusster Überströmung des Vorlandes mit einem Rauheitsbeiwert von 0,033 s/m^{1/3} (30,3 m^{1/3}/s) gerechnet. Für den Flußschlauch sind die Rauheitsbeiwerte der Eichung in der unten aufgeführten Tabelle enthalten.

Elbe-km	Flußschlauch	
	n [s/m ^{1/3}]	k _{st} [m ^{1/3} /s]
344,1 – 345,4	0,023	43,5
345,5 – 353,3	0,026	38,5
353,4 – 367,8	0,023	43,5
367,9 – 374,0	0,024	41,7

Tab. 9.7: Rauheitsbeiwerte Hochwasser 3 (Flußschlauch)

Die Differenzen zwischen der extrapolierten Wasserspiegelhöhe und dem mit HEC berechneten Wasserspiegel liegen zwischen -12 cm und +15 cm und damit in einer für ein Hochwasser dieser Größenordnung ausreichenden Genauigkeit.

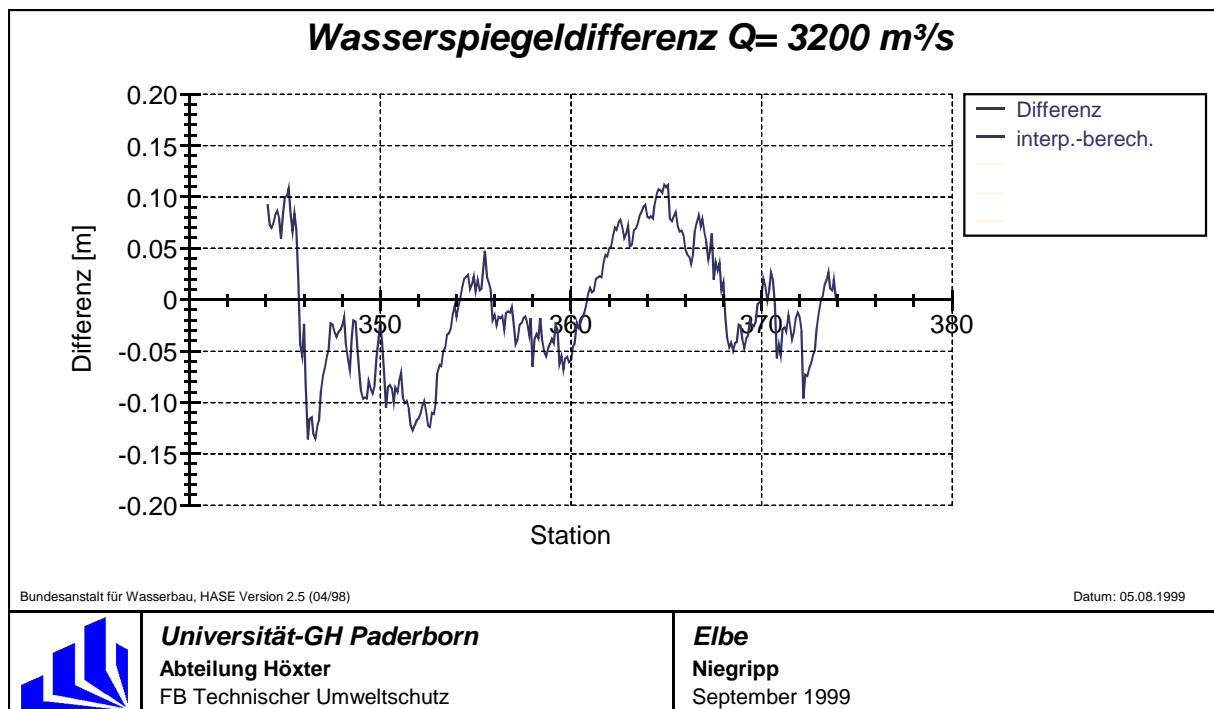


Abb. 9.8: Wasserspiegeldifferenz Hochwasser 3

Die Grafiken zur Darstellung der strömungstechnischen Parameter Abflußfläche, Fließgeschwindigkeit und Schubspannung sind in Anlage IV-2 beigefügt. Die weiträumigsten Ausuferungen sind hier im Bereich des Altarms der Elbe von km 352-356 zu finden. Erwartungsgemäß zeigt die Fließgeschwindigkeit im Flußschlauch dort die niedrigsten Werte mit 1,6 m/s, während der Mittelwert der Strecke bei 2,0 m/s liegt. Die größten Geschwindigkeiten treten am Modellbeginn mit 2,5 m/s auf, da hier die Abflußflächen aufgrund der beidseitig engen Deichführung sehr gering und hohe Geschwindigkeiten notwendig sind, um den gesamten Abfluß abzuführen. Ebenso liegt die Schubspannung in diesem Bereich mit Spitzenwerten über 25,0 N/m² über den sonst auftretenden 10,0 N/m² bis 18,0 N/m².

9.3 Sedimentologisches Modell

9.3.1 Datengrundlage

Geometrie

Ausgangsbasis für die Eichung mit beweglicher Sohle ist das geeichte hydronumerische Modell mit fester Sohle, wie es im vorangegangenen Kapitel beschrieben wurde. Die Geometrie und die tiefenabhängigen Rauheitsbeiwerte für den Flußschlauch und die Vorländer wurden direkt übernommen.

Hydrologie

Wie bereits zuvor beschrieben, konnten die Tageswerte des Abflusses des Pegels Magdeburg-Strombrücke für die Untersuchung nicht herangezogen werden. Daher wurden die Tageswerte des Pegels Tangermünde aus den Jahren 01.11.1965 bis 31.10.1996 zur Aufstellung der Ganglinie für das Modell verwendet. Obwohl die Tageswerte des Abflusses bereits seit 1961 vorlagen, wurde ein späterer Zeitpunkt zum Beginn der Ganglinie gewählt, um den Einfluß des Staustufenbaus in Tschechien auszuschließen.

Wasserstands-Abfluß-Beziehungen mit folgenden Gültigkeitsbereichen, die von TPI.4 „Hydrologische Analyse und Datenmanagement“ aufgestellt wurden, lagen für den Pegel Tangermünde (km 388,2) vor:

11/1963 – 10/1966

11/1966 – 10/1970

11/1970 – 10/1980

11/1980 – 10/1995

Sedimentologie

Die Sohldaten wurden dem BfG-Bericht „Kornzusammensetzung der Elbesohle von der tschechisch-deutschen Grenze bis zur Staustufe Geesthacht“ [Haunschild et al. 1994] entnommen. Demzufolge lagen für diesen Streckenabschnitt an vier Meßpunkten Daten der Sohlzusammensetzung vor. Für die Meßstellen km 345,0 / km 350,0 / km 371,2 / km 372,0 gab es Querschnittsmittelwerte und Einzelbeprobungen links-mitte-rechts.

Für den Eintrag der Geschiebe- und Schwebstofffrachten am oberstromigen Modellrand konnte auf eine Meßstelle der Bundesanstalt für Gewässerkunde im Untersuchungsgebiet bei Niegripp (km 345,4) zurückgegriffen werden. Zum Zeitpunkt des Modellaufbaus standen Geschiebe- und Schwebstoffmessungen aus den Jahren 1994/1995 zur Verfügung. Bei den Schwebstoffmessungen lagen allerdings keine Meßwerte größer als der bordvolle Abfluß vor.

Die nächstgelegenen Meßstellen Oberstrom bei Magdeburg (km 338,0) und Unterstrom bei km 388,8 (Tangermünde) wurden zur Ergänzung herangezogen.

Datum	Abfluß [m³/s]	Fracht [t/d]	geschiebeführende Breite [m]
13.09.94	370	53	139
30.11.94	395	74	130
19.12.94	625	217	130
16.02.95	1312	230	124
13.03.95	843	112	139
16.05.95	863	361	109
26.06.95	301	450	150
30.08.95	863	67	128
17.11.95	645	463	133
20.11.95	734	96	159
19.12.95	432	128	140

Tab. 9.8: Geschiebemessungen Niegripp

Datum	Abfluß [m³/s]	Feinschweb [t/d]	susp. Sand [t/d]	Gesamt [t/d]	Fein [%]	Sand [%]
13.09.94	370	1970	114	2084	95	5
30.11.94	395	619	81	700	88	12
19.12.94	625	1382	317	1699	81	19
16.05.95	843	3622	991	4613	79	21
26.06.95	863	3098	439	3537	88	12
30.08.95	301	943	87	1030	92	8
17.11.95	645	1008	235	1243	81	19
20.11.95	734	945	403	1348	70	30
19.12.95	432	407	161	568	72	28

Tab. 9.9: Schwebstoffmessungen Niegripp

9.3.2 Datenaufbereitung

Geometrie

Ergänzend zu den aufbereiteten Querprofilen mit eingebauten Bunnenschatten, wie sie für die Eichung des Modells mit fester Sohle herangezogen wurden, muß hier noch die geschiefeführende Breite und Tiefe definiert werden. Die Breite ergibt sich zwischen den Bunnfüßen

mit 110-155 m (Anlage IV-3), die Tiefe der festen Modellsohle wurde mit 5 m unter der Sohlgeometrie eingegeben.

Hydrologie

Die Erstellung von vier Abflußkurven mit den gleichen Gültigkeitsbereichen wie die Pegelkurven Tangermünde war für das Untersuchungsgebiet nicht möglich. Hierzu fehlten historische Wasserspiegelfixierungen in ausreichendem Umfang für eine plausible Verschiebung hin zu km 374,0. Für die Berechnung wurde daher nur mit der Abflußkurve, die für die Eichung mit fester Sohle erstellt wurde, gearbeitet.

Die Berechnung einer diskretisierten Ganglinie für das numerische Modell aus den Tagesabflußwerten und die notwendige Verkürzung der Zeitschritte wurden bereits im Berechnungsabschnitt Biosphärenreservat „Mittlere Elbe“ ausführlich erläutert. Die Abflußganglinie vom 01.11.65-31.10.96 ist mit $\Delta Q = 200 \text{ m}^3/\text{s}$ diskretisiert worden, so daß 647 Berechnungsschritte entstanden mit einer maximalen Zeitschrittlänge von 10 Tagen.

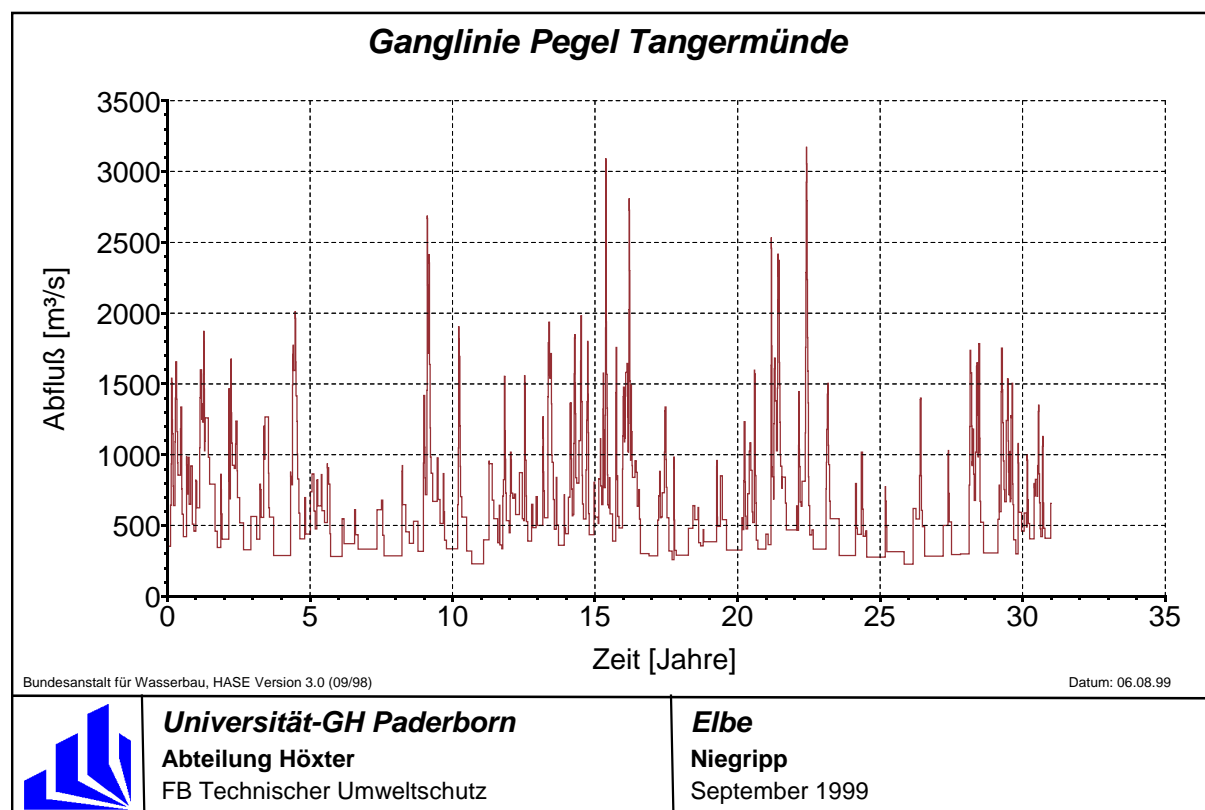


Abb. 9.9: Abflußganglinie Pegel Tangermünde (31 Jahre)

Sedimentologie

Die Kornverteilungskurven der vier Probenahmestellen der Sohle im Untersuchungsgebiet wurden auf einfach logarithmisches Zeichenpapier aufgetragen und von der deutschen Ver-

teilung nach DIN 4022 in das System der American Geophysical Union (AGU) umgerechnet. Im Modell wurden dann für die beprobten Elbe-km die jeweilige Kornverteilungskurve für die Berechnung vorgegeben.

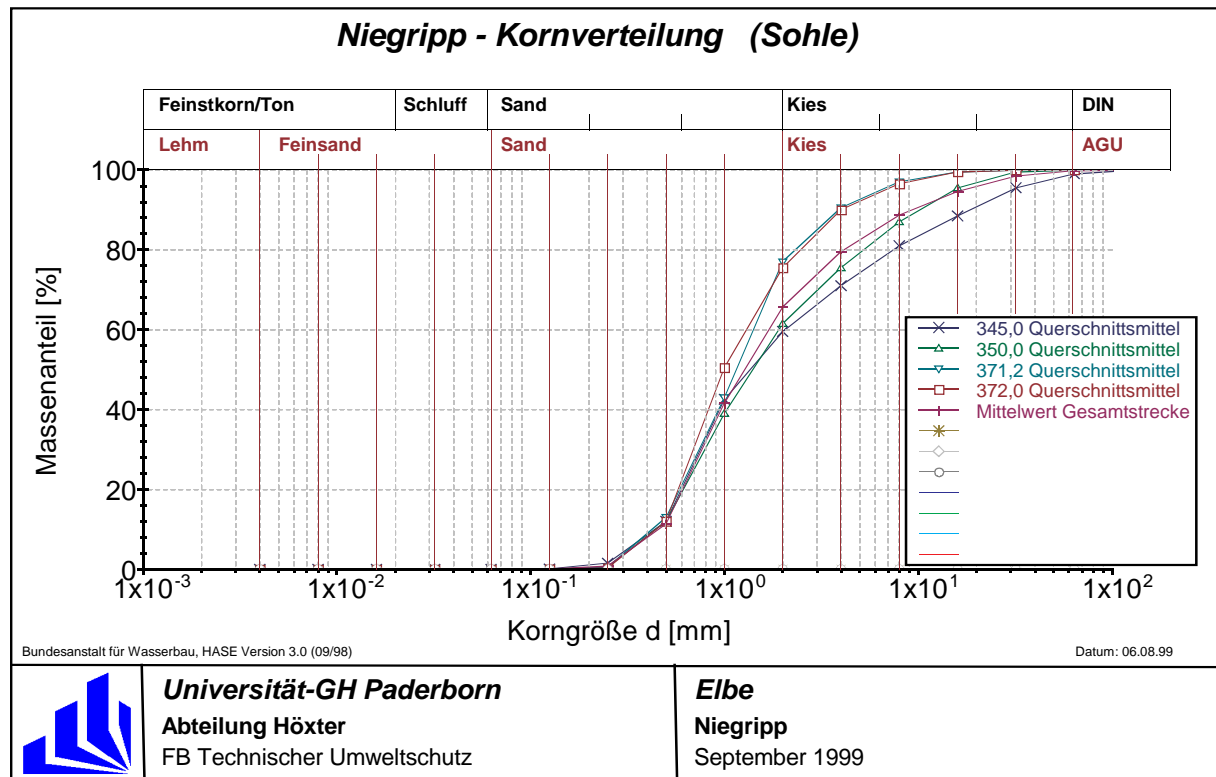


Abb. 9.10: Kornverteilung der Sohle

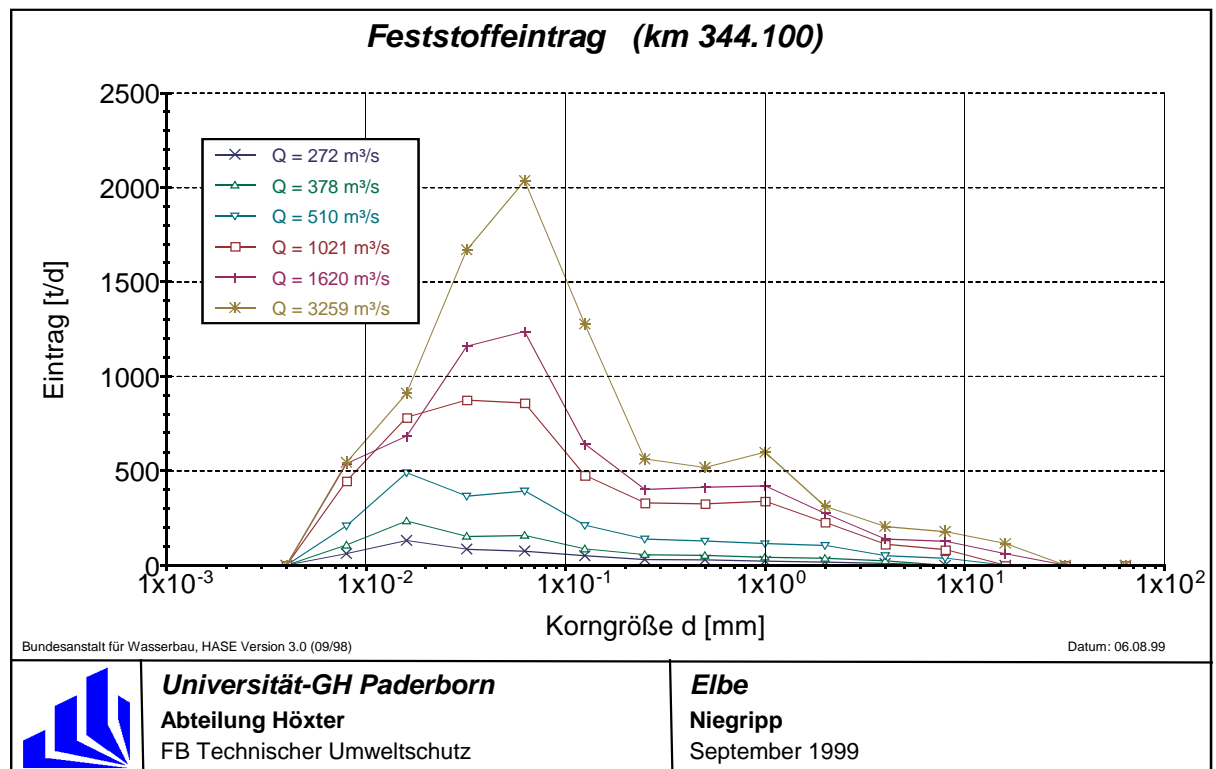


Abb. 9.11: Feststoffeintrag am oberstromigen Modellrand

Für den Feststoffeintrag am oberstromigen Modellrand muß für das Modell eine Abfluß-Transport-Beziehung der Gesamtfracht in [t/d] mit der zugehörigen Kornverteilung vorgegeben werden. Die Geschiebe- und Schwebstoffmessungen der Meßstelle Niegripp wurden ausgewertet und eine Abfluß-Fracht-Beziehung über den Meßbereich ($Q= 301-1312 \text{ m}^3/\text{s}$) hinaus bis zum kleinsten/größten aufgetretenen Abfluß der diskretisierten Ganglinie mit extrapoliert (Anlage IV-3).

Die Abfluß-Fracht-Beziehung benötigt weiterhin die Eingabe der Korngrößenklassen für jede Fracht nach AGU. Für den Feinschweb und den suspendierten Sand der Schwebstoffmessung liegen keine Sieblinien vor. Die Anteile des Feinschwebs wurden auf die Klassen 0,004 mm bis 0,063 mm verteilt, der suspendierte Sand schließt sich dann bis zu einer Korngröße von 0,5 mm an. Die Kornverteilung der Geschiebemessungen wurden graphisch aufgetragen und in das AGU-System umgerechnet. Aus den Verteilungen der Korngrößenklassen für die Geschiebe- und Schwebstoffmessungen wurde dann eine anteilmäßige Gesamtverteilung der Korngrößenklassen für die jeweiligen Abflüsse der Transportkurve erstellt (Anlage IV-3).

9.3.3 Modelleichung

Die Kornverteilung der Sohle, der Eintrag der Frachten und deren Verteilung, der Transportansatz sowie die Sensitivität des Modells gehören zu den Eichparametern und wurden zur Anpassung des Modells an die gegebenen Verhältnisse verändert.

Bei verschiedenen Testrechnungen zeigte sich, daß in einigen Abschnitten Erosionen bzw. Anlandungen in einer Größenordnung auftraten, die nicht nachvollziehbar bzw. erklärbar waren. Es erfolgte eine Überprüfung der geschiebeführenden Breite und der eingebauten Buhnen. Wie bereits in der Datenaufbereitung (Geometrie) erläutert, wurden die Buhnen in einigen Streckenabschnitten unter nochmaliger Betrachtung der Stromkarten und Luftbilder um maximal 10 m verkürzt oder verlängert. Aufgrund dieser Veränderungen mußte die hydraulische Eichung wiederum überarbeitet werden. Es sind jeweils die Ergebnisse der endgültigen Eichung aufgeführt worden. In der nachfolgenden Tabelle sind die veränderten Elbe-km aufgeführt, in denen die Buhnen modifiziert wurden.

Elbe-km	Buhnenköpfe
351,5 – 352,1	zurückgesetzt
353,5 – 354,0	zurückgesetzt
354,8 – 356,8	zurückgesetzt
357,3 – 358,6	zurückgesetzt
359,3 – 362,7	zurückgesetzt
370,1 – 372,6	vorgezogen

Tab. 9.10: modifizierte Buhnen

Eine historische Sohlpeilung zum Startpunkt der Eichganglinie lag nicht vor, da im Verbundprojekt nur eine Aufbereitung der aktuellen Querprofilpeilungen möglich war. Für das Untersuchungsgebiet km 344,1-374,0 sind nach Auswertungen der Bundesanstalt für Wasserbau im Bereich des GIW89* (20d) in den letzten 30 Jahren Sohleintiefungen von rund 20 cm aufgetreten [Faulhaber, 1997]. Abweichungen einzelner Profile im Bereich mehrerer Dezimeter (max. 6 Dezimeter) können bei der Eichung toleriert werden, solange sie nach einer gewissen Anlaufphase einen stabilen Zustand erreichen.

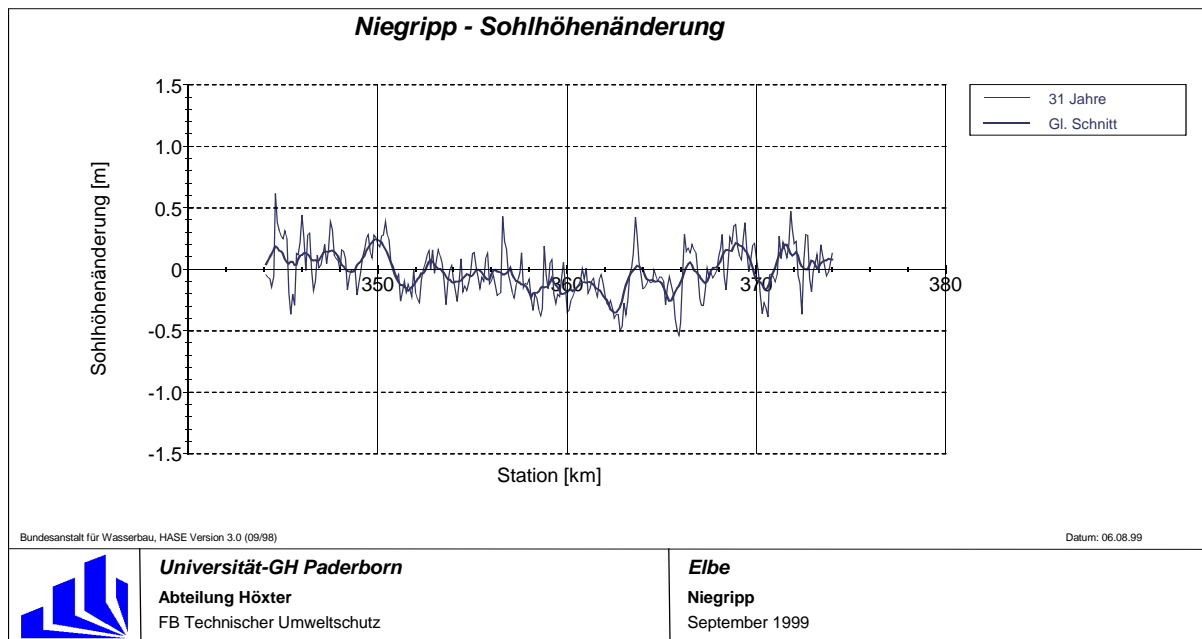


Abb. 9.12: Sohlhöhenänderung nach 31 Jahren Simulationszeit

Nach Vergleichsrechnungen wurde der Transportansatz nach Tofaletti-Schocklitsch ausgewählt. Bei kombinierten Ansätzen werden die Transportraten von HEC-6 für beide Ansätze getrennt berechnet und die größere der dabei ermittelten Transportraten wird für die folgende Berechnung des Zeitschrittes verwendet. Der kombinierte Ansatz wurde hier gewählt, da er eine größere Bandbreite abdeckt als der Tofaletti-Ansatz allein. Der Einsatzbereich von Tofaletti liegt bei großen Flüssen mit sandigem Bettmaterial, wie es in der Elbe vorkommt. Der Ansatz nach Schocklitsch ist für kiesiges Material mit einem Korndurchmesser von $d_{50} = 0,3-5,0$ mm geeignet.

Die Sensitivität des Modells ist in drei Kategorien möglich. Für die Berechnungen dieses Streckenabschnittes wurde eine hohe Sensitivität gewählt, da die Geschiebemessungen gegenüber der Geometrie den größeren Unsicherheitsfaktor in der Datengrundlage darstellen.

Insgesamt liegt die mittlere Sohlhöhenänderung über die ersten zwei Drittel der Untersuchungsstrecke bei -6 cm und im letzten Drittel der Untersuchungsstrecke bei -3 cm (Anlage IV-3).

Die Kornzusammensetzung der Sohle wurde im Zuge der Eichung von zuvor vier definierten Meßpunkten auf zwei reduziert, wobei der Grundcharakter der Sohlentwicklung von einer größeren Kornverteilung am Modellbeginn zu einer feineren Kornverteilung zum Ende des Modells beibehalten wurde. Für den Abschnitt km 344,1-362,4 wurde die Kornverteilung der Meßstelle bei Elbe-km 350,0 verwendet. Es schließt sich ein Übergangsbereich mit einer linearen Anpassung bis hin zu km 368,0-374,0 mit der Kornverteilung der BfG-Messung des Elbe-km 372,0 an.

HEC-6 berechnet nur die Zusammensetzung der aktiven Sohlschicht, aus der Material in entsprechender Körnung entnommen oder abgelagert werden kann. Die Zusammensetzung der Sohle änderte sich im Laufe des Rechenganges und bewegte sich dabei im Bereich der gemessenen Sieblinien der Sohle. Bei den meisten Profilen war eine Anreicherung von größeren Körnern in der Sohle feststellbar, eine Abpflasterung trat nicht ein. Die Korngröße für 65% Siebdurchgang lag bei der Ausgangsverteilung zwischen 1,5 mm und 3 mm, am Ende des Eichzeitraumes lag sie im Mittel bei 4,5 mm (Anlage IV-3).

Ein wichtiges Eichkriterium ist die durchschnittliche Feststofftransportrate. Nach Messungen der Bundesanstalt für Gewässerkunde liegt diese für den Zeitraum 1992-1996 im Mittel bei 735.000 t/a [Schmidt u. Dröge, 1999]. Die Schwankungsbreite der Messungen liegt dabei von 570.000 t/a bis 1.100.000 t/a. Bei der Eichung mit HEC-6 lag die jährliche Transportfracht für den oben genannten Zeitraum bei rund 730.000 t/a und somit in der Größenordnung der BfG-Messungen. Die Sandfraktion (> 0,063 mm) der Berechnung lag bei der Eichung bei ca. 260.000 t/a. Der Massentransport über den Eichzeitraum ist in Anlage IV-3 dargestellt.

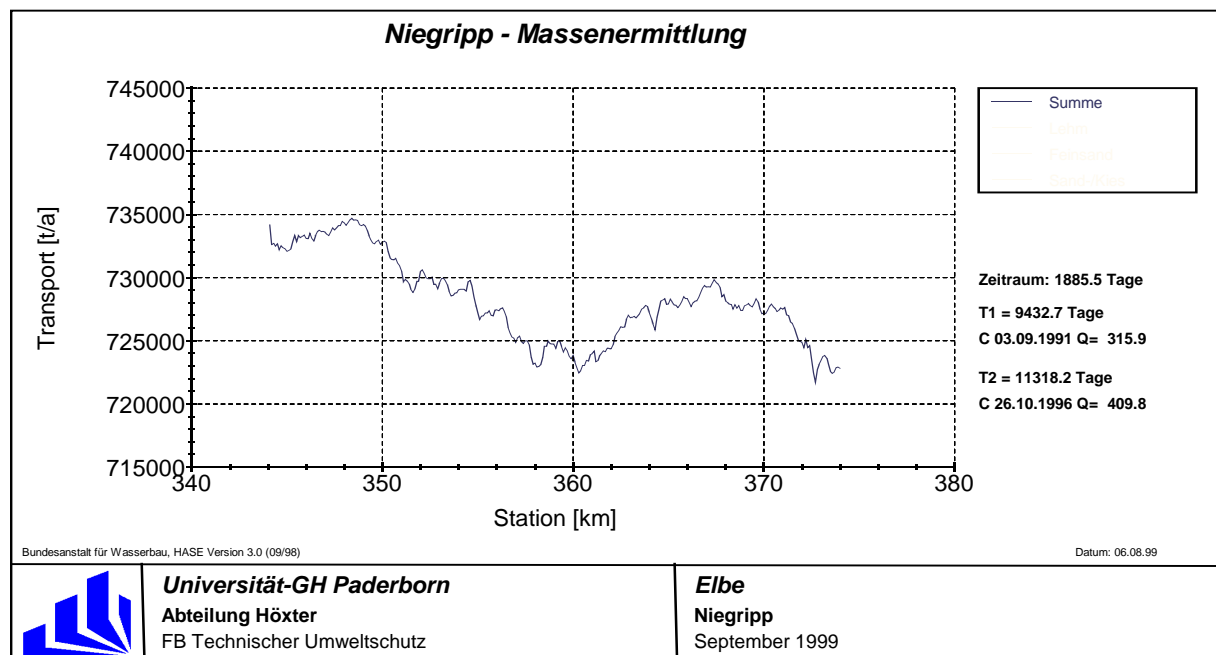


Abb. 9.13: Gesamttransport für den Zeitraum 1992-1996

Eine Untersuchung von vergleichbaren Abflüssen zeigte eine leichte Absenkung der Wasserspiegellagen zum Ende der Berechnungszeit für den Abschnitt km 360-365, in dem auch die größten Erosionstendenzen festzustellen waren. Beispielfür die Darstellung ist hier der geschiebeführende Abfluß von $Q = 508 \text{ m}^3/\text{s}$ gewählt worden. Der geschiebeführende Abfluß ist der Abfluß, bei dem die gleiche Geschiebefracht transportiert wird, wie die Summe der Frachten der jeweiligen Abflüsse der Ganglinie.

Es wurde hier der 06.10.1966 mit einem Abfluß von $Q = 509 \text{ m}^3/\text{s}$ mit dem Ereignis vom 27.01.1996 ($Q = 513 \text{ m}^3/\text{s}$) verglichen. Die Abweichungen von $\pm 7 \text{ cm}$ liegen noch in dem tolerierbaren Schwankungsbereich zwischen der Berechnung des Modells mit fester und beweglicher Sohle.

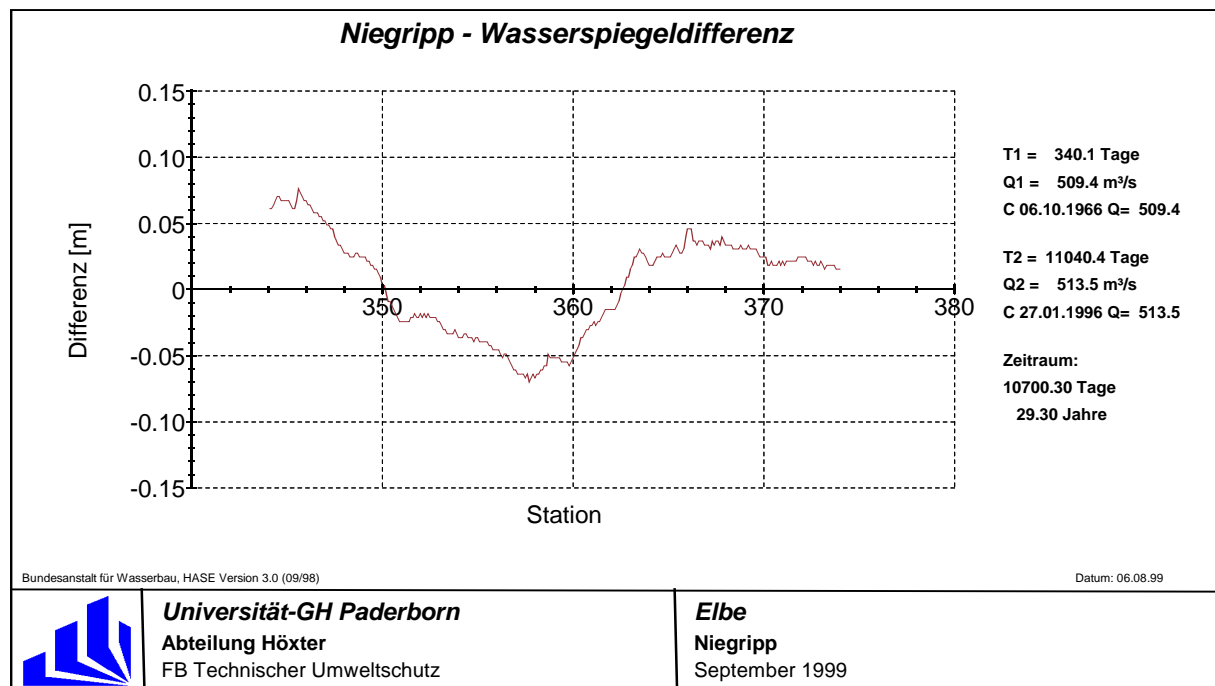


Abb. 9.14: Wasserspiegeldifferenz über einen Zeitraum von ca. 29 Jahren

In der nachstehenden Abbildung ist ein Vergleich des Talwegverlaufs und eines Abflusses in der Größenordnung des mittleren Niedrigwassers dargestellt. In der diskretisierten Ganglinie tritt der Tageswert vom 11.10.93 ($Q = 249 \text{ m}^3/\text{s}$) als Berechnungszeitschritt mit einem Abfluß von $Q = 294 \text{ m}^3/\text{s}$ auf. Dies erklärt, warum dieser Wasserspiegel rund 30 cm über dem fixierten Wasserspiegel vom 11.10.93 liegt.

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß vor dem Hintergrund des Datenmaterials die Eichung als ausreichend genau und zufriedenstellend zu bewerten ist.

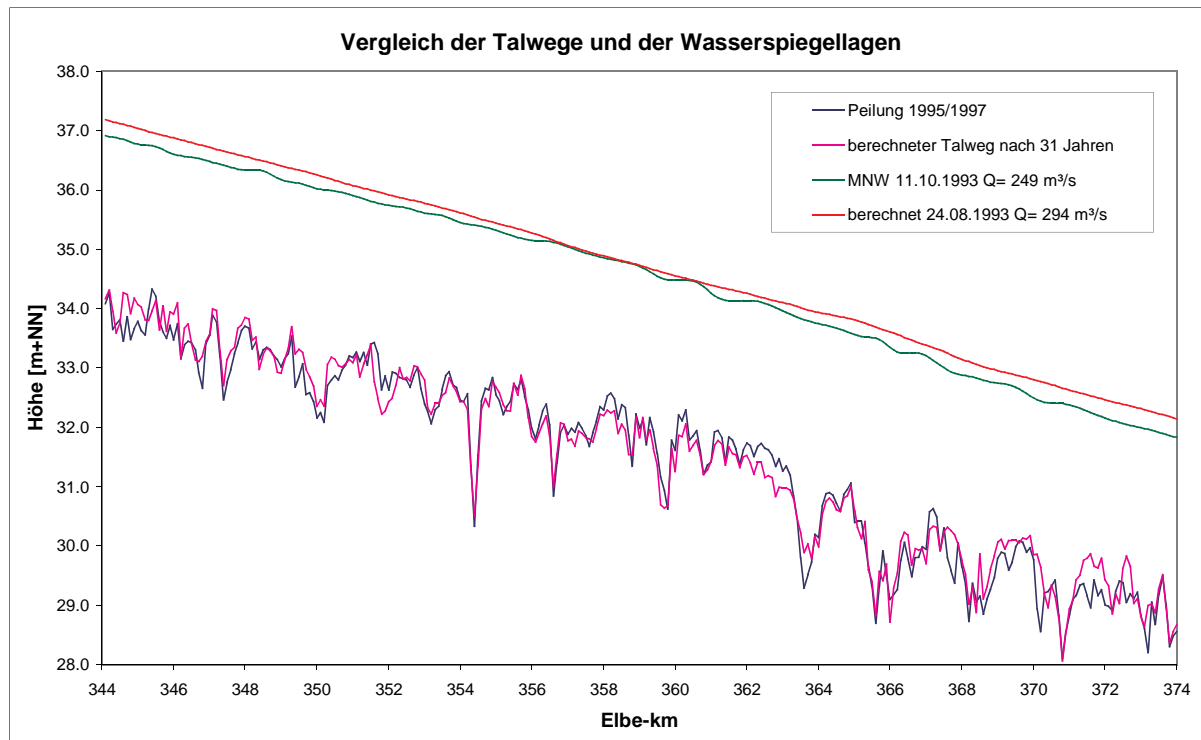


Abb. 9.15: Vergleich der Talwege und Wasserspiegellagen

9.4 Diskussion der Ergebnisse

Die Genauigkeit der Eichung ist immer von der vorhandenen Datengrundlage und der Sorgfalt ihrer Aufbereitung abhängig. Bei diesem Streckenabschnitt zeigte sich erst in der sedimentologischen Eichung, daß in der Geometrie möglicherweise noch Fehler enthalten waren. Durch die nochmalige Überarbeitung der Buhndaten konnten die Genauigkeit der Eingabedaten und die Eichung verbessert werden. Die Ergebnisse der sedimentologischen Berechnung zeigen einen mit den hydraulischen Parametern übereinstimmenden stabilen Verlauf der Sohle.

Zur Abschätzung von Strömungsparametern und sedimentologischen Kenngrößen ist dieses Modell sehr gut geeignet. Zum Aufbau eines Feststofftransportmodells mit höheren Anforderungen ist eine Aufbereitung historischer Daten (Sohlpeilung) ebenso wichtig wie eine Erweiterung der sedimentologischen Eingangsgrößen (Kornverteilung der Sohle, Geschiebe- und Schwebstoffeintrag).

10 Berechnungsstrecke NSG „Bucher Brack“

10.1 Beschreibung des Untersuchungsgebietes

Der Streckenabschnitt für die hydronumerische Modellierung umfaßt die Elbe-km 374,0 bis 390,0. Am Ende des Untersuchungsgebietes liegt der Pegel Tangermünde, an dem seit Anfang der 60-er Jahre Wasserstands- und Abflußmessungen durchgeführt werden.

Bei Elbe-km 389,3 führt über die Elbe eine Straßenbrücke, die im hydronumerischen Modell jedoch keine gesonderte Berücksichtigung fand. Ursache hierfür ist die Tatsache, daß der Rechenkern des Programmes HEC-6 im Gegensatz zu HEC-2 keine Bauwerke beinhaltet. Da die geeichte Geometrie des Modells mit fester Sohle in die Sedimenttransportberechnungen eingeht, wurde auf eine getrennte hydraulische Eichung mit Brückenbauwerk in HEC-2 verzichtet.

Etwa 6 km südlich von Tangermünde liegt das Naturschutzgebiet (NSG) „Bucher Brack“ auf der rechten Seite der Elbe. Die Aue ist hier vielfältig mit Flutrinnen und einem Altarm der Elbe durchzogen, der bereits bei kleineren Hochwasserereignissen regelmäßig durchströmt wird. Quer durch das Naturschutzgebiet verläuft ein Sommerdeich, der erst bei höheren Hochwasserereignissen überströmt wird. Zu Beginn der Fließstrecke von km 374-381 liegen die Deiche beidseitig sehr nah an der Elbe, die Breite der Vorländer liegt hier zum Teil unter einem Kilometer. Das Naturschutzgebiet „Bucher Brack“ stellt im Anschluß daran eine extreme Aufweitung dar, die teilweise durch den quer zur Elbe verlaufenden Sommerdeich wieder eingeengt wird. Hinter dem Sommerdeich erstrecken sich auf dem rechten Vorland wieder großflächige Auebereiche; das linke Vorland ist durch die Stadt Tangermünde relativ klein (Anlage V-1).

Der stetige Wechsel von starken Aufweitungen und Einschnürungen stellt höchste Ansprüche an die Datenaufbereitung für ein 1D-Modell, um die natürlichen Abflußverhältnisse ausreichend genau widerspiegeln zu können.

10.2 Hydraulisches Modell

10.2.1 Datengrundlage

Geometrie

Die Grundlage für die Querprofile war für diesen Untersuchungsabschnitt eine Sohlpeilung im Abstand von 200 m des WSA Magdeburg. Die im Oktober 1995 durchgeführte Peilung erstreckt sich von der Sohle bis zur Böschungsoberkante; Vorlandinformationen sind nicht

enthalten. Das Bezugssystem der Hektometersteine ist auf die Flußachse bezogen. Die Hektometersteine liegen jeweils 200 m links und rechts der vom WSA Magdeburg gerechneten Flußachse.

Für diesen Elbeabschnitt lag keine Bühnenpeilung vor. Die notwendigen Informationen über die Bühnen wurden aus den aktuellen Stromkarten der WSD Ost (Stand 1994) im Maßstab 1:2000 herangezogen, die allerdings nur bis km 385,0 vorlagen.

Hydrologie

Für die Eichung dieses Streckenabschnittes lagen Wasserspiegelfixierungen des WSA Magdeburg vor. Eine weitere Fixierung vom 05.03.1997, die im Rahmen einer 2D-Untersuchung des NSG „Bucher Brack“ von [Quoika u. Meon, 1997] im Auftrag des Staatlichen Amtes für Umweltschutz Magdeburg, aufgenommen wurde, stand ebenfalls zur Verfügung. Um das gesamte Abflußspektrum (insbesondere den HW-Bereich) bei der Eichung abdecken zu können, wurde auch auf Fixierungen vor dem Jahr 1990 zurückgegriffen. Dies ist in diesem Elbe-Abschnitt möglich, da laut Untersuchungen der Bundesanstalt für Wasserbau zur Entwicklung des GIW89* (20d) in den letzten 30 Jahren keine nennenswerte Erosions- oder Akkumulatontendenz der Sohle festzustellen war [Faulhaber, 1997].

Nachstehende Tabelle zeigt den Überblick der vorhandenen Fixierungen unter Angabe der Wasserstände und Abflüsse am Pegel Tangermünde (Elbe-km 388,2).

Datum	Wasserstand [m+NN]	Abfluß [m³/s]
11.10.1993	29,31	249
10.05.1989	30,78	560
12.05.1969	32,56	1284
05.03.1997	32,94	1620
19.03.1981	34,29	3250

Tab. 10.1: Wasserspiegelfixierungen

10.2.2 Datenaufbereitung

Geometrie

Mit Hilfe des Programmes PROFIL wurden Zwischenprofile im Flußschlauch interpoliert, so daß für die Modellstrecke eine Sohlgeometrie im Abstand von 100 m als Basis vorlag.

Die fehlenden Vorlandinformationen wurden durch das Verbundprojekt ergänzt. An der Universität-GH Paderborn, Abteilung Höxter erfolgte eine querprofilorientierte Aufnahme im Abstand von 100 m bis hin zu den Hochwasserdeichen aus der TK 10. Hierbei wurden die

Profile in Krümmungen unter strömungstechnischen Gesichtspunkten auf dem Vorland abgeknickt. Der Knickpunkt lag dabei an einem frei gewählten Punkt auf dem Vorland, so daß die Profile annähernd senkrecht zur Strömungsrichtung lagen. Die genaue Lage der abgeknickten Querprofile ist auf Lageplänen bei der Profilaufnahme festgehalten worden (Transparentpapier). Nachstehend sind die Profile aufgeführt, die im Vorland abgeknickt wurden.

Elbe-km	abgeknickte Profile
377,1 – 378,2	linkes Vorland
384,7 – 387,4	rechtes Vorland
388,2 – 388,8	rechtes Vorland

Tab. 10.2: abgeknickte Querprofile

Bedingt durch den mitten über das rechte Vorland verlaufenden Sommerdeich war eine strömungstechnische Aufbereitung der Vorländer für dieses Untersuchungsgebiet dringend notwendig. Laut Recherche von [Quoika u. Meon, 1997] war der Sommerdeich bei dem Hochwasser von 1981 nicht überströmt, ein Einstau von Unterstrom und Hinterströmen hat jedoch stattgefunden. Dies ist im 1D-Modell nicht exakt zu simulieren, da Querströmungen nicht berücksichtigt werden können. Das Abschneiden der Profile entlang eines 10°-Ablösewinkels bei starken Aufweitungen nach einem Deich bietet die Möglichkeit, die effektiv durchströmte Abflußfläche zu erfassen. Das NSG „Bucher Brack“ mit dem darin enthaltenen Altarm wird rückwärtig von Unterstrom eingestaut und kann im 1D-Modell nicht erfaßt werden. Durch zwei kleinere Leitdeiche und den großen Sommerdeich mußten Querprofile gekürzt werden (Tab. 10.3). Einen Überblick über die Geometrie für das hydronumerische Modell liefert der Lageplan in Anlage V-1.

Elbe-km	
382 – 383	Leitdeich links
382 – 385	Aufweitung nach Leitdeich bis zum Sommerdeich rechts
385 – 387,5	Aufweitung nach Sommerdeich bis zum Winterdeich rechts

Tab. 10.3: strömungstechnisch gekürzte Profile

Kleinere Gräben und Seen im Vorland wurden durch das Setzen von „encroachments“ im Programm HEC/HASE von der durchströmten Abflußfläche ausgenommen.

Da keine Bühnenpeilung vorlag, wurden die Bühnen und Parallelwerke aus den Stromkarten der WSD Ost abgeleitet. Die Stromkarten standen von km 374,0 bis 385,0 zur Verfügung, so daß für die letzten Modellkilometer Bühnen „nach Augenmaß“ in die Querprofile eingebaut werden mußten. Da die Bühnen nicht in dem regelmäßigen Abstand der Modellgeometrie von 100 m in der Elbe vorkommen, wurde die Streichlinie als Hilfsmittel herangezogen. Die

Breite zwischen den Streichlinien für diesen Streckenabschnitt beträgt rund 160-170 m, so daß diese Vorgabe für die fehlenden Buhnen als Richtlinie herangezogen werden konnte. Auf Luftbildern einer MNW-Befliegung der WSD Ost von 1992 konnten außerdem die Streckenabschnitte mit Leitwerken charakterisiert werden (links: km 385,8-386,3 u. km 388,0-390,0). Für die Rücken­neigung der Buhnen wurde 1:200 angesetzt, die Kopfneigung mit 1:5 vorgegeben. Die Höhe der Buhnenköpfe wurde in Anlehnung an den RW59 festgelegt.

Nach dem Einbau der Buhnen in die Geometrie mit Hilfe des Programmes PROFIL erfolgte eine optische Kontrolle für jedes Querprofil. In einigen Bereichen war eine Veränderung der Kopf- oder/und Rücken­neigung notwendig. Im Elbe-Abschnitt km 385,0-390,0 wurden die eingebauten Buhnen kritisch überprüft. In der Flußpeilung ist die Lage der Buhnenfüße durch Kolkbildung oder Peilung über die Buhne hinweg meist gut zu erkennen, so daß hier vom Buhnenfuß ausgehend der Kopf und der Rücken nachgebildet werden konnten.

Für die Dreiteilung des Querprofils in den Flußschlauch und die Vorländer wurde für diesen Streckenabschnitt die Uferpunkte auf die Böschungsoberkante gelegt. Liegen die Uferpunkte auf der Böschungskante ist zu beachten, daß ein stetiger Verlauf der Höhe und Lage in Fließrichtung eine gleichmäßige Überströmung des Vorlandes bei ausufernden Wasserständen gewährleistet.

Die Fließlänge für diesen Elbeabschnitt wurde als Verbindung der Schwerpunktslage unter dem Hochwasser von 1981 mit Hilfe des Programmes PROFIL bestimmt. In Bereichen mit abgекnickten Querprofilen wurden die Fließlängen auf dem für die Querprofil­aufnahme erzeugten Lageplan (Transparentpapier) ausgemessen.

Hydrologie

Die Wasserspiegelfixierungen wurden in unregelmäßigen Abständen von 500 m im MNW- und MW-Bereich bis hin zu mehreren Kilometern bei den Hochwasserfixierungen von 1981 und 1997 aufgenommen. Die ältere Fixierung von 1969 lag als Längsschnitt vor, für jeden Elbe-Kilometer konnte ein Wasserspiegel entnommen werden. Um für jedes Querprofil einen interpolierten Wasserspiegel zu erhalten, wurde durch die oben aufgeführten Wasserspiegelfixierungen mit Hilfe des Programmes PROFIL eine spline-Funktion durch die Punkte gelegt.

Das Hochwasser von 1981 zeigt bei km 382,9 und km 385,0 zwei Wasserspiegelhöhen, die deutlich unterhalb der übrigen Fixierungspunkte liegen. Eine mögliche Erklärung hierfür ist, daß dieses Hochwasser als Ablesung der Deichmarken am Winterdeich auf der rechten Vorlandseite aufgenommen wurde. Der im NSG „Bucher Brack“ liegende Sommerdeich war zu diesem Zeitpunkt nicht überströmt, so daß hier nur ein rückwärtiger Einstau auftrat. Der Wasserstand am Winterdeich war damit niedriger als am Sommerdeich. Die Tatsache, daß beide Elbe-Kilometer die gleiche Höhe von 34,47 mNN aufweisen, bestätigt diese Vermutung. Aus diesem Grund wurden diese beiden Fixierungspunkte nicht für die Interpolation der Wasserspiegel herangezogen.

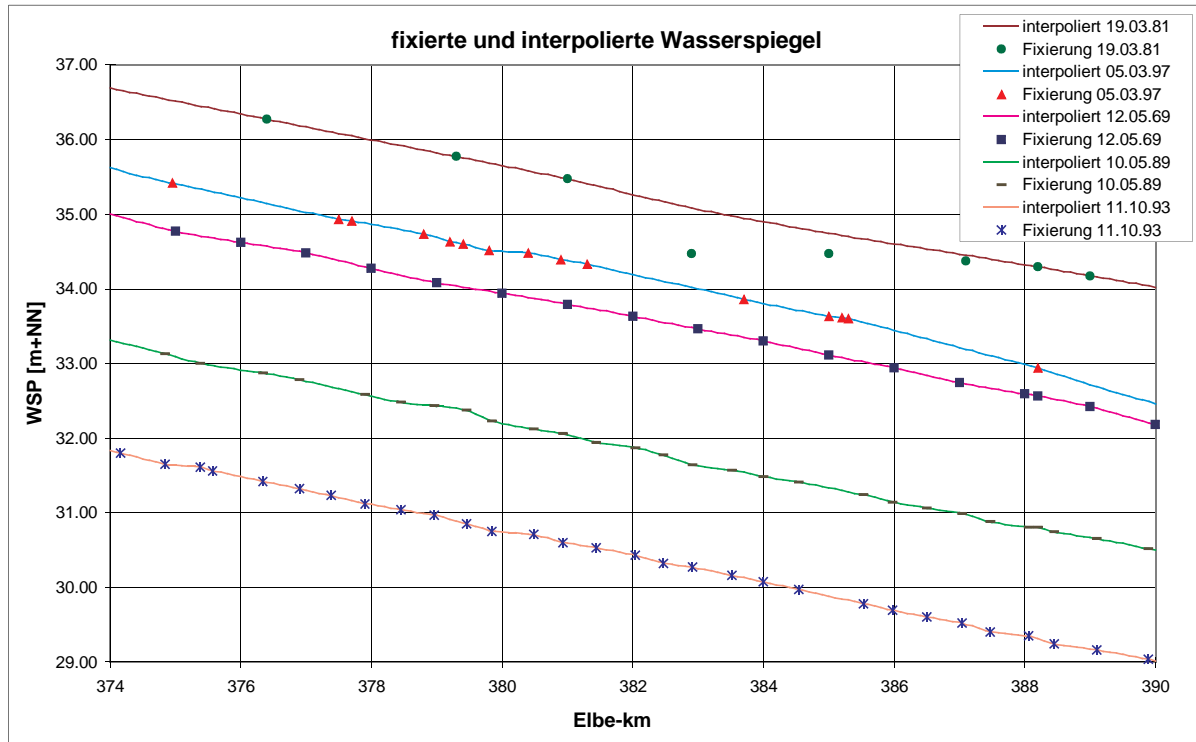


Abb. 10.1: Vergleich fixierter und interpolierter Wasserspiegel

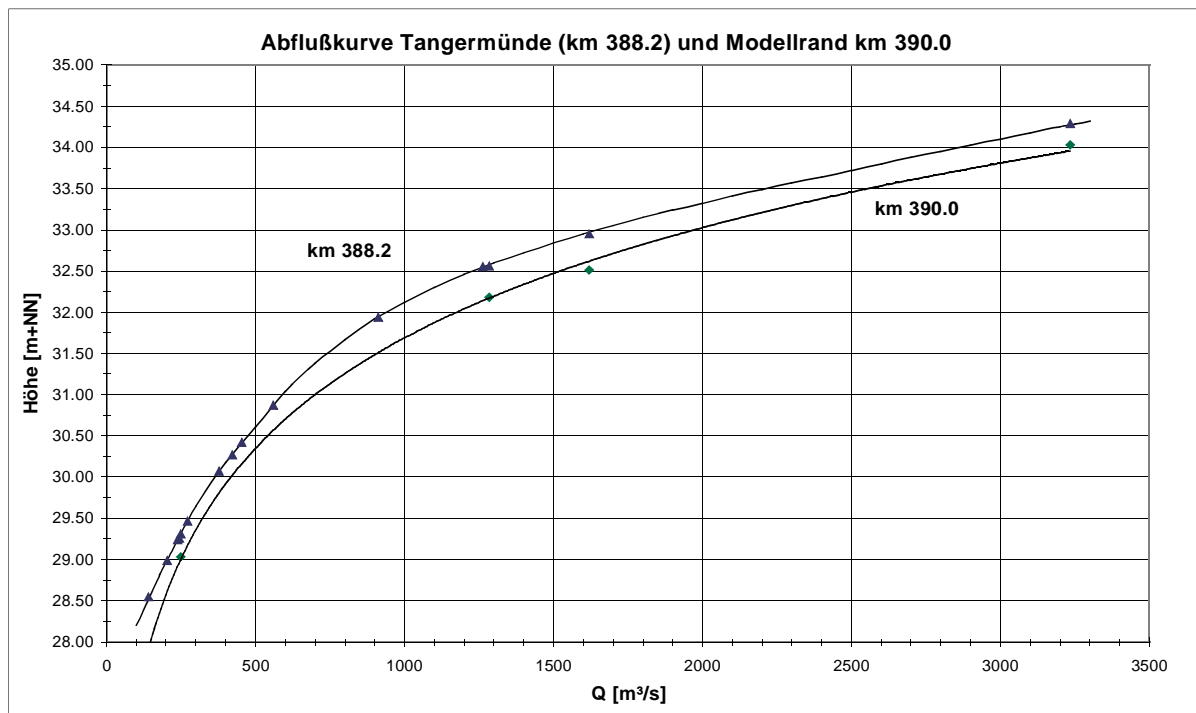


Abb. 10.2: Abflußkurven Pegel Tangermünde und unterstromiger Modellrand

Zum Zeitpunkt der Untersuchung dieses Elbe-Abschnitts lag noch keine Zeitreihenanalyse des Pegels Tangermünde von TPI.4 „Hydrologische Analyse und Datenmanagement“ vor. Deshalb wurde aus den Pegelwerten Tangermünde und den Wasserspiegelfixierungen eine

Abflußkurve für den Pegel Tangermünde angefertigt. In Anlehnung an diese Pegelkurve und Wasserspiegelfixierungen am Elbe-km 390,0 wurde für den unterstromigen Modellrand eine Wasserstands-Abfluß-Beziehung graphisch auf Millimeterpapier erstellt. In einer späteren Überprüfung dieser Schlüsselkurve mit der aus der Zeitreihenanalyse von TPI.4 erstellten Abflußkurve für den Zeitraum 11/1980 – 10/1995 konnte eine weitgehende Übereinstimmung festgestellt werden.

10.2.3 Modelleichung

Die Eichung des Streckenabschnittes km 374,0-390,0 wurde mit der Kombination der Programme HEC/HASE durchgeführt, wobei für die hydraulische Eichung die bewegliche Sohlhöhe gleich Null gesetzt wurde. Es wurde nicht mit einer tiefenabhängigen Überströmung der Vorländer gearbeitet.

Eichung mittleres Niedrigwasser

Für die Eichung wurde die Fixierung vom 11.10.1993 mit einem Abfluß von $Q = 249 \text{ m}^3/\text{s}$ am Pegel Tangermünde herangezogen. Aus der zuvor erstellten Abflußkurve für km 390,0 wurde ein Startwasserspiegel von 29,01 mNN eingesetzt.

Die Rauheitsbeiwerte der Eichung sind in der Tabelle 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]
370,0 – 376,1	0,023	43,5
376,2 – 379,4	0,026	38,5
379,5 – 382,9	0,023	43,5
383,0 – 385,3	0,020	50,0
385,4 – 387,8	0,025	40,0
387,9 – 390,0	0,027	37,0

Tab. 10.4: Rauheitsbeiwerte mittleres Niedrigwasser

Die Rauheitsbeiwerte für diesen Abfluß zeigen eine relativ breite Streuung; der große Rauheitsbeiwert von $50 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ läßt sich nicht eindeutig erklären. In den Querschnitten der Elbe-km 384,8-385,0 treten extrem kleine Abflußflächen auf. Ursächlich ist dies auf Bühnen zurückzuführen, die in den Stromkarten eventuell nicht korrekt eingezeichnet worden sind.

Bedingt durch die engen Fließquerschnitte kurz vor km 385,0 kommt es bei der Berechnung zu einem kleinen Aufstau, der in der Fixierung nicht enthalten war. Die Folge ist, daß hier im 1D-Modell die größten Abweichungen der Wasserspiegellagen mit +8 cm auftreten.

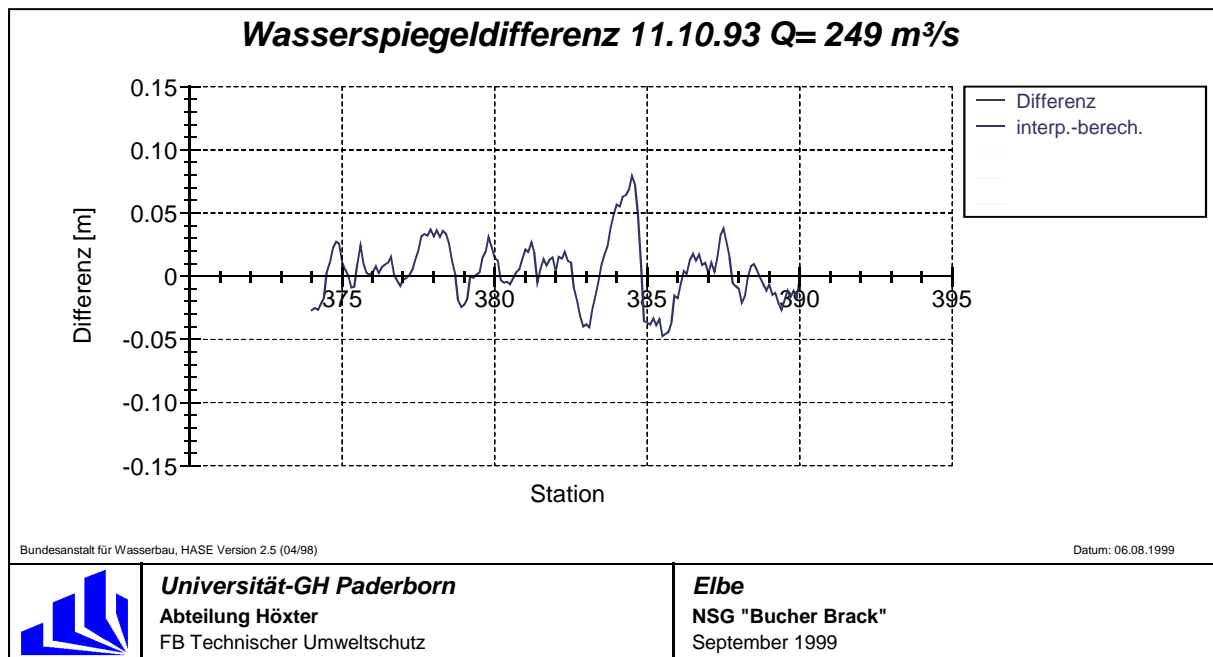


Abb. 10.3: Wasserspiegeldifferenz mittleres Niedrigwasser

Die Ergebnisse der Eichung dieses Abflusses (Abflußflächen, Fließgeschwindigkeiten, Schubspannung) sind graphisch in Anlage V-2 beigelegt. Bei einer durchschnittlichen Abflußfläche von 300 m² im Untersuchungsgebiet beträgt die Fließgeschwindigkeit im Flußschlauch 0,7 m/s bis 1,0 m/s. Nur in der oben beschriebenen Engstelle (km 385) werden 1,2 m/s bei einem Fließquerschnitt von 200 m² erreicht. Für den Bereich km 385-390, in dem keine Stromkarten zur Buhnenaufnahme vorlagen, zeigen sich keine Ausreißer. Es kann davon ausgegangen werden, daß die Lage der Buhnen richtig eingeschätzt wurde.

Die Schubspannung liegt in einer Größenordnung von 2,0 N/m² bis 5,0 N/m². An der Sohle ist daher nur mit einer Sedimentbewegung in der Körnungsklasse Mittelsand zu rechnen.

Eichung Mittelwasser

Hierzu wurde die Fixierung vom 10.05.1989 mit einem Abfluß von Q= 560 m³/s und einem Startwasserspiegel von 30,50 mNN aus der unterstromigen Schlüsselkurve verwendet. Nachfolgend sind die Rauheitsbeiwerte der Eichung für den Flußschlauch tabellarisch aufgeführt.

Elbe-km	n [s/m ^{1/3}]	k _{St} [m ^{1/3} /s]
374,0 – 375,9	0,024	41,7
376,0 – 379,5	0,022	45,5
379,6 – 380,9	0,024	41,7
381,0 – 385,0	0,021	47,6
385,1 – 390,0	0,025	40,0

Tab. 10.5: Rauheitsbeiwerte Mittelwasser

Die Strickler-Beiwerte zum Abgleich der berechneten mit der in der Natur aufgenommenen Wasserspiegellage liegen für diesen Abfluß insgesamt etwas höher als beim mittleren Niedrigwasser. Eine mögliche Ausbildung von Transportkörpern (z.B. Riffel), die über die Sohle wandern und zu Turbulenzen im Wasserkörper führen, verlieren mit steigendem Wasserstand an Einfluß.

Die Abweichungen zwischen interpolierter und mit dem Programm HEC-2 berechneter Wasserspiegellage betragen maximal +/-5 cm und liegen damit in der für die Eichung angesetzten Fehlertoleranz von 10 cm.

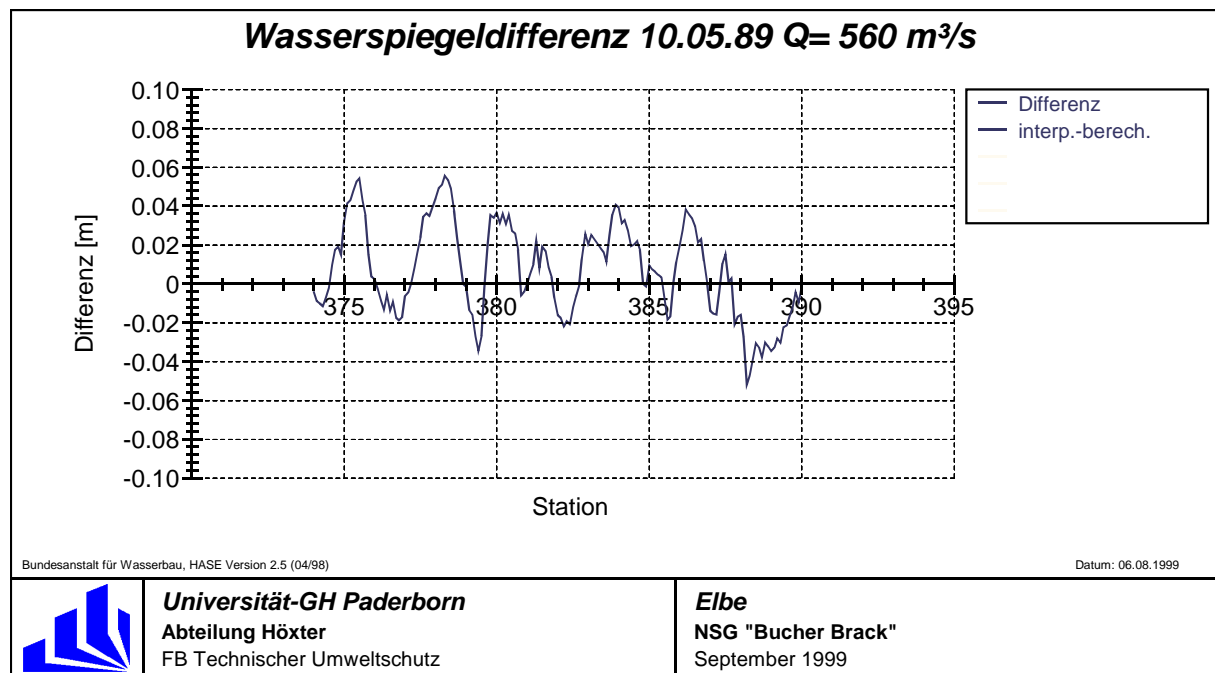


Abb. 10.4: Wasserspiegeldifferenz Mittelwasser

Die weiteren Ergebnisse der Eichung sind als Grafiken in Anlage V-2 festgehalten. Insgesamt zeigt sich gegenüber dem mittleren Niedrigwasser ein weitgehend ausgeglichener Verlauf der Strömungsparameter. Die Spitzen der Fließgeschwindigkeit durch die engen Fließquerschnitte bei km 385 treten hier nicht mehr auf, da die Bühnenköpfe in diesem Abschnitt bereits überströmt werden und dadurch die Abflußfläche vergrößert wird. In diesem Streckenabschnitt liegen die Fließquerschnitte zwischen 500 m² und 600 m². Die Geschwindigkeiten betragen durchschnittlich 1,1 m/s. Korrespondierend zu den größten Fließgeschwindigkeiten zeigt sich auch der größte Angriff des strömenden Wassers auf die Sohle. Die Schubspannung erreicht hier Spitzenwerte von 8,0 N/m², während bei großen Abflußflächen die Gesamtschubspannung nur Werte um 4,0 N/m² erreicht. Ein Vergleich mit der kritischen Schubspannung nach DIN 19661 zeigt, daß für Grobsand (0,63 mm bis 2,0 mm) der Grenzwert von 6,0 N/m² überschritten wird und mit beginnendem Sedimenttransport an der Sohle in dieser Korngrößenklasse zu rechnen ist.

Eichung Hochwasser 1

Die Fixierung vom 12.05.1969 mit $Q= 1284 \text{ m}^3/\text{s}$ zeigt eine beginnende Überflutung der Vorländer. Der Startwasserspiegel für den unterstromigen Modellrand wurde aus der Abflußkurve mit 32,18 mNN ermittelt. In Anlage V-2 sind die Ergebnisse dieser Eichung graphisch festgehalten, die verwendeten Rauheitsbeiwerte für den Flußschlauch sind in der Tabelle aufgeführt. Für das relativ gleichmäßig strukturierte Vorland wurde über die gesamte Untersuchungsstrecke ein Rauheitsbeiwert von $0,033 \text{ s/m}^{1/3}$ ($30,3 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$) verwendet.

Elbe-km	Flußschlauch	
	$n \text{ [s/m}^{1/3}]$	$k_{st} \text{ [m}^{1/3}/\text{s}]$
374,0 – 378,4	0,024	41,7
378,5 – 379,9	0,020	50,0
380,0 – 381,1	0,022	45,5
381,2 – 387,7	0,024	41,7
387,8 – 390,0	0,027	37,0

Tab. 10.6: Rauheitsbeiwerte Hochwasser 1 (Flußschlauch)

Die Eichung eines Abflusses, der an einigen Stellen bereits in das Vorland ausufert und in anderen Bereichen noch im Flußschlauch abgeführt wird, ist immer von besonderer Bedeutung, da die Überflutung von Profil zu Profil gleichmäßig erfolgen muß. Die relativ hohen Strickler-Beiwerte weisen darauf hin, daß der größte Abflußanteil innerhalb des Flußschlauches abgeführt wird.

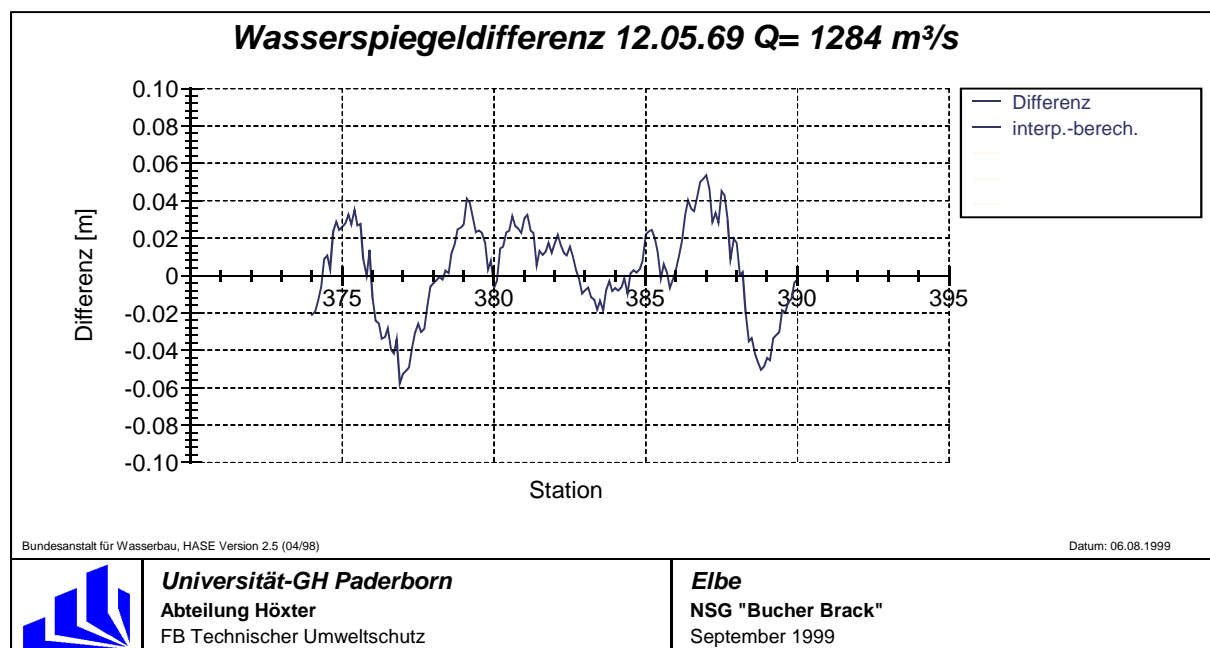


Abb. 10.5: Wasserspiegeldifferenz Hochwasser 1

Die Differenz zwischen aus der Fixierung interpolierter Wasserspiegellage und mit dem Modell berechneter Wasserspiegelhöhe liegt in der Fehlertoleranz von 10 cm. Weil die Fixierung nur im Kilometer-Abstand vorlag, zeigt sich ein insgesamt sehr geradliniger Verlauf, der mit dem Modell gut nachgebildet werden konnte (Abweichungen maximal -6 cm bzw. $+5$ cm). Mögliche Schwankungen im Gefälle zwischen den Fixierungspunkten sind nicht erfaßt und können folglich im Modell nicht nachvollzogen werden.

Bei bordvollem Abfluß zeigen sich Abflußflächen von durchschnittlich 1000 m^2 im Hauptgerinne. Auf der linken Seite finden kaum Ausuferungen statt, während auf der rechten Vorlandseite Abflußflächen bis zu 250 m^2 auftreten. In der Aue sind die Wassertiefe und die Fließgeschwindigkeit noch sehr niedrig. Es kann davon ausgegangen werden, daß bei diesem Abfluß das Wasser langsam in die Aue einzuströmen beginnt. Im Flußschlauch liegen die Geschwindigkeiten deutlich höher als bei Mittelwasser und erreichen Werte von $1,1 \text{ m/s}$ bis zu $1,4 \text{ m/s}$ in engen Querschnitten.

Der bettbildende Abfluß liegt im Bereich des bordvollen Abflusses, was sich auch in der berechneten Schubspannung ($6,0 \text{ N/m}^2$ bis $12,0 \text{ N/m}^2$) zeigt, die für dieses Untersuchungsgebiet über der kritischen Schubspannung von $6,0 \text{ N/m}^2$ (Grobsand) bzw. $9,0 \text{ N/m}^2$ (Sand-Kies-Gemisch) liegt.

Eichung Hochwasser 2

Die Fixierung vom 05.03.1997 ist mit einem Abfluß von $Q = 1620 \text{ m}^3/\text{s}$ am Pegel Tangermünde belegt. Diese liegt rund $120 \text{ m}^3/\text{s}$ unter dem MHQ ($1741 \text{ m}^3/\text{s}$) der Jahresreihe 1964-1995 des Pegels. Der Startwasserspiegel für den unterstromigen Modellrand (km 390,0) wurde aus der Schlüsselkurve mit $32,46 \text{ mNN}$ entnommen. Aufgrund der gleichmäßig strukturierten Wiesen und Weiden im Vorland wurde für das gesamte Untersuchungsgebiet ein Rauheitsbeiwert von $0,033 \text{ s/m}^{1/3}$ ($30,3 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$) für die Vorländer beibehalten. Die Rauheitsbeiwerte für den Flußschlauch sind der nachstehenden Tabelle zu entnehmen.

Elbe-km	Flußschlauch	
	$n \text{ [s/m}^{1/3}]$	$k_{\text{st}} \text{ [m}^{1/3}/\text{s]}$
374,0 – 376,7	0,027	37,0
376,8 – 378,9	0,024	41,7
379,0 – 380,5	0,022	45,5
380,6 – 384,1	0,025	40,0
384,2 – 386,6	0,028	35,7
386,7 – 388,1	0,026	38,5
388,2 – 390,0	0,028	35,7

Tab. 10.7: Rauheitsbeiwerte Hochwasser 2 (Flußschlauch)

Die Wechselwirkung des überströmten Vorlandes auf den Flußschlauch zeigt sich deutlich bei den Rauheiten. Die Strickler-Beiwerte liegen über den gesamten Verlauf betrachtet niedriger als beim vorher untersuchten Abfluß (Hochwasser 1).

Die Differenzen zwischen interpoliertem Wasserstand und mit HEC berechnetem Wasserspiegel liegen zwischen -5 cm und $+6$ cm und damit in einer für ein Hochwasser dieser Größenordnung sehr guten Genauigkeit.

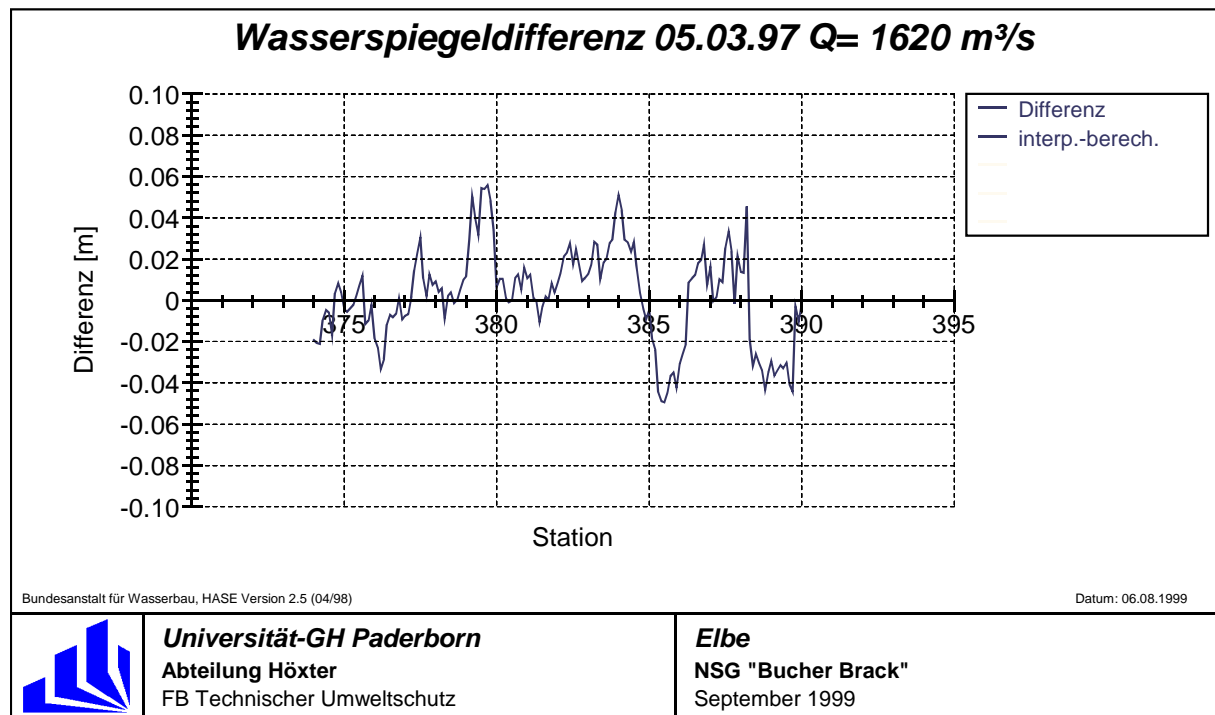


Abb. 10.6: Wasserspiegeldifferenz Hochwasser 2

Die Grafiken der strömungstechnischen Parameter Abflußfläche, Fließgeschwindigkeit und Schubspannung sind in Anlage V-2 beigefügt. Über das gesamte Untersuchungsgebiet sind Ausuferungen in die Aue zu erkennen. Da im 1D-Modell die effektive Abflußfläche des strömenden Wassers erfaßt wird und im Bereich des rückwärtig eingestauten NSG „Bucher Brack“ umfangreiche Aufbereitungen in der Geometrie notwendig waren, zeigen sich in diesem Bereich (km 381-384) im 1D-Modell nicht die größten Überflutungsflächen. Dies heißt aber nicht, daß in der Natur hier kein Wasser in der Aue steht; im Gegenteil, bei diesem Abfluß füllt sich der Altarm der Elbe von Unterstrom. Das Modell zeigt aber nur die tatsächlich durchströmten Abflußflächen in eine Fließrichtung. In diesem Streckenabschnitt können deshalb die vorhandenen Überflutungsflächen nicht korrekt abgebildet werden.

Die Abflußflächen im Flußschlauch steigen gegenüber dem Hochwasser 1 verhältnismäßig wenig an und liegen im Mittel bei 1200 m^2 . Korrespondierend dazu zeigen sich die Geschwindigkeiten, die im Hauptgerinne durchschnittlich $1,3 \text{ m/s}$ betragen. In der Aue werden maximale Fließgeschwindigkeiten von $0,5 \text{ m/s}$ erreicht. Zu beachten ist hierbei, daß es sich

im 1D-Modell nur um einen über das Vorland gemittelten Wert handelt und Querströmungen in der Aue nicht erfaßt werden.

Die Schubspannung steigt insgesamt gegenüber dem Hochwasser 1 an und zeigt Werte in einer Schwankungsbreite von 7,0 N/m² bis 13,0 m². Am Modellende im Bereich der Stadt Tangermünde sind die Überflutungsflächen gering, entsprechend werden höhere Schleppspannungen berechnet.

Eichung Hochwasser 3

Um für den Hochwasserfall Aussagen treffen und für das Modell mit beweglicher Sohle die Pegelganglinie nachfahren zu können, ist die Eichung eines extremen Hochwassers von Bedeutung. Der Startwasserspiegel für das Hochwasser von 1981 mit dem Scheitel am 19.03.1981 beträgt 34,02 mNN bei Elbe-km 374,0. Der Abfluß wurde zu diesem Zeitpunkt mit $Q = 3250 \text{ m}^3/\text{s}$ am Pegel Tangermünde gemessen. Für die linken und rechten Vorländer wurde mit einem Rauheitsbeiwert von $0,033 \text{ s/m}^{1/3}$ bzw. $30,3 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ gerechnet. Die Rauheitsbeiwerte des Flußschlauches sind in der unten aufgeführten Tabelle enthalten.

Elbe-km	Flußschlauch	
	$n \text{ [s/m}^{1/3}]$	$k_{st} \text{ [m}^{1/3}/\text{s}]$
374,0 – 376,2	0,022	45,5
376,3 – 379,3	0,019	52,6
379,4 – 382,1	0,020	50,0
382,2 – 384,8	0,019	52,6
384,9 – 386,8	0,020	50,0
386,9 – 390,0	0,021	47,6

Tab. 10.8: Rauheitsbeiwerte Hochwasser 3 (Flußschlauch)

Die Rauheitsbeiwerte erreichen im Flußschlauch sehr große Werte, da bei diesem Wasserstand ein von der Sohle und dem Vorland weitgehend unbeeinflußter Abfluß stattfindet. Außerdem können durch die hydraulische Aufbereitung der Vorländer die Modell-Abflußflächen im Vorland etwas zu klein sein. Es mußte hier aber ein Kompromiß geschlossen werden, da nur mit einer einzigen Geometrie in der Sedimentrechnung gearbeitet werden kann. Hochwasserereignisse dieser Größenordnung treten in der Ganglinie relativ selten auf. Daher wurde bei der Aufbereitung der Querprofile für die Strömungsführung eine korrekte Abbildung der Abflußführung eines MHQ bevorzugt.

Die Differenzen zwischen dem interpolierten Wasserstand des Abflusses von $Q = 3250 \text{ m}^3/\text{s}$ und dem mit HEC berechneten Wasserspiegel liegen zwischen -8 cm und $+8 \text{ cm}$.

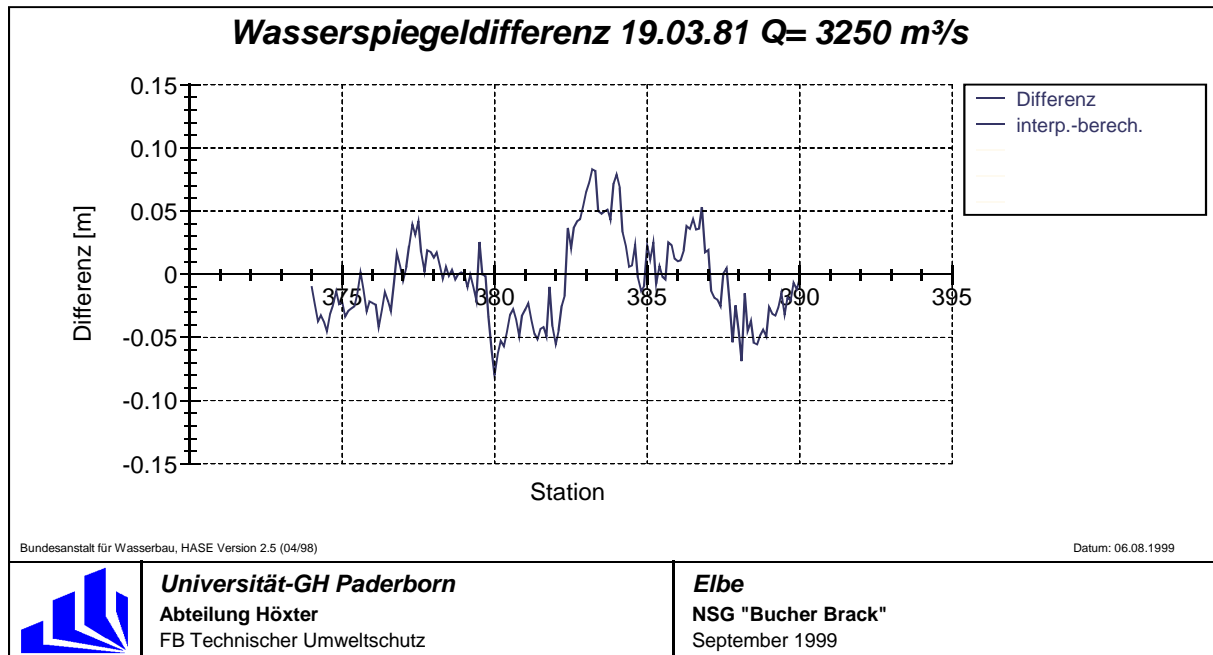


Abb. 10.7: Wasserspiegeldifferenz Hochwasser 3

Die Ergebnisse dieses Eichabflusses sind graphisch in Anlage V-2 beigelegt. Die größten Abflußflächen zeigen sich in der rechten Aue im Abschnitt km 382-385, in dem sich auch das NSG „Bucher Brack“ mit dem Altarm befindet. Die Einschnürung bei km 384-385 ist auf den im NSG verlaufenden Sommerdeich, der bei diesem Wasserstand nicht überströmt wurde, zurückzuführen. Erst am Ende des Sommerdeiches ist wieder eine Zunahme der Abflußflächen auf dem rechten Vorland zu erkennen. Von km 388-390 liegt auf der linken Elbeseite die Stadt Tangermünde, hier treten keine Überflutungsflächen auf. Die Fließgeschwindigkeit erreicht im Flußschlauch durchschnittlich knapp 2,0 m/s und beträgt über den Vorländern rund 0,5 m/s.

Die Schubspannung bei diesem Abflußereignis schwankt zwischen 6,0 N/m² und 17,0 N/m² und liegt damit nur unwesentlich höher als beim Hochwasser 2. Dies zeigt, daß selbst bei höchsten Hochwasserereignissen nicht die größten Umlagerungen an der Sohle auftreten, sondern eher im Bereich des bordvollen Abflusses bzw. des MHQ zu finden sind.

10.3 Sedimentologisches Modell

10.3.1 Datengrundlage

Geometrie

Ausgangsbasis für die Berechnung mit beweglicher Sohle ist das geeichte hydronumerische Modell mit fester Sohle, wie es im vorangegangenen Kapitel beschrieben wurde. Die Geometrie und die tiefenabhängigen Rauheitsbeiwerte für den Flußschlauch und die definierten Rauheitsbeiwerte für das Vorland wurden direkt übernommen.

Hydrologie

Für die Erstellung der Ganglinie lagen die Tageswerte des Abflusses am Pegel Tangermünde seit 1961 vor. Um den möglicherweise signifikanten Einfluß des Staustufenbaus in Tschechien, der in den 60er Jahren abgeschlossen wurde, auszugrenzen, wurde eine Pegelganglinie nur für die letzten 31 Jahre gewählt. Es wurden die Tageswerte aus den Jahren 01.11.1965 bis 31.10.1996 zur Aufstellung der Eichganglinie für das Modell verwendet.

Wie bereits im vorigen Kapitel beschrieben, lag zum Zeitpunkt der Untersuchung dieses Elbe-Abschnitts noch keine Zeitreihenanalyse des Pegels Wittenberg von TPI.4 vor. Aus diesem Grund fand über den gesamten Simulationszeitraum die eigens erstellte Schlüsselkurve für den unterstromigen Modellrand bei km 390,0 ihre Anwendung.

Sedimentologie

Die Sohldaten wurden dem BfG-Bericht „Kornzusammensetzung der Elbesohle von der tschechisch-deutschen Grenze bis zur Staustufe Geesthacht“ [Haunschild et al. 1994] entnommen. Demzufolge lagen für den Streckenabschnitt km 374,0-390,0 an vier Meßpunkten Daten der Sohlzusammensetzung vor. Für die Meßstellen km 380,0 und km 388,0 lagen jeweils Querschnittsmittelwerte und Einzelbeprobungen links-mitte-rechts vor. Für die Meßpunkte an den Elbe-km 377,5 und 386,0 lagen nur Meßwerte aus der Flußmitte vor. Für die Untersuchungen wurde außerdem die Sohlbeprobung des Elbe-km 372,0, die als Einzelwerte links-mitte-rechts vorlag, herangezogen.

Für den Eintrag der Geschiebe- und Schwebstofffrachten am oberstromigen Modellrand konnte auf eine Meßstelle der Bundesanstalt für Gewässerkunde im Untersuchungsgebiet bei Tangermünde (km 388,8) zurückgegriffen werden. Zum Zeitpunkt des Modellaufbaus lagen Geschiebe- und Schwebstoffmessungen aus den Jahren 1994-1997 vor. Die Meßwerte sind hier tabellarisch aufgeführt, um die Streuung der Parameter aufzuzeigen.

Datum	Abfluß [m³/s]	Feinschweb [t/d]	susp. Sand [t/d]	Gesamt [t/d]	Fein [%]	Sand [%]
01.12.1994	396	850	79	930	91	9
15.12.1994	438	717	116	833	86	14
14.12.1995	489	934	193	1127	83	17
11.11.1996	543	1374	373	1747	79	21
04.12.1996	520	756	136	892	85	15
06.02.1997	386	464	171	635	73	27
30.07.1997	1021	3365	381	3747	90	10

Tab. 10.9: Schwebstoffmessungen Tangermünde

Datum	Abfluß [m³/s]	Fracht [t/d]	geschiebeführende Breite [m]
01.12.1994	396	61	139
15.12.1994	438	114	131
28.08.1995	291	39	131
14.12.1995	489	144	144
02.08.1996	489	577	152
11.11.1996	543	477	157
04.12.1996	520	443	147
06.02.1997	386	514	147
30.07.1997	1021	1044	109

Tab. 10.10: Geschiebemessungen Tangermünde

10.3.2 Datenaufbereitung

Geometrie

Ergänzend zu den aufbereiteten Querprofilen mit eingebauten Buhnenschatten, wie sie für die Eichung des Modells mit fester Sohle herangezogen wurden, muß hier noch die geschiefeführende Breite und Tiefe definiert werden. Die Breite ergibt sich zwischen den Bühnenfüßen mit 115-155 m (Anlage V-3), die Tiefe der festen Modellsohle wurde mit 5 m unter der Sohlgeometrie eingegeben.

Hydrologie

Die Tageswerte des Zeitraums 01.11.1965 bis 31.10.1996 umfassen 11326 Einzelwerte, die bei ihrer unbearbeiteten Verwendung den Rechenaufwand des Programmes unnötig erhöhen würden. Die Erstellung einer diskretisierten Ganglinie für das hydronumerische Modell aus den Tagesabflußwerten und die notwendige Verkürzung der Zeitschritte wurden bereits in der Berechnungsstrecke Biosphärenreservat „Mittlere Elbe“ ausführlich erläutert. Die Abflußganglinie ist mit $\Delta Q = 200 \text{ m}^3/\text{s}$ diskretisiert worden, so daß 647 Berechnungszeitschritte entstanden. Im Gegensatz zur Berechnungsstrecke Niegripp ist hier nach umfangreichen Tests im Vorfeld der Eichung mit einer maximalen Zeitschrittlänge von 30 Tagen bei Niedrigwasser- verhältnissen gerechnet worden.

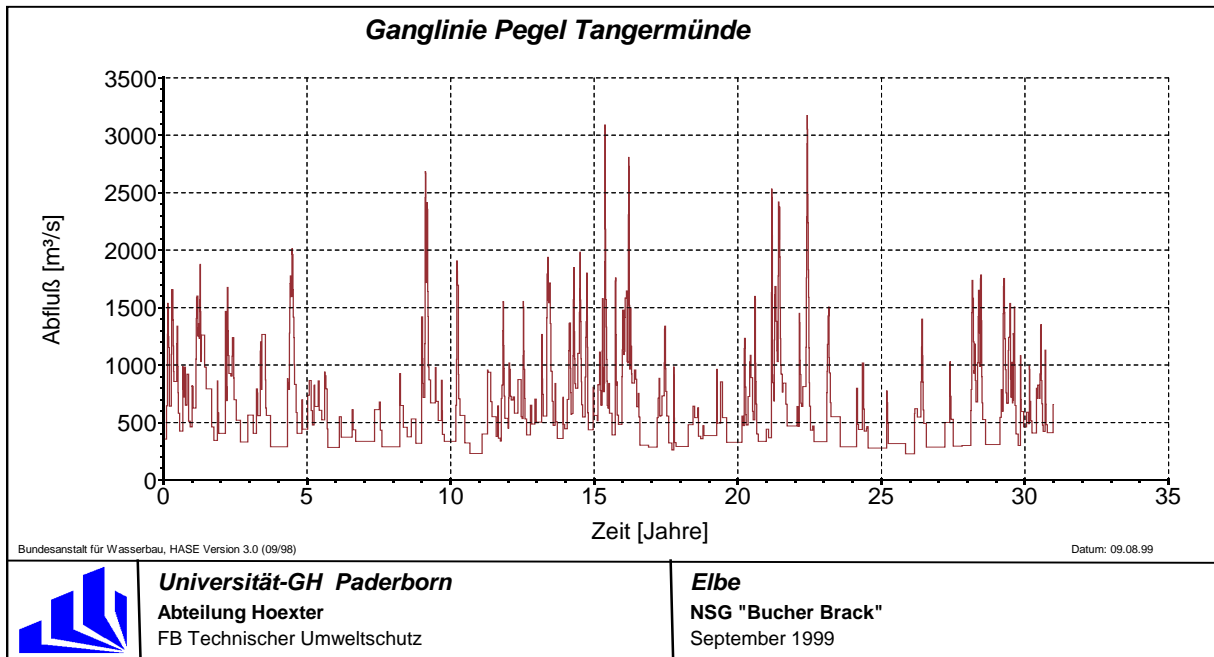


Abb. 10.8: Abflußganglinie Pegel Tangermünde (31 Jahre)

Sedimentologie

Die Kornverteilungskurven der Sohle wurden auf einfach logarithmisches Zeichenpapier aufgetragen und von der deutschen Verteilung nach DIN 4022 in das System der American Geophysical Union (AGU) umgerechnet. Im Modell wurde dann für die beprobten Elbe-Kilometer die jeweilige Kornverteilungskurve für die Berechnung vorgegeben.

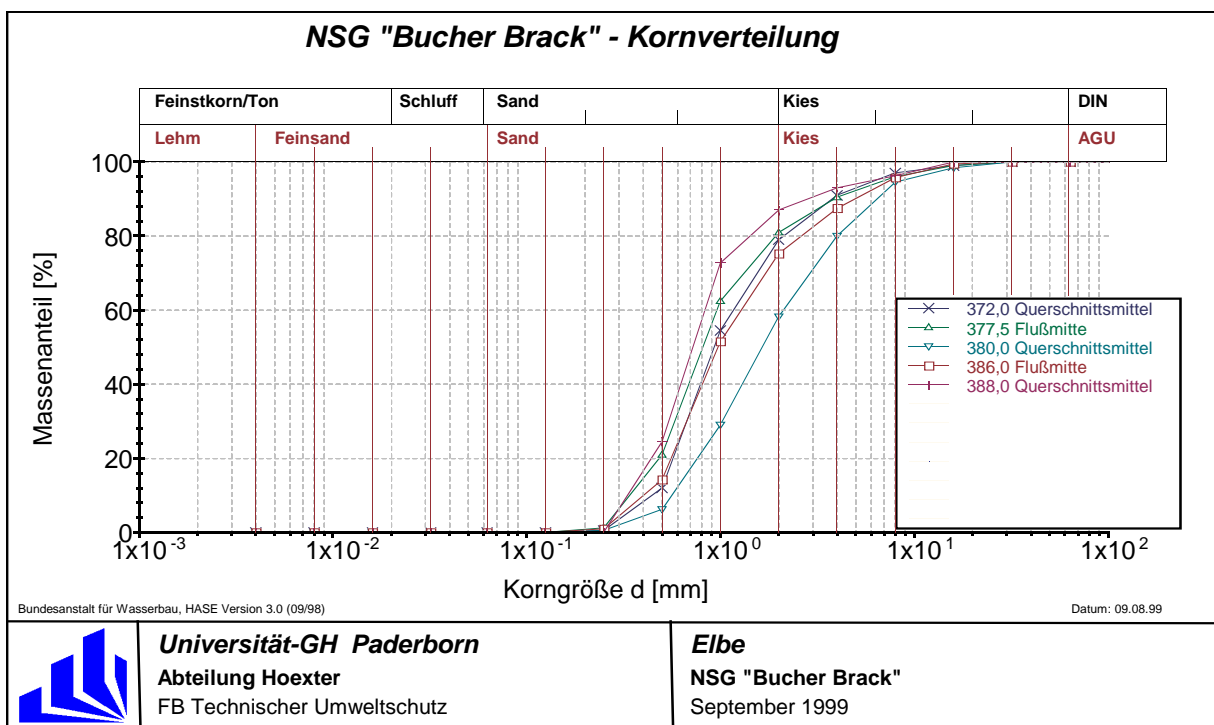


Abb. 10.9: Kornverteilung der Sohle

Für den Feststoffeintrag am oberstromigen Modellrand muß für das hydronumerische Modell eine Abfluß-Transport-Beziehung der Gesamtfracht in [t/d] mit der zugehörigen Kornverteilung eingegeben werden. Die Geschiebe- und Schwebstoffmessungen der Meßstelle Tangermünde wurden ausgewertet und eine Abfluß-Fracht-Beziehung über den Meßbereich ($Q=291-1012 \text{ m}^3/\text{s}$) bis zum kleinsten/größten aufgetretenen Abfluß der diskretisierten Ganglinie mit $Q=227/3175 \text{ m}^3/\text{s}$ extrapoliert (Anlage V-3).

Die Abfluß-Fracht-Beziehung benötigt weiterhin die Eingabe der Korngrößenverteilung nach AGU. Für den Feinschweb und den suspendierten Sand der Schwebstoffe liegen keine Sieblinien vor. Die Anteile des Feinschwebs wurden daher auf die Klassen 0,004 mm bis 0,063 mm verteilt, der suspendierte Sand schließt sich dann bis zu einer Korngröße von 0,5 mm an. Aus den Verteilungen der Korngrößenklassen für die Geschiebe- und Schwebstoffmessungen wurde dann eine anteilmäßige Gesamtverteilung der Korngrößenklassen für die Transportkurve erstellt (Anlage V-3).

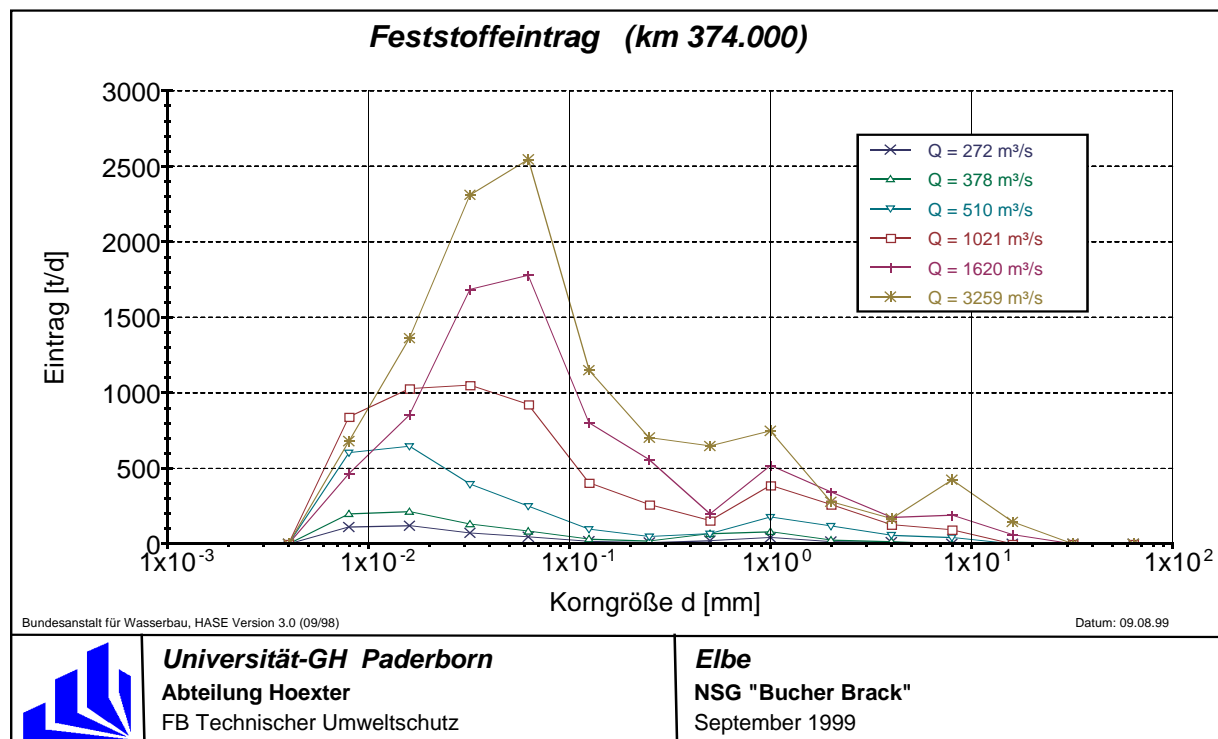


Abb. 10.10: Feststoffeintrag am oberstromigen Modellrand

10.3.3 Modelleichung

Die Kornverteilung der Sohle, der Eintrag der Frachten und deren Verteilung, der Transportansatz sowie die Sensitivität des Modells gehören zu den Eichparametern und wurden zur Anpassung des Modells an die gegebenen Verhältnisse verändert.

Da eine Auswertung historischer Daten im Verbundprojekt aus Zeitgründen nicht vorgesehen war, konnte für die Eichung des Sedimenttransportmodells nur mit einer Geometrie gearbeitet

werden. Laut Untersuchungen der Bundesanstalt für Wasserbau zur Entwicklung des GIW89* (20d) in den letzten 100 Jahren ist im Bereich um Tangermünde nicht mit einer Sohleintiefung oder –aufhöhung zu rechnen [Faulhaber, 1997]. Aus diesem Grund ist die Verwendung einer Geometrie über den gesamten Zeitraum der Eichganglinie gerechtfertigt. Wichtig für die Eichung dieses Streckenabschnittes ist es, einen stabilen Zustand der Sohle ohne nennenswerte Erosions- oder Anlandungstendenz nach einer gewissen Anlaufphase zu erreichen. Abweichungen einzelner Profile im Bereich mehrerer Dezimeter können aber bei der Eichung toleriert werden.

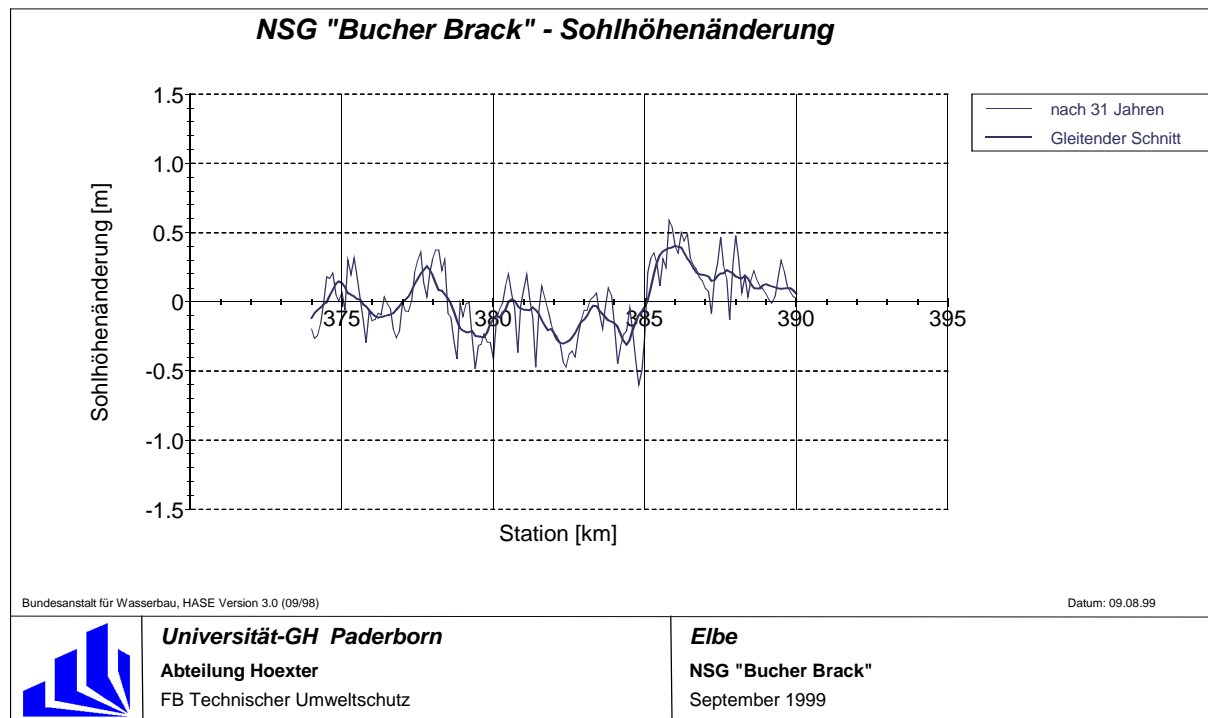


Abb. 10.11: Sohlhöhenänderung nach 31 Jahren Simulationszeit

Nach Vergleichsrechnungen unter definierten Bedingungen, bei denen nur die Sensitivität des Modells verändert wurde, zeigte die Einstellung der höchsten Sensitivität die besten Ergebnisse. Dies kann darin begründet liegen, daß die Geschiebe- und Schwebstoffmessungen gegenüber der Geometrie eine größere Meßgenauigkeit aufweisen.

Nach Gegenüberstellung von Ergebnissen mit mehreren Transportfunktionen wurde der Ansatz nach Tofaletti ausgewählt, der auf dem Grundkonzept des Einstein-Verfahrens mit hauptsächlich empirischen Modifikationen beruht. Für die Berechnung wird der Wasserkörper in vier Zonen unterteilt: die Bettzone, die untere, mittlere und obere Zone. Auf empirischen Weg erstellte Beziehungen ergeben den Schwebstofftrieb in den drei definierten Schichten sowie den Geschiebetrieb jeweils für die einzelnen Kornfraktionen; der Gesamtfeststofftrieb wird durch Addition errechnet.

Die Sieblinien der Sohle wurden während der Eichung nicht verändert. Die Zusammensetzung der Sohle bewegte sich bei der Berechnung des Simulationszeitraumes stets im Bereich

der gemessenen Sieblinien. Bei den meisten Profilen war eine leichte Anreicherung von größeren Körnern in der Sohle feststellbar, von einer Abpflasterung kann aber noch nicht die Rede sein. Die Korngröße für 65% Siebdurchgang lag bei den Ausgangsverteilungen zwischen 1 mm und 3 mm, am Ende des Eichzeitraumes lag sie durchschnittlich bei 3,5 mm (Anlage V-3).

Die mittlere Sohlhöhenänderung der Untersuchungsstrecke liegt für den Eichzeitraum bei maximal -5 cm. Dieser Wert wird zu Beginn der Eichganglinie erreicht und nimmt dann zum Berechnungsende hin kontinuierlich ab, bis am Ende +/- 0 cm erreicht werden (Anlage V-3).

Ein wichtiges Eichkriterium ist die jährliche Feststofftransportrate. Nach Messungen der Bundesanstalt für Gewässerkunde liegt diese für den Zeitraum 1992-1996 im Mittel bei 730.000 t/a [Schmidt u. Dröge, 1999]. Die Schwankungsbreite der Messungen liegt dabei von 600.000 t/a bis 1.060.000 t/a. Mit der aus den Geschiebe- und Schwebstoffmessungen für Tangermünde aufgestellten Abfluß-Fracht-Beziehung lag die jährliche Transportrate viel zu niedrig. Der Eintrag am oberstromigen Modellrand wurde daher für alle Abflüsse pauschal um 20% erhöht. Weil die Schwebstoffe ohne Ablagerung durch das Modell transportiert werden, wurde durch Vergrößerung des Schwebanteils die Gesamtfracht unter Beibehaltung des Geschiebeanteils vergrößert. Nach zufriedenstellender Eichung lag die jährliche Gesamtfracht für den oben genannten Zeitraum zwischen 785.000 t/a und 800.000 t/a und somit in der Größenordnung der BfG-Messungen. Die Sandfraktion (> 0,063 mm) lag bei der Eichung um 220.000 t/a. Der Massentransport für den Eichzeitraum von 31 Jahren ist in Anlage V-3 dargestellt.

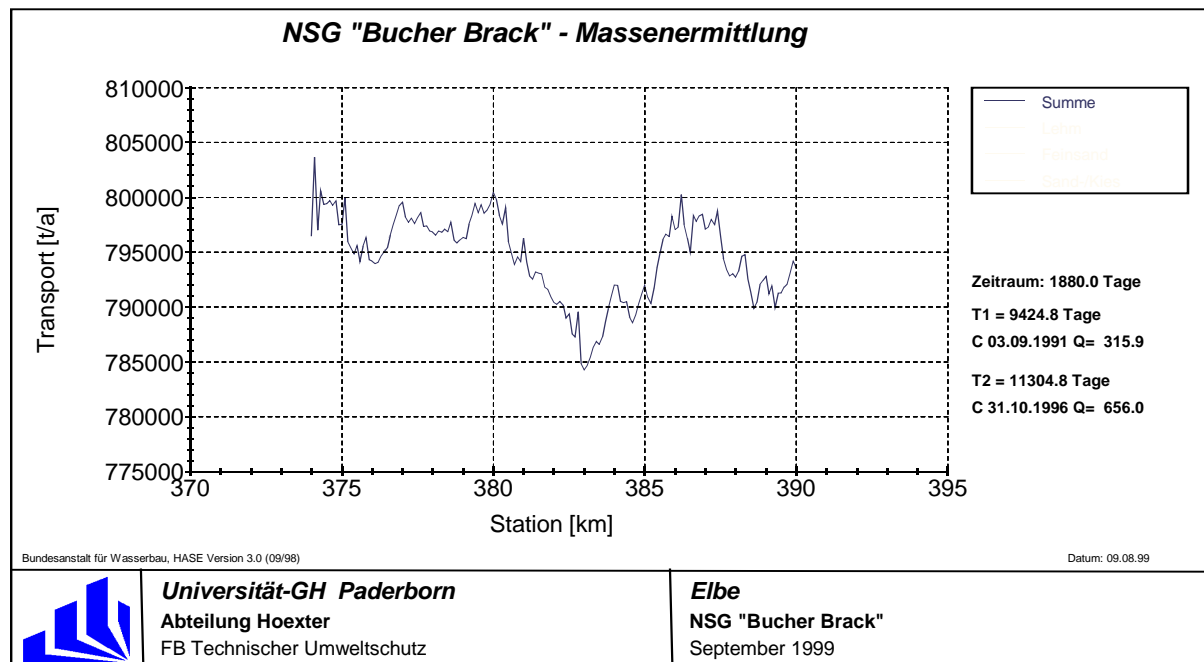


Abb. 10.12: Gesamttransport für den Zeitraum 1992-1996

Eine Untersuchung von vergleichbaren Abflüssen zeigte eine Anhebung des Wasserspiegels zum Ende der Modellstrecke. Die Ursache ist in der leichten Aufhöhung der Sohle zum Ende der Berechnungstrecke zu sehen. Die Differenz liegt aber noch in einem für die Berechnung mit beweglicher Sohle vertretbaren Maß von maximal 12 cm. Nachstehende Abbildung zeigt einen Vergleich des geschiebeführenden Abflusses der Ganglinie, der bei etwa 510 m³/s liegt.

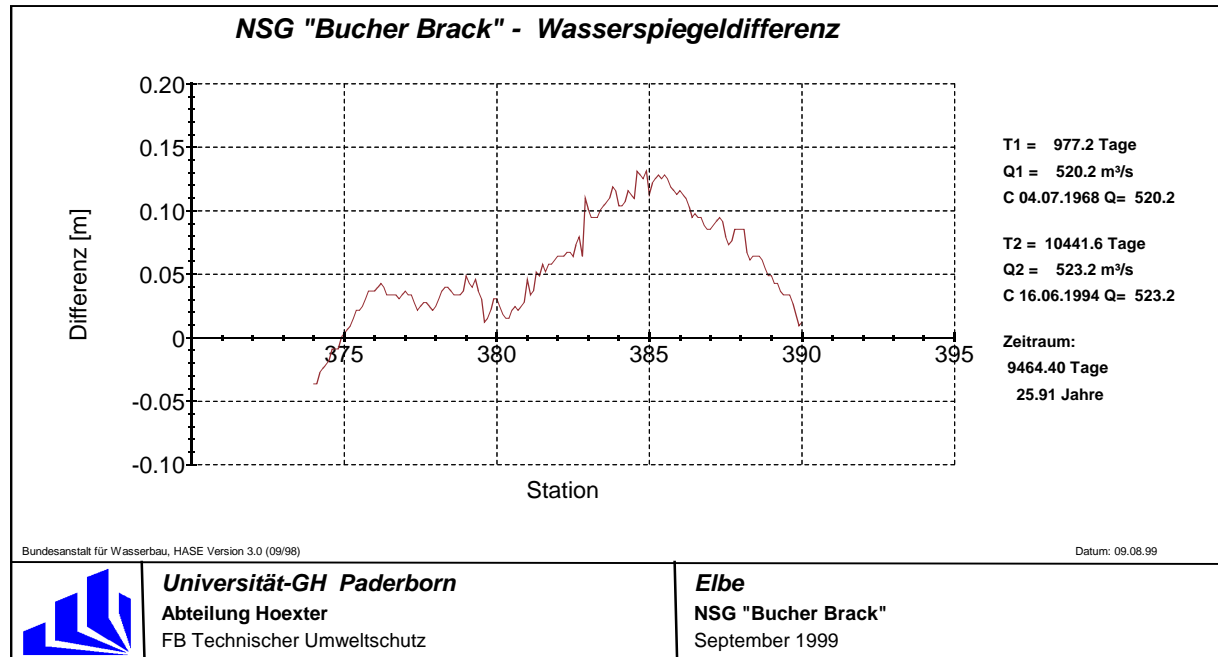


Abb. 10.13: Wasserspiegeldifferenz über einen Zeitraum von ca. 26 Jahren

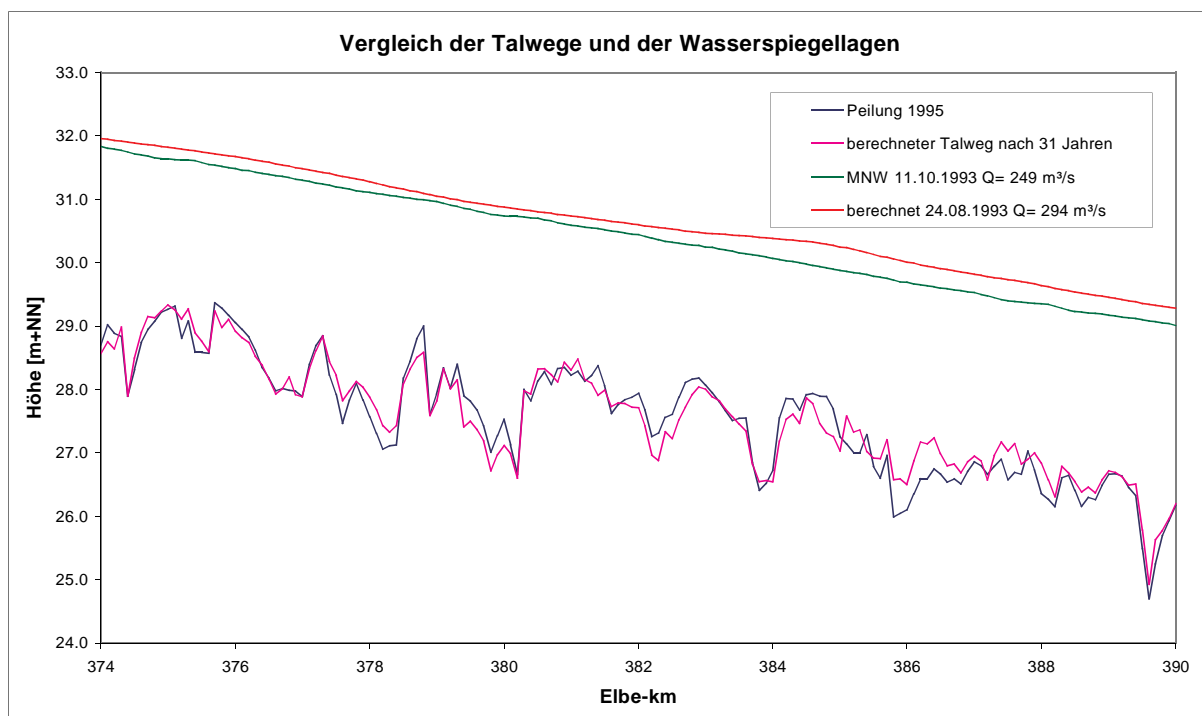


Abb. 10.14: Vergleich der Talwege und Wasserspiegellagen

In der obigen Abbildung ist ein Vergleich des gepeilten und des berechneten Talweges und eines Abflusses in der Größenordnung des mittleren Niedrigwassers dargestellt. In der diskretisierten Ganglinie tritt der Tageswert vom 11.10.93 ($Q= 249 \text{ m}^3/\text{s}$) als Berechnungszeitschritt mit einem Abfluß von $Q= 294 \text{ m}^3/\text{s}$ auf. Dies erklärt, warum der berechnete Wasserspiegel rund 30 cm über dem fixierten Wasserspiegel vom 11.10.93 liegt. Bei diesem Abfluß zeigt sich wie bei der Eichung mit fester Sohle die bei Elbe-km 385 sehr kleine Querschnittsfläche mit einer leichten Wasserspiegelanhebung (Aufstau).

10.4 Diskussion der Ergebnisse

Dieser Streckenabschnitt stellte mit seinen topographischen Besonderheiten höchste Anforderungen an die Datenaufbereitung im Vorland. Der quer durch die Aue verlaufende Sommerdeich wird auch bei Abflüssen von $3000 \text{ m}^3/\text{s}$ nicht überströmt. Durch den Einstau von Unterstrom ist jedoch mit überfluteten Flächen hinter dem Deich zu rechnen. Dies zeigt sich auch deutlich in der Hochwasserfixierung von 1981, die durch die Ablesung der Deichpegelmarken am Winterdeich entstanden sein muß. Hier treten Wasserspiegelunterschiede bis zu 80 cm zwischen Sommer- und Winterdeich auf. Im 1D-Modell wird querprofilorientiert von einem mittleren Wasserstand über das gesamte Profil ausgegangen. Bei Hochwasser ist eine Übertragung der für den Flußschlauch geeichten Wasserspiegellage auf die Vorländer nicht ohne weiteres möglich. Näherungsweise können über Breite und Tiefe gemittelte Strömungsparameter bestimmt werden.

Am Modellbeginn bis Elbe-km 382 ist die Deichführung dicht an der Elbe, so daß die gemittelten Wasserspiegellagen auf das Vorland übertragen werden können. Die hydraulischen und sedimentologischen Strömungsparameter für die Aue sind hier äußerst aussagekräftig.

Für weiterführende Untersuchungen in der Aue wird hier die Verwendung eines zweidimensionalen Modells vorgeschlagen. Insbesondere Querströmungen, wie sie beim Einströmen in die breiten Aueflächen vielfach auftreten, können differenzierter betrachtet werden. Ebenso sind im 2D-Modell die Wasserstände in den Rückstaubereichen hinter dem Sommerdeich im NSG „Bucher Brack“ besser zu erfassen.

11 Berechnungsstrecke Tangermünde

11.1 Beschreibung des Untersuchungsgebietes

Die Modellstrecke des Abschnitts Tangermünde schließt sich an die Untersuchungsstrecke NSG „Bucher Brack“ an. Das 1D-Modell mit einer Länge von 20 km beginnt bei km 388,0 und endet bei km 408,0. Am Modellanfang liegt bei km 388,2 der Pegel Tangermünde (Anlage VI-1).

Der Streckenabschnitt ist durch seinen geradlinigen Verlauf der Elbe ohne enge Krümmungen charakterisiert. Weiterhin sind die Deiche relativ dicht an der Elbe gelegen, so daß selten eine Gesamtbreite zwischen den Deichen von 1000 m überschritten wird. Die Vorländer sind schwach strukturiert und bestehen überwiegend aus Wiesen und Weiden.

Im Untersuchungsgebiet sind zwei Brücken über die Elbe vorhanden. Zunächst ist hier die Straßenbrücke bei Tangermünde (km 389,3) zu nennen und weiter Unterstrom eine Doppelbrücke für die Eisenbahn bei Hämerten (km 394,61 und 394,63). HEC-2 kann die Verluste von Brückenbauwerken, die durch Pfeileraufstau, etc. auftreten, in speziellen Karten berücksichtigen. Das Programm HEC-6 für die Berechnungen mit beweglicher Sohle enthält diese besondere Bauwerkshydraulik nicht. Die Eichung wird durch den Einbau der gesonderten Karten maßgeblich beeinflusst und kann im folgenden nicht auf die Sedimenttransportberechnungen übertragen werden. Daher wurde für den Modellaufbau auf die gesonderte Erfassung der Brückenbauwerke verzichtet.

11.2 Hydraulisches Modell

11.2.1 Datengrundlage

Geometrie

Die Basis der Querprofile zwischen den Hochwasserdeichen war für dieses Bearbeitungsgebiet eine Peilung des WSA Magdeburg von Oktober 1995. Die Aufnahme erfolgte in Form einer Sohlpeilung, die sich bis zu den Böschungskanten erstreckt, aber sonst keine weiteren Informationen im Vorland enthält. Der Abstand der Peilung im Flußschlauch beträgt jeweils 200 m.

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

Eine Bühnenpeilung für diese Untersuchungsstrecke lag nicht vor; die Lage der Bühnenköpfe für den Einbau in die Querprofile wurde aus Stromkarten entnommen. Die Karten im Maßstab 1:5000 enthalten neben den Bühnen weitere Strombauwerke (z.B. Leitwerke). Der Bearbeitungsstand dieser Stromkarten ist 1960-1962, so daß Veränderungen in den Strombauwerken bis zum heutigen Zeitpunkt zu erwarten sind. Aus diesem Grund wurden Luftbilder einer MNW-Befliegung der WSD Ost aus dem Jahr 1992 herangezogen, um den heutigen Zustand der Strombauwerke besser beurteilen zu können.

Hydrologie

Für die Eichung dieses Streckenabschnittes lagen Wasserspiegelfixierungen des WSA Magdeburg vor. Aus den 90er Jahren lag nur eine Fixierung für ein MNW vor, alle weiteren Fixierungen lagen vor 1990. Diese sind in diesem Elbe-Abschnitt verwendbar, da laut Untersuchungen der Bundesanstalt für Wasserbau zur Entwicklung des GIW89* (20d) in den letzten 30 Jahren keine nennenswerte Erosions- oder Akkumulationstendenz der Sohle festzustellen war [Faulhaber, 1997]. Eine höhere Hochwassersituation in Anlehnung an das historische Ereignis aus dem Jahr 1896 extrapoliert werden mußte.

Nachstehende Tabelle zeigt den Überblick der vorhandenen Fixierungen unter Angabe der Wasserstände und Abflüsse am Pegel Tangermünde (Elbe-km 388,2).

Datum	Wasserstand [m+NN]	Abfluß [m³/s]
11.10.1993	29,31	249
10.05.1989	30,78	560
12.05.1969	32,56	1284
1896	~34,93	nicht bekannt

Tab. 11.1: Wasserspiegelfixierungen

11.2.2 Datenaufbereitung

Geometrie

Mit Hilfe des Programmes PROFIL wurden für die Sohle Zwischenprofile im Abstand von 100 m interpoliert.

Die fehlenden Vorlandinformationen wurden von TPI.3 in Zusammenarbeit mit TPI.1 ergänzt. Für dieses Untersuchungsgebiet setzen sich die topographischen Informationen aus unterschiedlichen Bearbeitungsstrategien zusammen. Für die Abschnitte km 388,0-400,0 sowie km 407,0-408,0 wurden die fehlenden Vorlandinformationen vom Projektpartner

FBTU durch querprofilorientierte Aufnahme aus der TK 10 gewonnen. Die vorhandene Flußpeilung wurde dazu im Abstand von 100 m bis zu den Hochwasserdeichen ergänzt.

Für den Abschnitt km 400-407 wurden in Höxter die TK 10 digitalisiert. Neben den Höhenlinien wurden auch die Deiche, Bruchkanten, Gräben und Seen mit einer aus der Karte entnommenen bzw. abgeschätzten Höhe/Tiefe punktweise aufgenommen. Zum Teil wurde eine Verdichtung der Punkte zwischen den Höheninformationen vorgenommen, um Datenlücken bei der Rasterung auszuschließen. Aus den Daten der Vorländer und der in Gauß-Krüger-Koordinaten konvertierten Flußpeilung wurde dann von TPI.1 ein Geländemodell im Raster von 6x6 m erzeugt. Aus dem Digitalen Geländemodell wurden dann die Querprofile zwischen den Hochwasserdeichen rückgelesen.

In einem weiteren Aufbereitungsschritt wurde die Sohlpeilung des WSA Magdeburg im Abstand von 200 m wieder in die Querprofile eingebaut, um die Datenbasis im Flußschlauch zu optimieren.

Durch den geraden Flußverlauf und die elbnahe Deichführung waren nur geringe hydraulische Aufbereitungen in den Vorländern für das Modell notwendig. Hierzu wurden Seen und tiefere Gräben in den Vorländern, die bereits bei Mittelwasser gefüllt sind auf 0,5-1,0 m unter Geländeoberkante abgeschnitten, da diese tiefliegenden Flächen im 1D-Modell nicht zur effektiven Abflußfläche beitragen.

Die Lage der Bühnenköpfe wurde aus den Stromkarten der Wasserschiffahrtsdirektion in Bezug zum Profilstepunkt (linker Hektometerstein) bestimmt. Im Vergleich mit den Luftbildern von 1992 wurden noch einige Bühnen in den Stromkarten zeichnerisch ergänzt. Da die Bühnen nicht in dem regelmäßigen Abstand der Modellgeometrie von 100 m in der Elbe vorkommen, wurde die Streichlinie als Hilfsmittel herangezogen. Sie ist als Verbindung der Bühnenköpfe definiert und spiegelt die Verhältnisse zwischen den Bühnenköpfen wider. Für die Bühnenrücken wurde eine Neigung von 1:200 angesetzt, die Kopfneigung mit 1:5 vorgegeben. Die Höhe der Bühnenköpfe erfolgte in Anlehnung an den RW59. Nach dem Einbau der Bühnen in die Geometrie erfolgte eine optische Kontrolle für alle Querprofile.

Für diese Berechnungsstrecke wurde die Dreiteilung der Querprofile durch die Lage der Bühnenköpfe vorgenommen, so daß der Bereich des Bühnenrückens bereits als Vorland definiert wird. Mit einer wasserstandsabhängigen Funktion der Rauheit im Vorland kann jetzt der Einfluß der Bühnen besser erfaßt werden. Wenn die Bühnen gerade überströmt werden, wird ihnen ein Rauheitsbeiwert von $0,10 \text{ s/m}^{1/3}$ zugeordnet. Dieser Wert wird als Funktion in Abhängigkeit der Überströmungshöhe bis hin zu einer ungehinderten Abflußführung über dem Vorland herabgesetzt.

Die Fließlängen wurden als Verbindungslinien der Massenschwerpunkte unter dem extrapolierten Hochwasser mit einem Abfluß von $Q = 3140 \text{ m}^3/\text{s}$ (Gefälleverhältnisse in Anlehnung

an die Hochwasserereignisse von 1969 und 1896) getrennt nach Flußschlauch sowie linkem und rechtem Vorland mit dem Programm PROFIL ermittelt.

Hydrologie

Die Wasserspiegelfixierungen vom 11.10.1993 und 10.05.1989 wurden im Abstand von ca. 500 m entlang der Elbe aufgenommen. Die ältere Fixierung aus dem Jahr 1969 lag als Längsschnitt vor, so daß für jeden Elbe-Kilometer ein Wasserspiegel entnommen werden konnte. Durch die oben aufgeführten Wasserspiegelfixierungen wurde mit Hilfe des Programmes PROFIL eine spline-Funktion durch die Punkte gelegt, um für jedes Querprofil einen interpolierten Wasserspiegel zu erhalten.

Da für den Hochwasserbereich keine ausreichend genaue Fixierung zur Verfügung stand, wurde aus der Fixierung vom 12.05.1969 und dem historischen Hochwasser von 1896 ein Wasserspiegel mit einem Abfluß von 3140 m³/s interpoliert. Dies geschah unter Berücksichtigung der jeweiligen Gefälleverhältnisse als gewichtete Interpolation zwischen den angrenzenden Wasserspiegelfixierungen. Diese Hilfskonstruktion ist notwendig, um das gesamte Abflußspektrum mit Rauheitsbeiwerten bei der Eichung zu erfassen, da sonst das Nachfahren der Abflußganglinie für das Sedimenttransportmodell nicht möglich ist.

Die Fixierung vom 11.10.1993 enthält durch die Interpolation der fixierten Werte von km 402-403 eine extreme Absenkung im Wasserspiegelverlauf, die nicht erklärbar und bei der späteren Eichung mit den standardmäßigen Rauheitsbeiwerten nicht nachvollziehbar war. Aus diesem Grund wird ein Höhenfehler in der Fixierung in diesem Bereich vermutet. Für die Interpolation wurden daher die Fixierungspunkte bei km 402,22 und km 402,65 weggelassen.

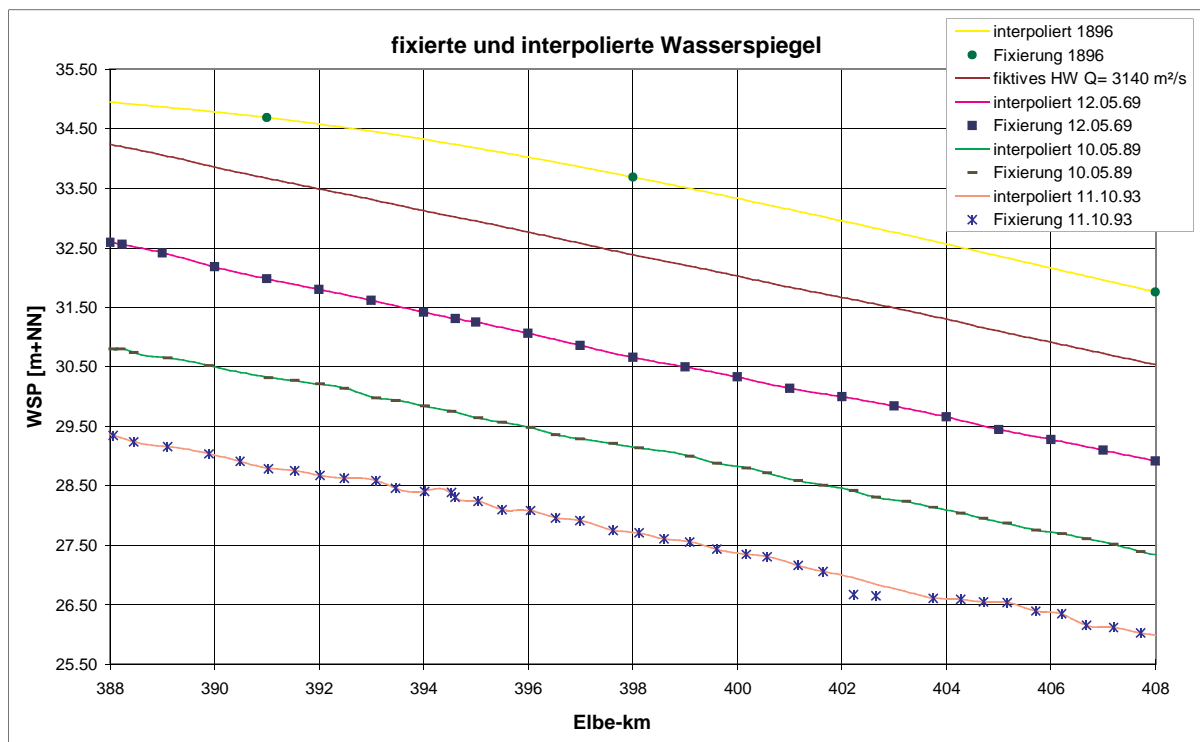


Abb. 11.1: Vergleich fixierter und interpolierter Wasserspiegel

Wasserstands-Abfluß-Beziehungen mit folgenden Gültigkeitsbereichen, die von TPI.4 „Hydrologische Analyse und Datenmanagement“ aufgestellt wurden, lagen für den Pegel Tangermünde (km 388,2) vor:

11/1963 – 10/1966

11/1966 – 10/1970

11/1970 – 10/1980

11/1980 – 10/1995

Weil für den unterstromigen Modellrand bei km 408,0 keine ausreichende Anzahl von historischen Wasserspiegelfixierungen vorlag, um die oben aufgeführten Gültigkeitsbereiche abzudecken, wurde in Anlehnung an eine gemittelte Abflußkurve für den Pegel Tangermünde und den Wasserspiegelfixierungen für Elbe-km 408,0 eine einzige Abflußkurve für den unterstromigen Modellrand erstellt.

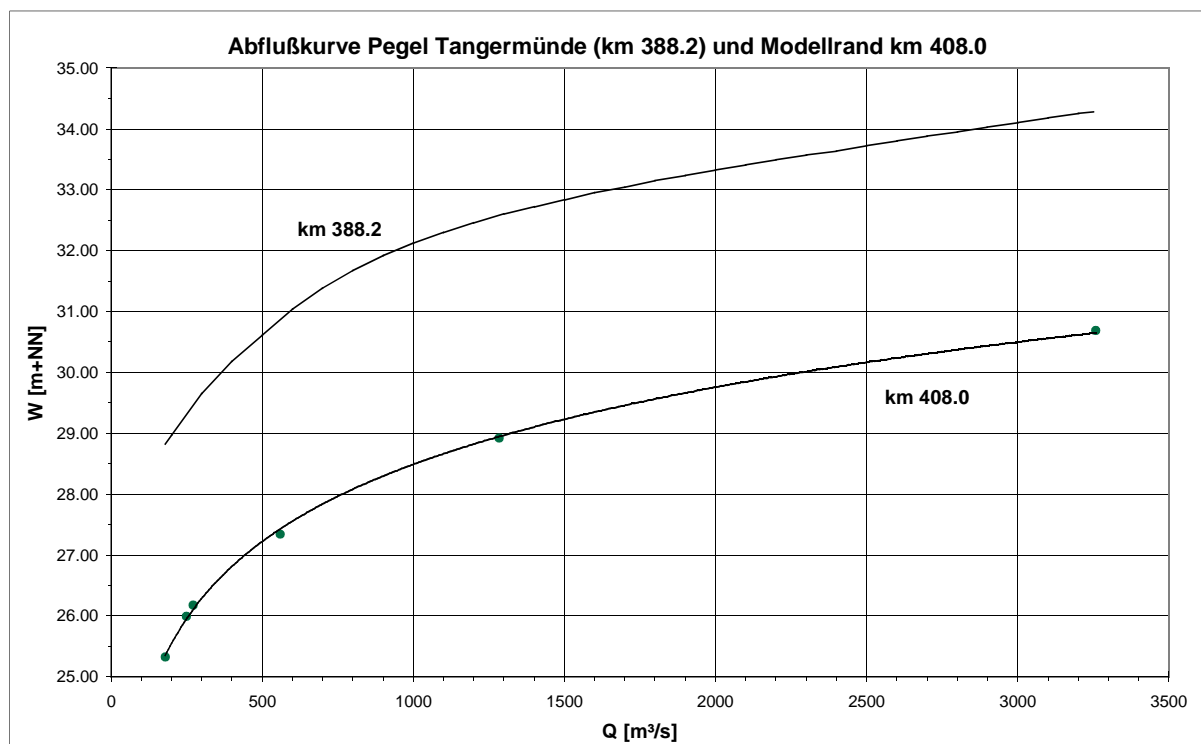


Abb. 11.2: Abflußkurven Pegel Tangermünde und unterstromiger Modellrand

11.2.3 Modelleichung

Die Eichung des Streckenabschnittes km 388,0-408,0 wurde mit der Kombination der Programme HEC/HASE durchgeführt. Bei der hydraulischen Eichung wurde hierzu die bewegliche Sohlhöhe gleich Null gesetzt. Weiterhin wurde bereits bei der Eichung mit tiefenabhängigen Rauheitsbeiwerten im Vorland gearbeitet.

Eichung mittleres Niedrigwasser

Für die Eichung wurde die Fixierung vom 11.10.1993 mit einem Abfluß von $Q = 249 \text{ m}^3/\text{s}$ am Pegel Tangermünde herangezogen. Aus der zuvor erstellten Abflußkurve für km 408,0 wurde ein Startwasserspiegel von 25,99 mNN entnommen.

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

Elbe-km	$n \text{ [s/m}^{1/3}\text{]}$	$k_{st} \text{ [m}^{1/3}\text{/s]}$
388,0 – 390,6	0,026	38,5
390,7 – 399,9	0,023	43,5
400,0 – 402,8	0,024	41,7
402,9 – 404,5	0,021	47,6
404,6 – 408,0	0,023	43,5

Tab. 11.2: Rauheitsbeiwerte mittleres Niedrigwasser

Die Strickler-Beiwerte, die für die Eichung dieses Abflusses verwendet wurden, sind relativ groß und zeigen ein „hydraulisch glattes“ Verhalten. Dies läßt Rückschlüsse darauf zu, daß der Einfluß der Sohle selbst bei kleiner Wassertiefe gering ist und sich daher keine größeren Sohlformen (Transportkörper) ausgebildet haben können. Ein weiteres Kriterium ist die Tatsache, daß die Elbe im Bearbeitungsgebiet einen gestreckten Verlauf ohne Krümmungen (keine Sekundärströmung) aufweist. Zudem sind in diesem Streckenabschnitt wechselseitig Leitwerke vorhanden, die weniger Verwirbelungen in der Strömung verursachen als Querbauwerke. Am Modellbeginn hebt sich der Strickler-Wert unter $40 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ vom übrigen Streckenverlauf ab. Die Ursache ist im Einfluß der Brückenpfeiler im Gewässer bei km 389,2 zu sehen, die durch Aufstau und Kolkbildung am Pfeilerfuß höhere Verluste verursachen.

Die Differenz zwischen in der Natur aufgenommenener Wasserspiegellage und mit HEC berechneter Wasserspiegellage beträgt maximal +8 cm bzw. –13 cm. Der negative Spitzenwert bei Elbe-km 394,5 kommt durch einen einzelnen Wert in der Fixierung auf Höhe der Eisenbahnbrücke bei Hämerten zustande. In der Fixierung ist ein Aufstau durch die Brückenpfeiler zu erkennen, der im vereinfachten hydronumerischen Modell (ohne Brücke) nicht nachgebildet werden kann.

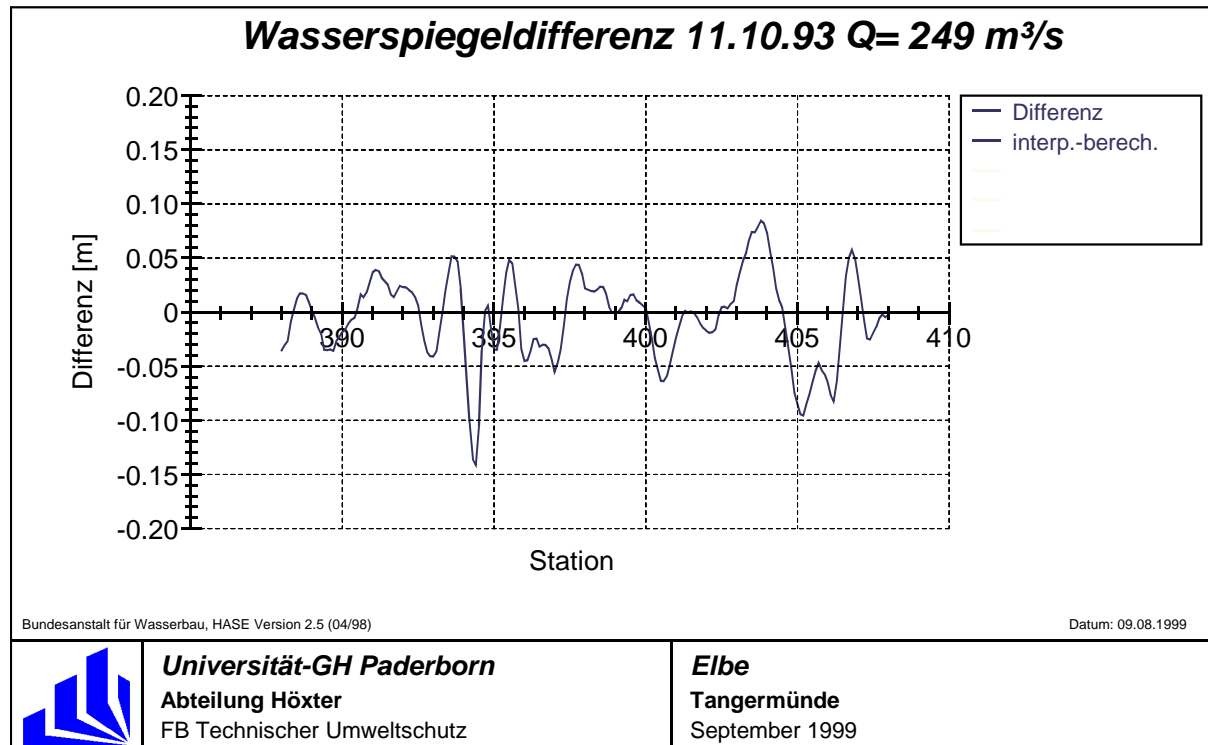


Abb. 11.3: Wasserspiegeldifferenz, mittleres Niedrigwasser

Die strömungstechnischen Ergebnisse dieser Eichung sind graphisch in Anlage VI-2 beigelegt. Die Fließquerschnitte zeigen eine relativ große Schwankungsbreite (280 m² bis 380 m²), die auf den Wechsel von Buhnen und Leitwerken zurückgeführt werden kann. Weiterhin besteht die Möglichkeit, daß die Aufnahme der Buhnen aus den Stromkarten der 60er-Jahre die heutigen Verhältnisse nicht ausreichend genau widerspiegeln. Es treten bei diesem Abfluß Geschwindigkeiten im Flußschlauch von 0,70 m/s bis 0,95 m/s auf. Die Schubspannung zeigt bei wenig kompakten Querschnitten mit großer Abflußfläche die kleinsten Werte mit 2,0 N/m² und erreicht in kompakten Profilen Spitzenwerte bis 5,0 N/m².

Eichung Mittelwasser

Hierzu wurde die Fixierung vom 10.05.1989 mit einem Abfluß von Q= 560 m³/s und einem Startwasserspiegel von 27,34 mNN aus der unterstromigen Schlüsselkurve verwendet.

Nachfolgend sind die Rauheitsbeiwerte der Eichung für den Flußschlauch tabellarisch aufgeführt. Für die Vorländer, die hier die bei diesem Wasserstand an einigen Stellen überströmten Buhnenrücken widerspiegelt, wurde für die Eichung ein Rauheitsbeiwert von 0,010 s/m^{1/3} (10 m^{1/3}/s) angesetzt.

Elbe-km	Flußschlauch	
	n [s/m ^{1/3}]	k _{St} [m ^{1/3} /s]
388,0 – 394,2	0,027	37,0
394,3 – 396,1	0,028	35,7
396,2 – 398,4	0,026	38,5
398,5 – 400,9	0,028	35,7
401,0 – 406,0	0,027	37,0
406,1 – 408,0	0,028	35,7

Tab. 11.3: Rauheitsbeiwerte Mittelwasser (Flußschlauch)

Die Strickler-Beiwerte für die Mittelwassereichung liegen über den gesamten Streckenverlauf niedriger als beim Abfluß von 249 m³/s und weisen auf ein „hydraulisch rauheres“ Verhalten im Flußquerschnitt hin. Verursacht werden könnte dies dadurch, daß bei diesem Wasserstand die Bühnenköpfe teilweise überströmt werden und eine Interaktion auf den Flußschlauch ausgeübt wird. Die geringen Schwankungen des Rauheitsbeiwertes im Hauptgerinne weisen insgesamt auf eine ausgeglichene Strömung bei diesem Abfluß hin.

Auch der Verlauf der interpolierten Wasserspiegellage zeigt ein stetiges Gefälle, das im 1D-Modell gut nachgebildet werden konnte. Die Abweichungen zwischen interpolierter und berechneter Wasserspiegelhöhe betragen maximal +/-5 cm und liegen damit in der Fehlertoleranz von 10 cm.

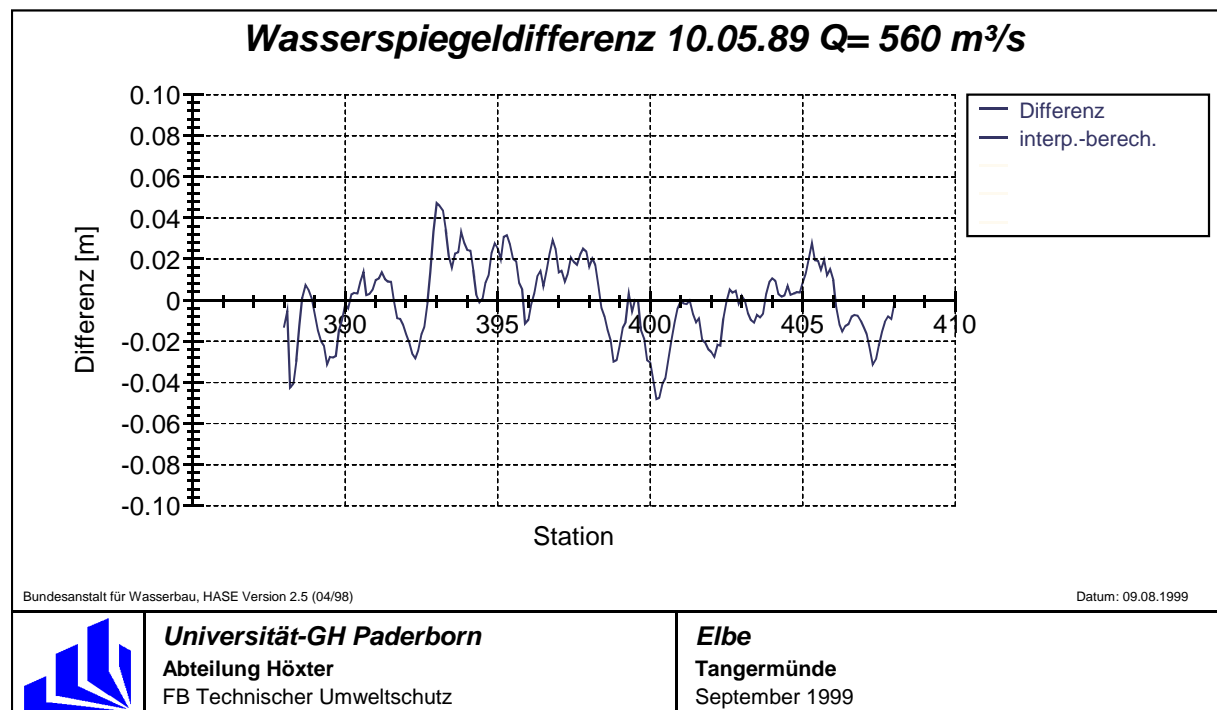


Abb. 11.4: Wasserspiegeldifferenz Mittelwasser

Die weiteren Ergebnisse dieses Eichabflusses sind als Grafiken in Anlage VI-2 enthalten. Es zeigt sich in weiten Strecken des Untersuchungsgebiets eine geringe Überströmung der Bühnenköpfe. Der Fließquerschnitt liegt in einem Bereich zwischen 500 m² und 600 m². Korrespondierend zu den Flächen zeigen sich die Geschwindigkeiten im zwischen 0,9 m/s und 1,1 m/s. Ein Vergleich der berechneten Schubspannungswerte mit der kritischen Schubspannung nach DIN 19661 für den an der Sohle auftretenden Grobsand (0,63 mm bis 2,0 mm) zeigt, daß bereits bei diesem Abfluß mit einer beginnenden Bewegung an der Sohle zu rechnen ist.

Eichung Hochwasser 1

Die Fixierung vom 12.05.1969 mit $Q = 1284 \text{ m}^3/\text{s}$ liegt unter dem MHQ (Jahresreihe 1964-1995) mit $Q = 1741 \text{ m}^3/\text{s}$ des Pegels Tangermünde. Der Startwasserspiegel für den unterstromigen Modellrand wurde aus der Schlüsselkurve mit 28,92 mNN ermittelt. In Anlage VI-2 sind die Ergebnisse dieser Eichung graphisch festgehalten, die verwendeten Rauheitsbeiwerte für den Flußschlauch sind unten aufgeführt. Für diesen gerade ausufernden Abfluß sind die Rauheitsbeiwerte zwischen den überströmten Bühnen und dem ungehinderten Vorlandabfluß zu finden und sind hier mit $0,045 \text{ s/m}^{1/3}$ ($22,2 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$) definiert worden.

Elbe-km	Flußschlauch	
	$n \text{ [s/m}^{1/3}]$	$k_{\text{st}} \text{ [m}^{1/3}/\text{s}]$
388,0 – 391,8	0,028	35,7
391,9 – 397,6	0,025	40,0
397,7 – 401,9	0,024	41,7
402,0 – 404,8	0,025	40,0
404,9 – 408,0	0,024	41,7

Tab. 11.4: Rauheitsbeiwerte Hochwasser 1 (Flußschlauch)

Gegenüber der Eichung des Mittelwassers weist dieser Abfluß höhere Strickler-Beiwerte im Flußschlauch auf. Es bestätigt sich hier, daß mit steigendem Wasserstand der Einfluß der Sohle auf die Strömung abnimmt und dadurch die globalen und örtlichen Verluste im Flußschlauch abnehmen. Das beginnende Überfluten der Vorländer wurde mit einem kleinen Strickler-Beiwert für die Vorländer nachempfunden. Die höheren Verluste bei diesem Abfluß durch den Einfluß der Brückenpfeiler zeigen sich nur auf Höhe der Stadt Tangermünde mit Rauheitsbeiwerten unter $40 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$.

Die Differenz zwischen aus der Fixierung interpolierter Wasserspiegellage und mit dem 1D-Modell berechneter Wasserspiegellage liegt in der Fehlertoleranz von 10 cm. Da die Fixierung nur aus dem Längsschnitt im Kilometerabstand entnommen wurde, zeigt sich ein insgesamt sehr geradliniger Verlauf, der mit dem Modell gut nachgebildet werden konnte (Abweichungen maximal -3 cm bzw. $+4 \text{ cm}$).

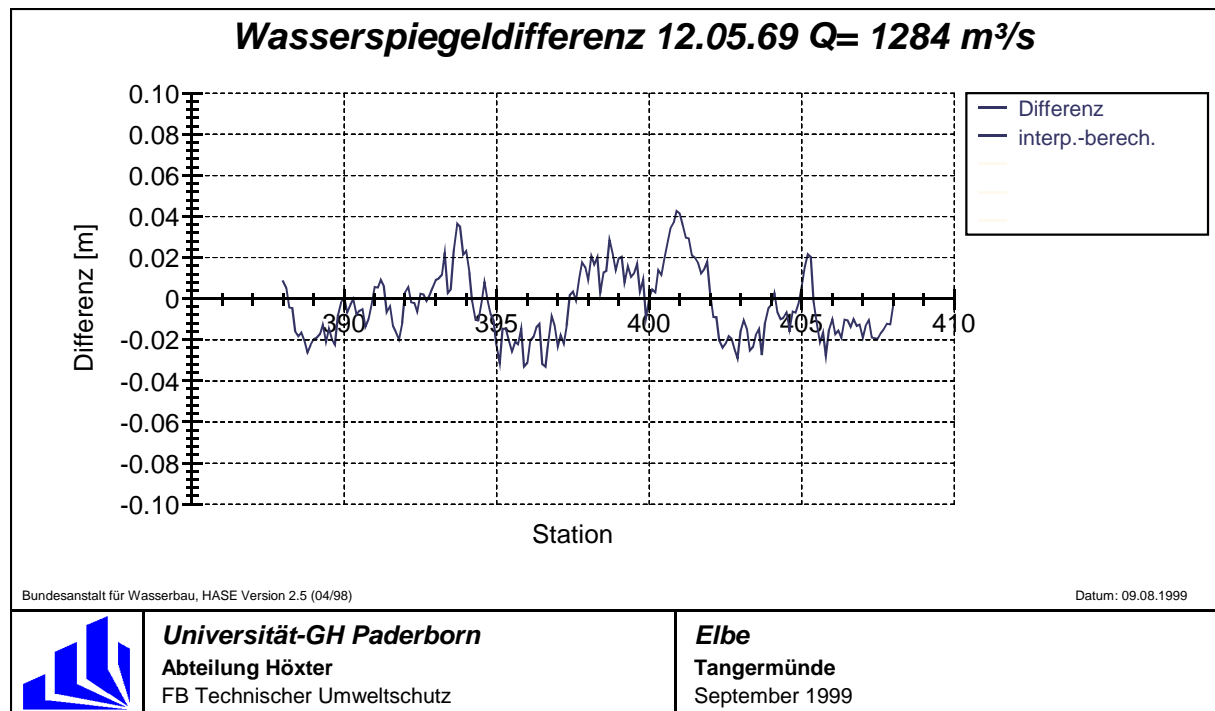


Abb. 11.5: Wasserspiegeldifferenz Hochwasser 1

Bei bordvollem Abfluß zeigen sich Abflußflächen von durchschnittlich 850 m² im Hauptgerinne. Der größte Abflußanteil wird im Flußschlauch abgeführt, nur in zwei Bereichen auf dem rechten Vorland (km 391-394 und km 398-399) beginnt die Überflutung der Vorländer. In der Aue ist der Wasserstand noch sehr niedrig; dies spiegeln auch die kleinen Fließgeschwindigkeiten wider. Im Flußschlauch liegen die Geschwindigkeiten deutlich höher als bei Mittelwasser und erreichen im Mittel 1,45 m/s.

Die kritische Schubspannung von 6,0 N/m² für Grobsand nach DIN 19661 wird im gesamten Streckenverlauf überschritten und weist auf intensive Umlagerungsprozesse an der Sohle hin. Je nach Querschnitt der Profile treten Schubspannungen zwischen 7,0 N/m² und 12,0 N/m² auf.

Eichung Hochwasser 2

Um auch für den Hochwasserfall Aussagen treffen und die diskretisierte Pegelganglinie im Modell mit beweglicher Sohle nachfahren zu können, wurde für die Eichung das extrapolierte Hochwasserereignis mit einem Abfluß von 3140 m³/s am Pegel Tangermünde herangezogen. Der Startwasserspiegel für diesen Abfluß beträgt 30,54 mNN bei Elbe-km 408,0.

Weil die Vorländer in diesem Streckenabschnitt sehr homogen aus Wiesen und Weideland bestehen, wurde bei unbeeinflusster Überströmung des Vorlandes mit einem Rauheitsbeiwert von 0,030 s/m^{1/3} bzw. 33,3 m^{1/3}/s gerechnet. Für den Flußschlauch sind die Rauheitsbeiwerte der Eichung in der unten aufgeführten Tabelle enthalten.

Elbe-km	Flußschlauch	
	n [s/m ^{1/3}]	k_{st} [m ^{1/3} /s]
388,0 – 391,9	0,024	41,7
392,0 – 408,0	0,021	47,6

Tab. 11.5: Rauheitsbeiwerte Hochwasser 2 (Flußschlauch)

Die Strickler-Beiwerte vom Hochwasser 1 zum Hochwasser 2 setzen sich mit der Tendenz einer ungehinderten Strömung bei zunehmendem Wasserstand im Flußschlauch fort. Die Vorländer sind großflächig überströmt und das gleichmäßig überflutete Vorland verliert an Einfluß.

Die Abweichung zwischen der fiktiv erstellten Wasserspiegellage und der im 1D-Modell berechneten Wasserspiegellage liegt mit +/-13 cm noch im Toleranzbereich von mehreren Dezimetern, die bei diesem Abfluß unter Berücksichtigung der Datengrundlage akzeptiert werden muß.

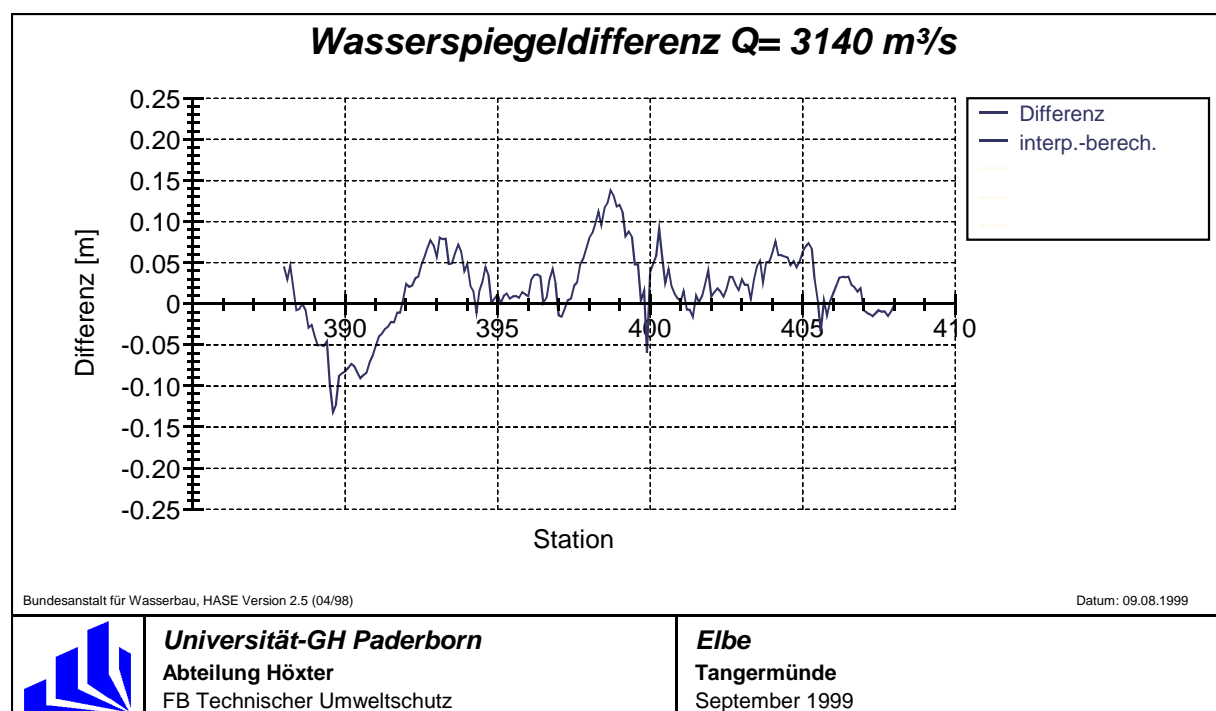


Abb. 11.6: Wasserspiegeldifferenz Hochwasser 2

Die weiteren Ergebnisse dieser Eichung sind graphisch in Anlage VI-2 beigelegt. Es zeigt sich eine durchgängige Überflutung der Vorländer, die einzig von km 388-390 auf dem linken Vorland durch die Stadt Tangermünde unterbrochen wird. Die Deiche verlaufen sehr nah an der Elbe, so daß die maximale Breite des Wasserspiegels zwischen den Deichen bei rund 1500 m liegt. In Engstellen mit beidseitig dicht an der Elbe verlaufenden Hochwasserdeichen beträgt die maximale Profilbreite 650 m. Bedingt durch die engen Fließquerschnitte zeigen

sich im Vorland und auch im Flußschlauch relativ hohe Geschwindigkeiten. Über den wenig bewachsenen Vorländern werden Geschwindigkeiten bis 1,0 m/s (Durchschnitt von 0,6 m/s) erzielt. In den Ausuferungsbereichen zeigen sich im Flußschlauch die kleinsten Geschwindigkeiten (1,5 m/s) und sie erreichen in kompakten Querschnitten Werte über 2,0 m/s.

11.3 Sedimentologisches Modell

11.3.1 Datengrundlage

Geometrie

Ausgangsbasis für die Berechnung mit beweglicher Sohle ist das geeichte hydronumerische Modell mit fester Sohle. Die aufbereitete Geometrie und die tiefenabhängigen Rauheitsbeiwerte für den Flußschlauch und die zuvor definierten Rauheitsbeiwerte für das Vorland wurden direkt übernommen.

Hydrologie

Für die Erstellung der Ganglinie lagen Tagesmittelwerte des Abflusses am Pegel Tangermünde seit 1961 vor. Um den möglicherweise signifikanten Einfluß des Staustufenbaus in Tschechien, der in den 60er Jahren abgeschlossen wurde, auszugrenzen, wurden die Pegelwerte nur für die letzten 31 Jahre gewählt. Es wurden die Tageswerte aus den Jahren 01.11.1965 bis 31.10.1996 zur Aufstellung der Eichganglinie für das Modell verwendet.

Wie bereits zuvor beschrieben, standen für den unterstromigen Modellrand bei km 408,0 keine ausreichende Anzahl von historischen Wasserspiegelfixierungen zur Verfügung, um eine Aufteilung der Abflußkurve in verschiedene Gültigkeitsbereiche zu realisieren. Für die Eichung wurde daher auf die Abflußkurve bei km 408,0 des Modells mit fester Sohle zurückgegriffen.

Sedimentologie

Die Sohldaten wurden dem BfG-Bericht „Kornzusammensetzung der Elbesohle von der tschechisch-deutschen Grenze bis zur Staustufe Geesthacht“ [Haunschild et al. 1994] entnommen. Demzufolge lag nur ein Probenahmepunkt im untersuchten Streckenabschnitt. Bei Elbe-km 388,0 wurden Einzelbeprobungen des Querschnitts links-mitte-rechts durchgeführt. Die nächstgelegenen Meßpunkte, die nur in der Flußmitte beprobt wurden, liegen außerhalb der Modellstrecke bei Elbe-km 386,0 und 427,6.

Für den Eintrag der Geschiebe- und Schwebstofffrachten am oberstromigen Modellrand konnte auf eine Meßstelle der Bundesanstalt für Gewässerkunde im Untersuchungsgebiet bei Tangermünde (km 388,8) zurückgegriffen werden. Zum Zeitpunkt des Modellaufbaus lagen

Geschiebe- und Schwebstoffmessungen aus den Jahren 1994-1997 vor. Die Meßwerte sind hier tabellarisch aufgeführt, um die Streuung der Parameter aufzuzeigen.

Datum	Abfluß [m³/s]	Fracht [t/d]	geschiebeführende Breite [m]
01.12.1994	396	61	139
15.12.1994	438	114	131
28.08.1995	291	39	131
14.12.1995	489	144	144
02.08.1996	489	577	152
11.11.1996	543	477	157
04.12.1996	520	443	147
06.02.1997	386	514	147
30.07.1997	1021	1044	109

Tab. 11.6: Geschiebemessungen Tangermünde

Datum	Abfluß [m³/s]	Feinschweb [t/d]	susp. Sand [t/d]	Gesamt [t/d]	Fein [%]	Sand [%]
01.12.1994	396	850	79	930	91	9
15.12.1994	438	717	116	833	86	14
14.12.1995	489	934	193	1127	83	17
11.11.1996	543	1374	373	1747	79	21
04.12.1996	520	756	136	892	85	15
06.02.1997	386	464	171	635	73	27
30.07.1997	1021	3365	381	3747	90	10

Tab. 11.7: Schwebstoffmessungen Tangermünde

11.3.2 Datenaufbereitung

Geometrie

Das 1D-Modell mit beweglicher Sohle benötigt neben der geeichten Geometrie die Definition der geschiefeführenden Breite. Für HEC-6 wird diese zwischen den Bühnenfüßen definiert und schwankt in diesem Bearbeitungsabschnitt zwischen 125-165 m Breite (Anlage VI-3). Um bei der Berechnung ein ausreichendes Sedimentreservoir in der Sohle zur Verfügung zu stellen, wurde die Tiefe der beweglichen Sohle mit 5 m unter der Sohle eingegeben.

Hydrologie

Für diese Berechnungsstrecke wurde die gleiche Abflußganglinie, wie sie für den Streckenabschnitt NSG „Bucher Brack“ aufgestellt wurde, verwendet. Die mit $\Delta Q = 200 \text{ m}^3/\text{s}$ diskretisierte Ganglinie umfaßt den Zeitraum 01.11.1965 bis 31.10.1996 und besteht aus 647 Berechnungsschritten, die mit einer maximalen Zeitschrittlänge von 30 Tagen bei Niedrigwasserverhältnissen verkürzt wurde.

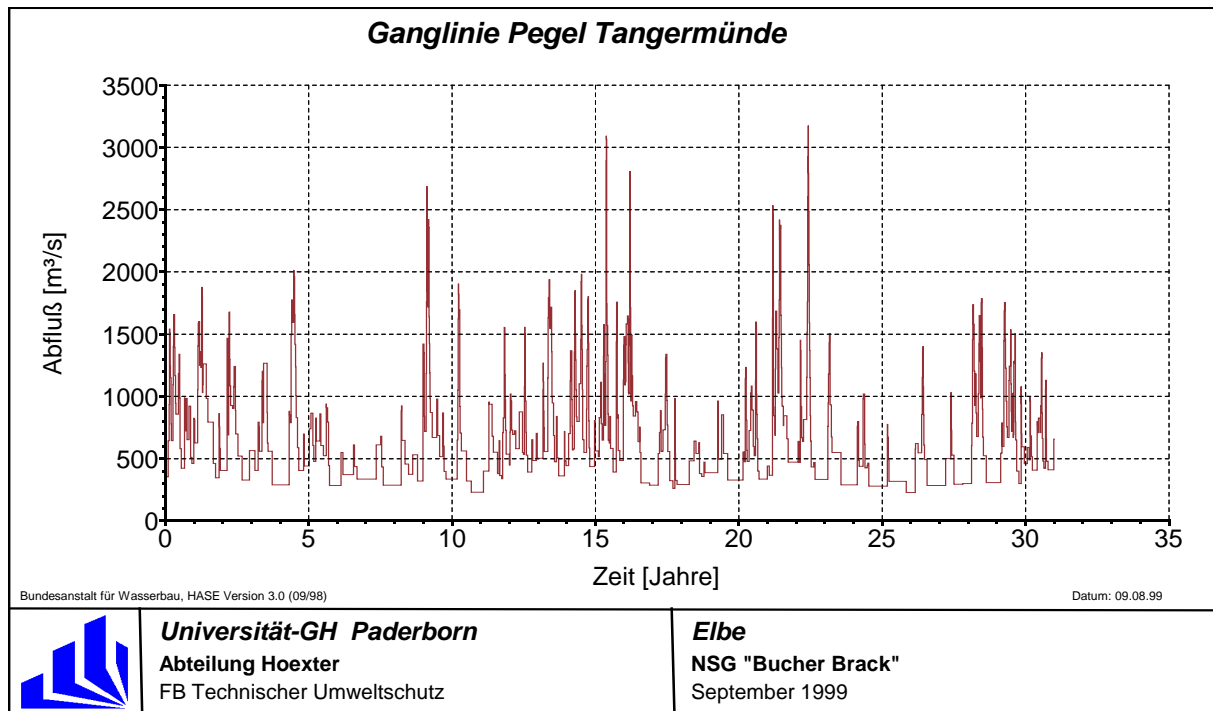


Abb. 11.7: Abflußganglinie Pegel Tangermünde (31 Jahre)

Sedimentologie

Für die Eingabe der Kornverteilungskurve in das Programm HEC-6 wurde für diese Untersuchungsstrecke nur die Sieblinie des Elbe-km 388,0 aufgearbeitet. Die charakteristischen Korngrößenparameter d_5 bis d_{95} wurden graphisch auf einfach logarithmisches Millimeterpapier aufgetragen und in die Korngrößenklassen des Systems der American Geophysical Union (AGU) übertragen. In das hydronumerische Modell ging diese Sieblinie für den gesamten Abschnitt km 388,0-408,0 als Eingangsgröße ein.

Es wurden die ausgewerteten Geschiebe- und Schwebstoffmessungen der Meßstelle Tangermünde (km 388,8) des vorangegangenen Untersuchungsabschnitts (Elbe-km 374,0-390,0) für die oberstromige Abfluß-Fracht-Beziehung herangezogen. Sie wurde über den Meßbereich ($Q = 291\text{-}1012 \text{ m}^3/\text{s}$) hinaus bis zum kleinsten/größten aufgetretenen Abfluß der diskretisierten Ganglinie mit $Q = 227/3175 \text{ m}^3/\text{s}$ extrapoliert (Anlage VI-3).

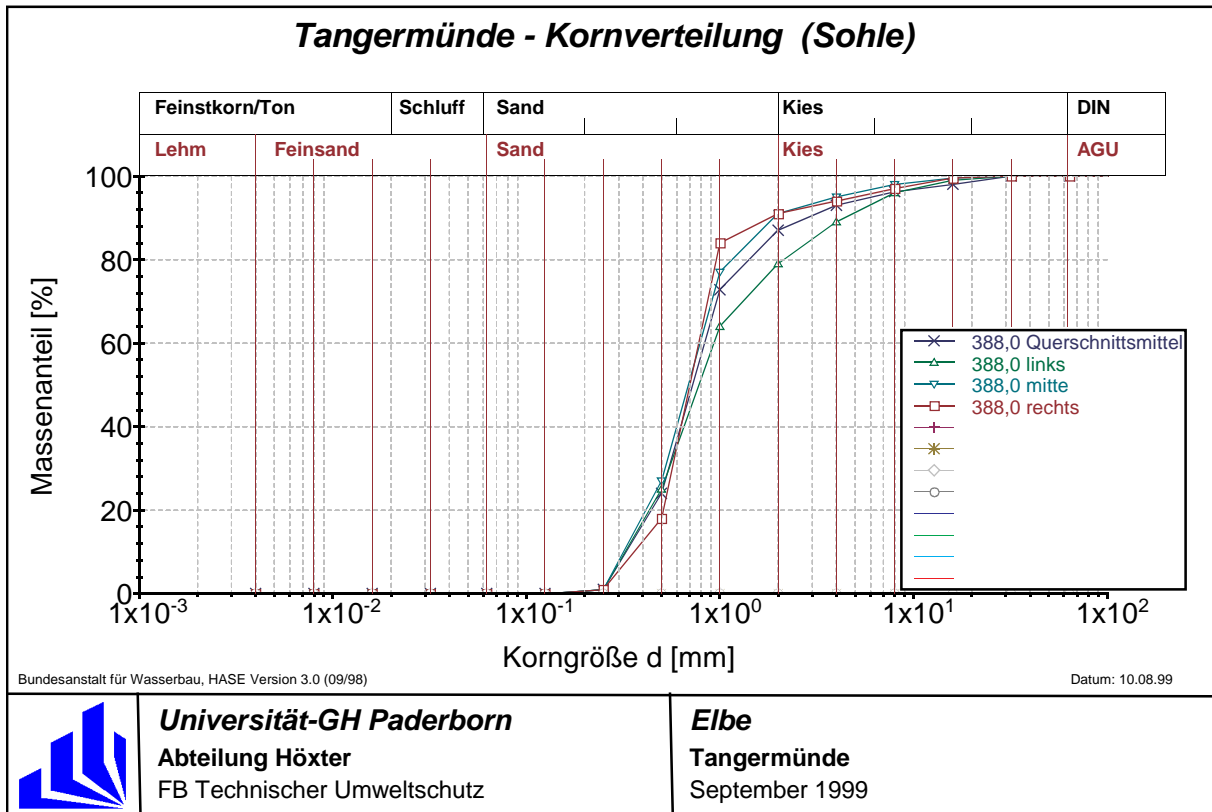


Abb. 11.8: Kornverteilung der Sohle

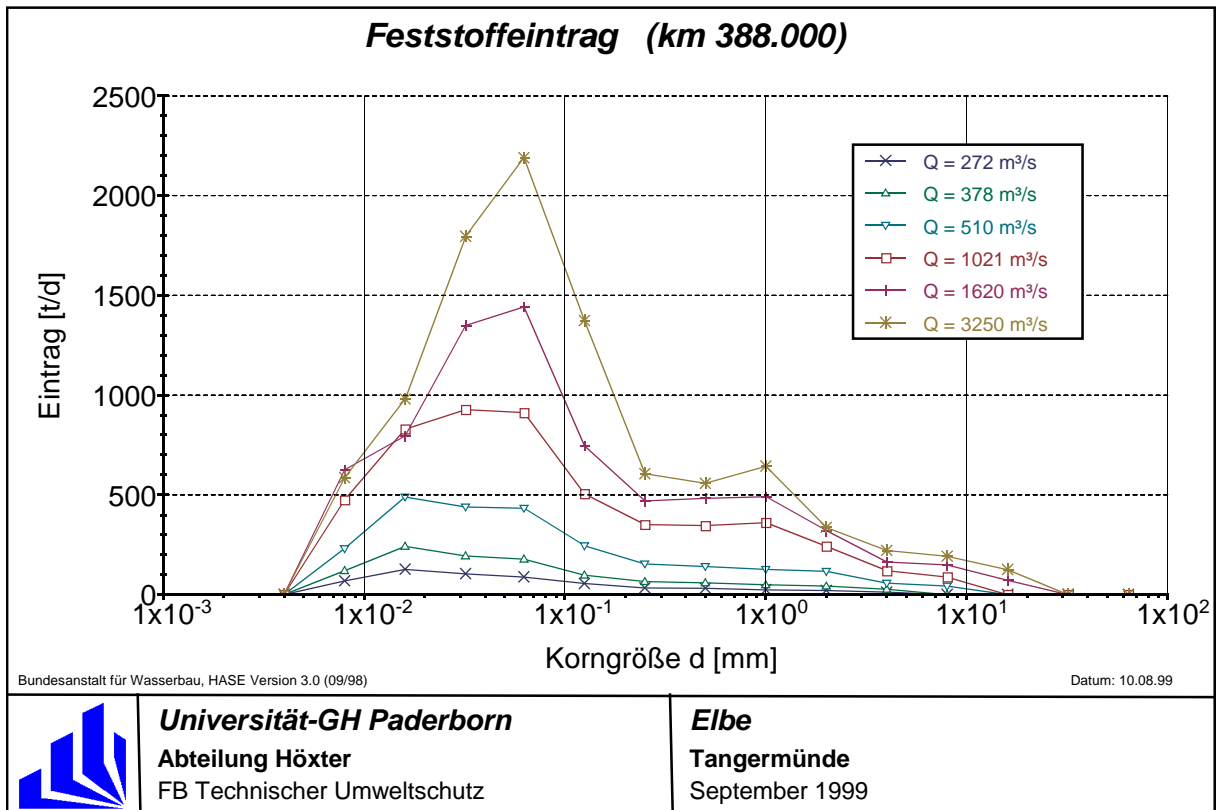


Abb. 11.9: Feststoffeintrag am oberstromigen Modellrand

Die Abfluß-Fracht-Beziehung benötigt weiterhin die Eingabe der Korngrößenverteilung nach AGU. Für den Feinschweb und den suspendierten Sand liegen keine Sieblinien vor. Die Anteile des Feinschwebs wurden daher auf die Klassen 0,004 mm bis 0,063 mm verteilt, der suspendierte Sand schließt sich dann bis zu einer Korngröße von 0,5 mm an. Die Kornverteilung der Geschiebemessungen wurden graphisch aufgetragen und in das AGU-System umgerechnet. Aus den Verteilungen der Korngrößenklassen für die Geschiebe- und Schwebstoffmessungen wurde dann eine anteilmäßige Gesamtverteilung für die Transportkurve erstellt (Anlage VI-3).

11.3.3 Modelleichung

Die Kornverteilung der Sohle, der Eintrag der Frachten und deren Verteilung, der Transportansatz sowie die Sensitivität des Modells gehören zu den Eichparametern und wurden zur Anpassung des Modells an die gegebenen Verhältnisse verändert. Jedoch auch nach einer Vielzahl von Rechenläufen unter Variation der oben genannten Parameter ließen sich keine zufriedenstellenden Ergebnisse erzielen. Der Zustand der Sohle erreichte zwar einen relativ stabilen Zustand, zeigte jedoch am Modellbeginn von km 388,0-393,0 nicht erklärbare Auflandungen, während sich daran anschließend bis km 408,0 Erosion einstellte. Nach Untersuchungen der Bundesanstalt für Wasserbau zur Entwicklung des GIW89* (20d) in den letzten 100 Jahren ist im aber im Bereich um Tangermünde nicht mit einer Sohleintiefung oder -aufhöhung zu rechnen [Faulhaber, 1997].

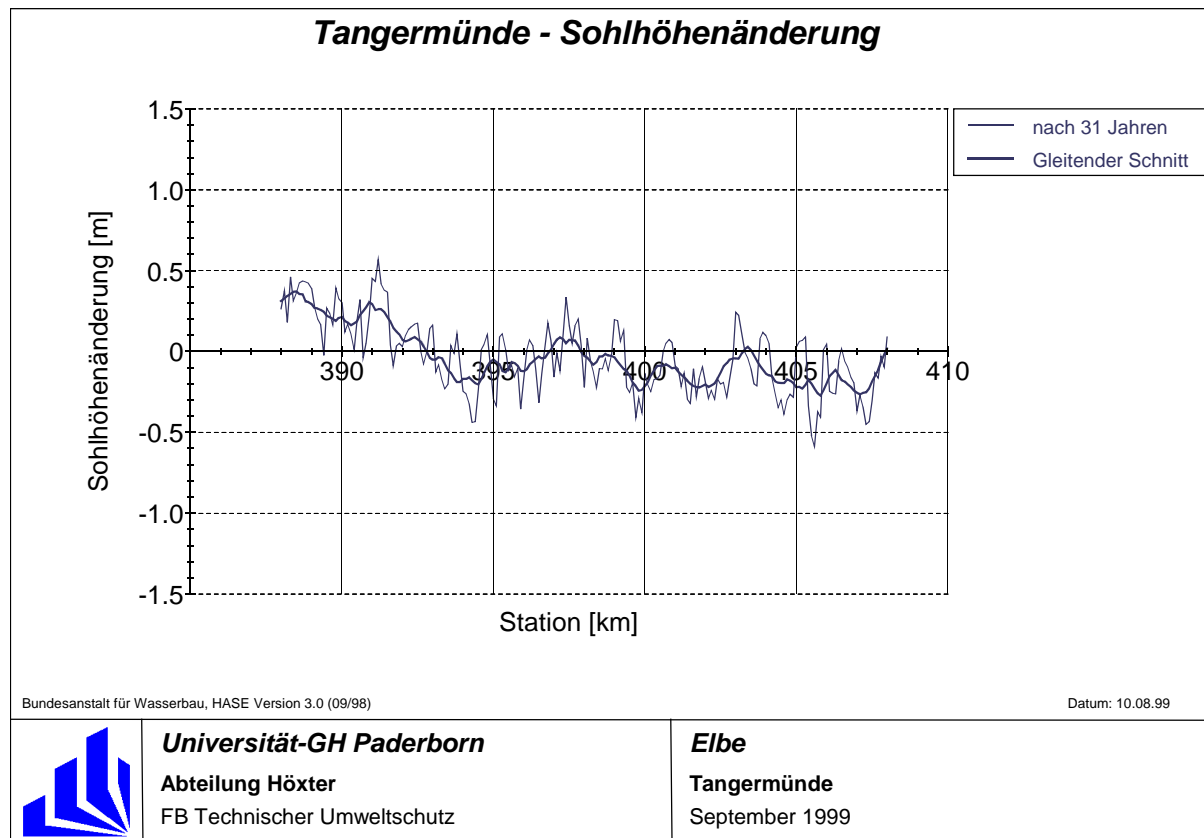


Abb. 11.10: Sohlhöhenänderung nach 31 Jahren Simulationszeit

Die Sohlveränderung nach 31 Jahren Simulationszeit zeigt bei einem gleitenden Schnitt über 10 Profile Werte von +/- 0,4 m. Abweichungen einzelner Profile können hierbei bis zu neun Dezimeter betragen. Gerade örtliche Ungenauigkeiten können zu größeren Veränderungen einzelner Profile bei der Berechnung führen. Diese Ausreißer müssen toleriert werden, solange sie nach einer Anlaufphase einen stabilen Zustand erreichen. Das Programm HEC-6 ist nicht dafür geeignet, Aussagen über die Entwicklung einzelner Profile zu machen, es können hier immer nur größere Abschnitte zusammenhängend betrachtet werden.

Die mittlere Sohlhöhe für dieses erste Eichergebnis zeigt über den gesamten Berechnungszeitraum eine Veränderung, die zwischen -14 cm am Modellbeginn liegt und zum Ende der Modellstrecke immer noch bei -4 cm liegt (Anlage VI-3).

Nach Vergleichsrechnungen unter definierten Bedingungen, bei denen nur die Sensitivität des Modells verändert wurde, zeigte die Einstellung der höchsten Sensitivität noch die besten Ergebnisse.

Auch eine Auswertung der Ergebnisse mit dem Ansatz verschiedener Transportfunktionen unter Beibehaltung der restlichen Eichparameter zeigte, daß für diesen Streckenabschnitt das Verfahren von Tofaletti/Schocklitsch, das auf dem Grundkonzept des Einstein-Verfahrens mit hauptsächlich empirischen Modifikationen beruht, noch die realistischsten Sohlentwicklungen brachte. Da dieser Ansatz bei den angrenzenden Modellstrecken entlang der Elbe vernünftige Ergebnisse lieferte, wurde der Ansatz auch für Elbe-km 388,0-408,0 beibehalten.

Im Rahmen der Eichung wurde die Kornzusammensetzung der Sohle stark variiert, jedoch ohne maßgeblichen Erfolg, so daß am Ende mit der gemessenen Sieblinie des Elbe-km 388,0 gerechnet wurde. Versuchsweise wurden weitere Messungen der Bundesanstalt für Gewässerkunde bei Elbe-km 380,0 / 386,0 und km 427,6 ausgewertet und im Modell erprobt. Es zeigte sich, daß die Anlandungen am Modellbeginn bzw. die sich anschließende Tendenz zur Erosion nicht geschwächt, sondern zum Teil noch verstärkt wurden.

Der d_{65} -Wert des aktiven Layers in der Sohle lag am Berechnungsende bei 4-5 mm, während er bei der eingegebenen Sieblinie etwa 1 mm beträgt (Anlage VI-3). Hier sind Tendenzen zur Abpflasterung der Sohle erkennbar, da zum Ende des Berechnungszeitraumes in der Sohle die Korngrößenklasse <0,5 mm unterrepräsentiert ist. Die Eingabe einer Sohle mit einer größeren Zusammensetzung bzw. größerem d_{65} -Wert für den Untersuchungsabschnitt zeigte keine zufriedenstellenden Ergebnisse. Es ist auch nicht sinnvoll, eine „Betonsohle“ in das Modell einzubauen, da dies nicht den natürlichen Verhältnissen an der Elbe gerecht wird.

Ein weiteres wichtiges Kriterium ist die jährliche Feststofftransportrate. Nach Messungen der Bundesanstalt für Gewässerkunde liegt diese für den Zeitraum 1992-1996 im Mittel bei 730.000 t/a [Schmidt u. Dröge, 1999]. Die Schwankungsbreite der Messungen liegt dabei von 600.000 t/a bis 1.050.000 t/a. Die jährliche Transportfracht für den oben genannten Zeitraum lag nach einer Erhöhung um 10% der Eingangswerte durchschnittlich bei 795.000 t/a und

somit in der Größenordnung der BfG-Messungen. Die Sandfraktion ($> 0,063$ mm) der Berechnung lag bei der Eichung um 285.000 t/a. Der Massentransport für den Eichzeitraum von 31 Jahren ist in Anlage VI-3 dargestellt.

Auch eine Verdoppelung des Eintrags am oberstromigen Modellrand konnte der Erosionstendenz im Modell nicht entgegenwirken. Veränderungen in der Zusammensetzung der eingetragenen Feststoffe am oberstromigen Modellrand hin zu größerem Material brachte ebenfalls keine zufriedenstellenden Ergebnisse.

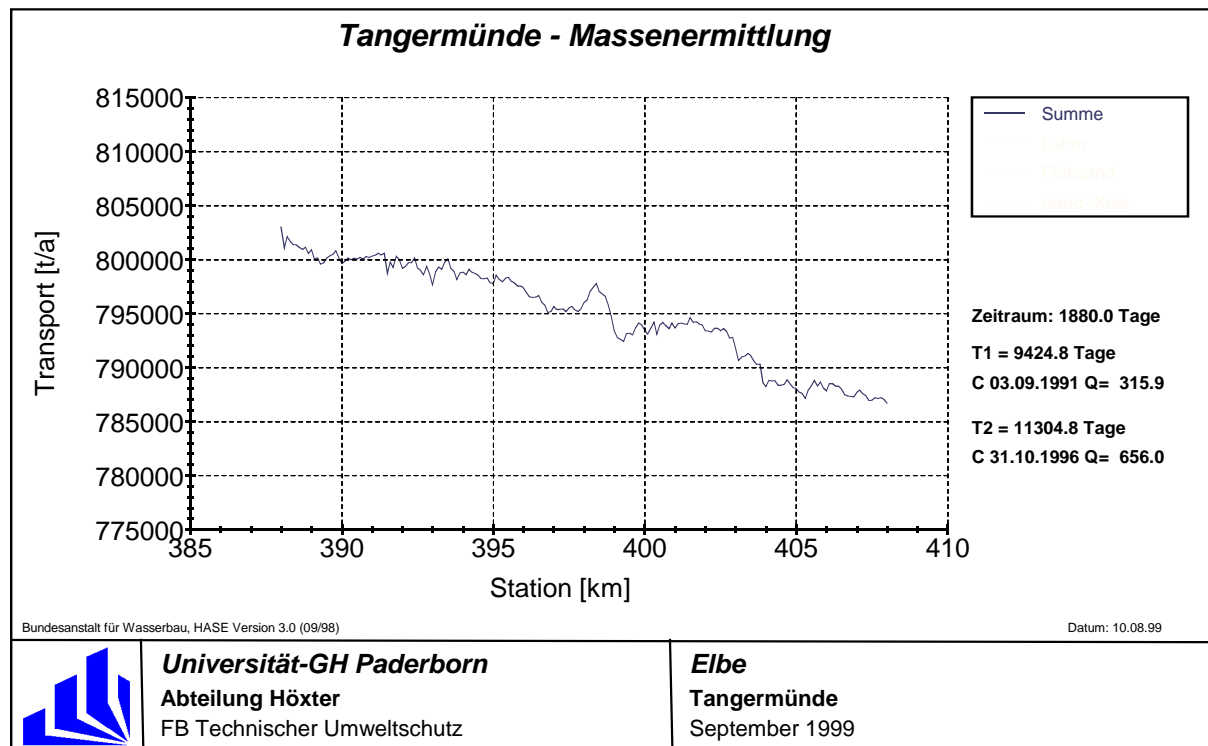


Abb. 11.11: Gesamttransport für den Zeitraum 1992-1996

Die Anlandungen am Modellanfang und die Erosion am Modellende spiegeln sich auch im Vergleich annähernd gleicher Abflüsse zu Beginn und Ende des Eichzeitraumes wider. Betrachtet man zum Beispiel die Abflüsse vom 07.04.1967 ($Q= 1260$ m³/s) und vom 18.06.1995 ($Q= 1263$ m³/s), so sinkt der Wasserspiegel von km 388,0-400,0 von +12 cm auf 0 cm, um sich dann dort einzupendeln. Als weiteres Beispiel ist hier ein Vergleich des geschiebeführenden Abflusses, der bei rund 510 m³/s liegt, zu nennen. Vergleichbare Zeitschritte sind hier der 04.07.1969 ($Q= 520$ m³/s) und der 27.01.1996 ($Q= 513$ m³/s). Am Modellanfang ist eine Wasserspiegelanhebung von +10 cm zu verzeichnen, die kontinuierlich abnimmt, um bei Elbe-km 397 in den negativen Bereich zu gehen. Das Minimum liegt hier bei -5 cm (km 404,0) und steigt zum Modellende wieder leicht an (Anlage VI-3).

In der folgenden Abbildung ist ein Vergleich des gepellten und des berechneten Talweges und eines Abflusses in der Größenordnung des mittleren Niedrigwassers dargestellt. In der diskretisierten Ganglinie tritt der Tageswert vom 11.10.93 ($Q= 249$ m³/s) als Berechnungszeitschritt

mit einem Abfluß von $Q = 294 \text{ m}^3/\text{s}$ auf. Dies erklärt, warum dieser Wasserspiegel rund 30 cm über dem fixierten Wasserspiegel vom 11.10.93 liegt. Auch hier zeigt sich am Modellanfang die Sohlerhöhung, die sich auch auf die Wasserspiegellage auswirkt. Trotzdem liegt in der Mitte der Berechnungsstrecke, wo die stärksten Erosionen auftreten, der berechnete Talweg der Peilung sehr ähnlich. Der berechnete Wasserspiegel dagegen liegt bedingt durch die Erosion zu niedrig.

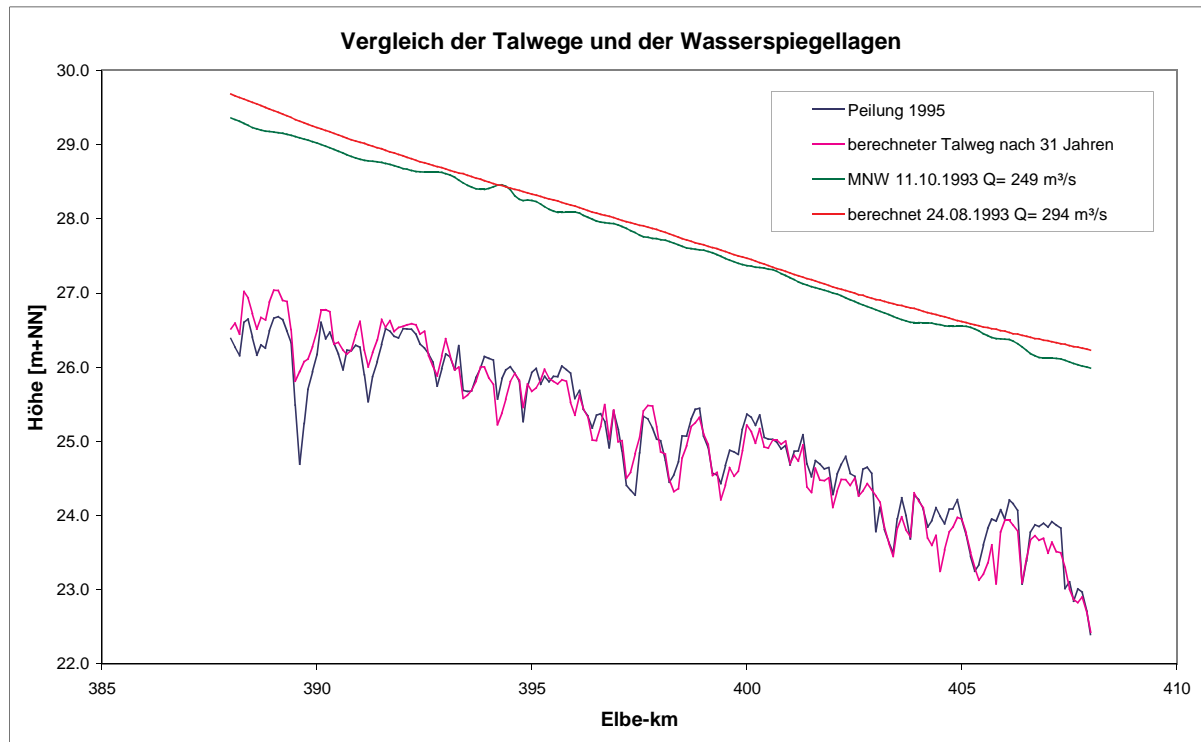


Abb. 11.12: Vergleich der Talwege und Wasserspiegellagen

Mit den Möglichkeiten der Variation der Parameter, die die sedimentologischen Kenngrößen betreffen, war eine stabile Eichung nicht zu erreichen. Eine mögliche Ursache kann in einer fehlerhaft aufbereiteten Geometrie liegen. Insbesondere die eingebauten Buhnen stellen in diesem Streckenabschnitt einen Unsicherheitsfaktor dar, da die Stromkarten den 60er-Jahren entstammen. Eine mögliche Veränderung in den geometrischen oder auch hydrologischen Daten zu Testzwecken konnte im Rahmen der Projektlaufzeit leider aus Zeitgründen nicht mehr durchgeführt werden.

11.4 Diskussion der Ergebnisse

Die in der Datenaufbereitung und der eindimensionalen Modelltechnik grundlegenden Vereinfachungen begünstigen in der Regel die Berechnung von geraden Flußläufen mit eng am Gewässer verlaufenden Deichen, wie sie im Streckenabschnitt km 388,0-408,0 vorzufinden sind. Die Datengrundlage war für diesen Elbe-Abschnitt von ihrem Umfang und ihrer Genauigkeit vergleichbar mit anderen Berechnungsstrecken der Elbe. Die Eichung des

Modells mit einer festen Modellsohle zur Bestimmung der Strömungsparameter zeigte mit anderen Elbe-Abschnitten vergleichbare Ergebnisse. Erst bei der sedimentologischen Eichung traten Unstimmigkeiten auf, die aus Zeitgründen zum Projektende noch nicht zufriedenstellend geklärt werden konnten. Hier ist eine nochmalige grundlegende Überprüfung der Eingabedaten notwendig. Insbesondere die Lage und der Zustand der Buhnen müßte aus aktuellen Stromkarten bzw. durch eine Buhnenpeilung verifiziert werden. Die sedimentologischen Eingangsgrößen, die auch in anderen Berechnungsstrecken gute Ergebnisse erzielten, sind hier nicht das vorrangige Problem, müßten aber nochmals überprüft werden. Die Sohlzusammensetzung der Sohle könnte ebenfalls weiter variiert werden.

12 Berechnungsstrecke Sandau

Die Bearbeitung dieses Streckenabschnitts wurde im Rahmen einer Diplomarbeit an der Universität-GH Paderborn, Abteilung Höxter im Februar 1998 durchgeführt [Otte-Witte, 1998].

12.1 Beschreibung des Untersuchungsgebietes

Der untersuchte Elbe-Abschnitt schließt sich an das 1D-Modell Tangermünde an. Das Modell beginnt bei Elbe-km 407,0 und endet nach 17,7 km Fließlänge bei Elbe-km 425,7. Die Streckenführung dieses Abschnittes ist relativ geradlinig, enge Flußmäander sind nicht vorhanden. Die Deichführung verläuft auf beiden Seiten nah an der Elbe; bei Hochwasser steht somit wenig Retentionsraum zur Verfügung (Anlage VII-1).

Im Untersuchungsgebiet sind keine größeren Zuflüsse vorhanden, allein bei km 422,2 liegt die Einmündung des Schleusenkanals der Havel.

Die Vorländer des Bearbeitungsgebietes sind schwach strukturiert und bestehen hauptsächlich aus Wiesen, Weiden und einzelnen Ackerbauflächen. Dichtere Wälder sind erst hinter dem Deich im Landesinnere anzutreffen (z.B. Sandauer Wald), die Auen sind vereinzelt mit Baumgruppen oder einzeln stehenden Bäumen bewachsen.

12.2 Hydraulisches Modell

12.2.1 Datengrundlage

Geometrie

Als Grundlage der Berechnung und der weiteren Bearbeitung diente eine Sohlpeilung der Elbe. Sie wurde vom WSA Magdeburg im Oktober 1995 in einem Abstand von 200 m durchgeführt. Die Aufnahme umfaßt die Gewässersohle und das Flußufer bis hinauf zur Böschungsoberkante.

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

Für diesen Elbeabschnitt lag keine Bühnenpeilung vor, die notwendigen Informationen über die Bühnen wurden daher aus den Stromkarten der Wasserschiffahrtsdirektion herausgearbeitet. Für diesen Streckenabschnitt lagen nur die historischen Stromkarten aus dem Jahr 1962 im Maßstab 1:5000 vor. In den letzten 30 Jahren hat sich der Zustand der Bühnen durch Verfall und Reparatur verändert. Die aktuelle Beschaffenheit der Bühnen wurde aus den Luftbildern einer MNW-Befliegung der WSD Ost im Jahr 1992 abgeleitet.

Hydrologie

Für die Eichung dieses Streckenabschnittes lagen Wasserspiegelfixierungen des WSA Magdeburg vor. Um das gesamte Abflußspektrum (insbesondere den HW-Bereich) abdecken zu können, mußte auch auf Fixierungen vor dem Jahr 1990 zurückgegriffen werden. Dies ist in diesem Abschnitt möglich, da laut Untersuchungen der Bundesanstalt für Wasserbau zur Entwicklung des GIW89* (20d) in den letzten 30 Jahren zwischen Tangermünde und Schnackenburg (km 474) keine nennenswerte Erosion bzw. Anlandung der Sohle festzustellen war [Faulhaber, 1997].

Als Bezugspegel für dieses Bearbeitungsgebiet wurde der Pegel Tangermünde bei km 388,2 gewählt. Der zum unteren Modellende (km 425,7) näher gelegene Wasserstands- und Abflußpegel Wittenberge bei km 454,6 wurde nicht für die Untersuchungen herangezogen, da zwischen dem Modellende und diesem Pegel die Havelmündung liegt und durch den seitlichen Zufluß zur Elbe die Abflußdaten verfälscht werden.

Nachstehende Tabelle zeigt den Überblick der für die Eichung des hydronumerischen Modells verwendeten Fixierungen unter Angabe der Wasserstände und Abflüsse am Pegel Tangermünde (Elbe-km 388,2).

Darüber hinaus gibt es eine weitere Hochwasserfixierung von April 1988. Der Abfluß liegt in der gleichen Größenordnung wie beim Hochwasser von 1981. Leider ist bei der Fixierung nicht der Hochwasserscheitel aufgenommen worden, so daß die Fixierung nicht mit dem gemessenen Abfluß am Pegel Tangermünde zusammenpaßt. Aus diesem Grund konnte die Fixierung aus dem Jahr 1988 nicht für die Eichung verwendet werden.

Datum	Wasserstand [m+NN]	Abfluß [m ³ /s]
11.10.1993	29,31	249
10.05.1989	30,78	560
12.05.1969	32,56	1284
19.03.1981	34,29	3250

Tab. 12.1: Wasserspiegelfixierungen

12.2.2 Datenaufbereitung

Geometrie

Da die Sohlpeilung im Abstand von 200 m erfolgte, wurden mit Hilfe des Programmes PROFIL Zwischenprofile im Abstand von 100 m interpoliert.

Im Rahmen der Diplomarbeit wurden die fehlenden Vorlandinformationen bis zu den Deichen bzw. zum hochwasserfreien Gelände für ausufernde Wasserstände erhoben. Grundlage

für die Aufnahme war die Topographische Karte im Maßstab 1:10.000. Die Flußprofile mit den zugehörigen Hektometersteinen wurden als Lageplan auf Transparentpapier geplottet und über die TK 10 gelegt. In Verlängerung der Flußprofile (Abstand 100 m) wurden dann die strukturbestimmenden Geländepunkte aufgenommen. Hierzu zählen neben den Höhenlinien auch Bruchkanten, Gräben und Seen. Die Tiefe der Seen wurde abgeschätzt, ebenso waren Gräben und Bruchkanten nicht immer mit einer Höhe belegt und wurden entsprechend dem umliegenden Gelände angepaßt.

Der Einbau von Buhnen in die Querschnitte ist notwendig, um im 1D-Modell die Abflußflächen insbesondere bei MNW- und MW-Verhältnissen richtig erfassen zu können. Für die Höhe der Buhnenköpfe wurde die Bauwerkssollhöhe in Anlehnung an den RW59 festgesetzt. Dieser liegt im Untersuchungsgebiet ca. 25 cm unter Mittelwasser. Die Kopfneigung wurde mit 1:5 und die Neigung des Rückens mit 1:200 angenommen. Auf den Stromkarten wurde zunächst die Streichlinie als Verbindung zwischen den Buhnenköpfen eingezeichnet. Ausgehend vom linken Profilstützpunkt konnte jetzt die Entfernung zu den jeweiligen Buhnenköpfen bzw. zu den Parallelwerken abgegriffen werden. Ein Vergleich mit den Luftbildern aus dem Jahr 1992 und einer optischen Kontrolle der in den Querschnitt eingebauten Buhnen zeigte, daß der Zustand der heutigen Buhnen nicht immer den historischen Karten entspricht. Eine Vielzahl der Buhnen ist zerstört und nicht mehr voll strömungswirksam, ebenso zeigten sich häufig vollständig verlandete Buhnenfelder. Aus diesem Grund wurden von km 413,5-415,3 die Buhnen auf der rechten Seite um 10 m verkürzt und in ihrer Höhe um 1 m abgesenkt. Zwischen km 416,9 und km 417,6 wurden die linksseitigen Buhnen vollständig entfernt.

Für ausufernde Abflüsse wurde das Vorland strömungstechnisch aufbereitet. Die örtlich vorhandenen Wälle am Ufer (Uferreihen) werden nicht bei allen Abflüssen überströmt. Tiefliegende Flächen, die nicht von Oberstrom durchflossen werden können, mußten abgetrennt werden. Bei diesen Änderungen galt die Priorität einer korrekten Abbildung der Verhältnisse bis zum MHQ. Diese Abflüsse treten wesentlich häufiger auf als höhere Abflüsse und beeinflussen die Morphodynamik der Elbe am stärksten.

Die Dreigliederung des Flußquerschnitts durch die Uferpunkte erfolgte auf Höhe der Böschungskante. Hierbei wurde auf einen gleichmäßigen Verlauf der Lage und Höhe geachtet, um bei ausufernden Abflüssen eine gleichmäßige Überströmung des Vorlandes zu erzielen.

Die Berechnung der Fließlängen zwischen den Querprofilen erfolgte mit dem Programm PROFIL getrennt für die Vorländer und den Flußschlauch. Hierzu wurde der lineare Abstand der Flächenschwerpunkte unter dem Hochwasser von 1981 bestimmt.

Hydrologie

Die Wasserspiegelfixierungen vom 11.10.93 und 10.05.89 lagen in einem unregelmäßigen Abstand von 500 m vor. Aus den Längsschnitten der Fixierungen von 1969 und 1981 konnte

jedem Elbe-Kilometer ein Wasserspiegel zugeordnet werden. Durch die oben aufgeführten Wasserspiegelfixierungen wurde mit Hilfe des Programmes PROFIL eine spline-Funktion durch die Punkte gelegt, um für jedes Querprofil des hydronumerischen Modells einen interpolierten Wasserspiegel zu erhalten.

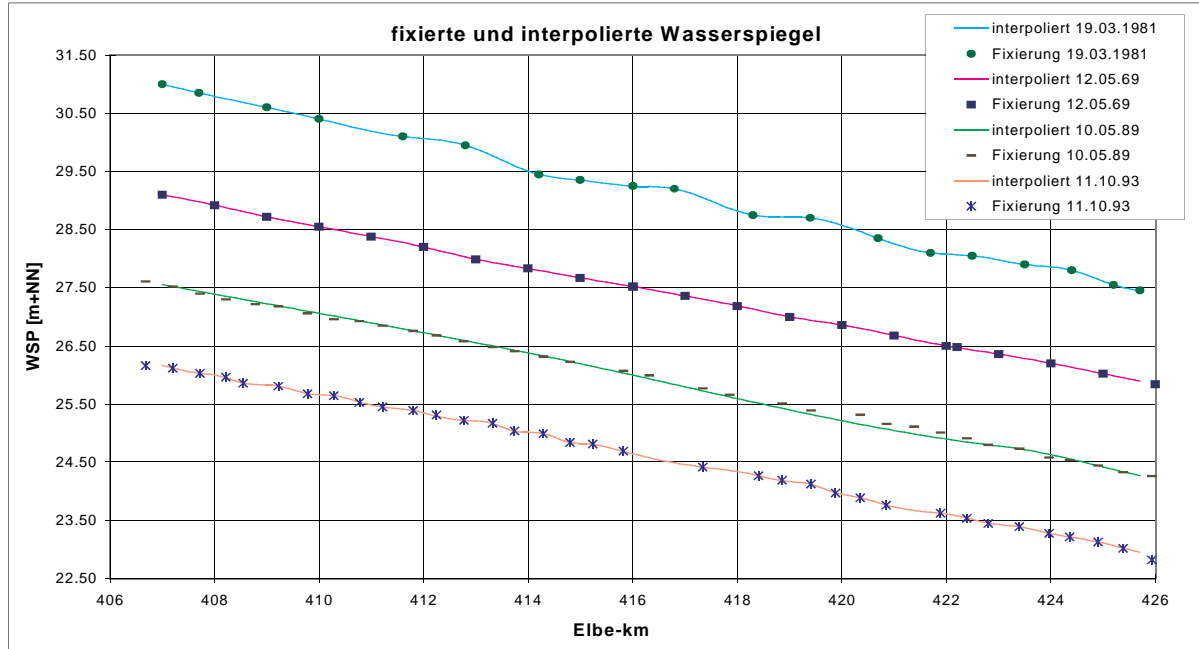


Abb. 12.1: Vergleich fixierter und interpolierter Wasserspiegel

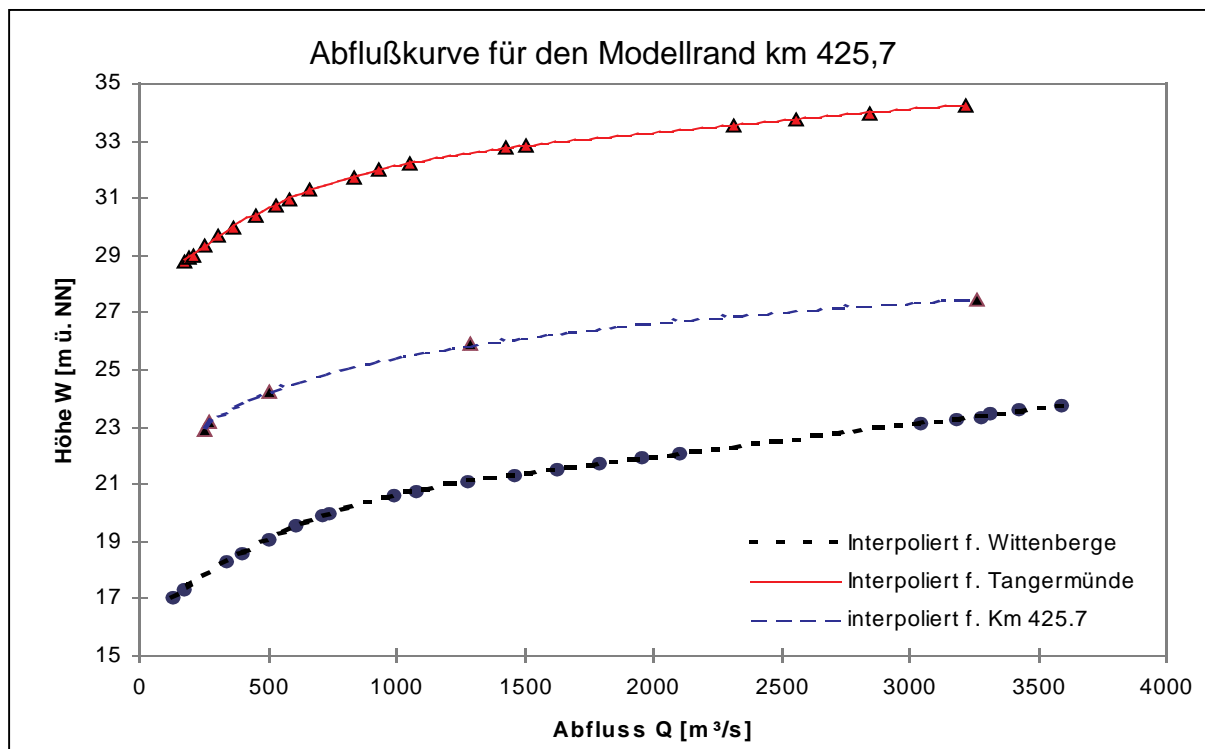


Abb. 12.2: Abflußkurven Pegel Tangermünde, Pegel Wittenberge und unterstromigen Modellrand

Eine Zeitreihenanalyse von TPI.4 „Hydrologische Analyse und Datenmanagement“ für den Pegel Tangermünde lag zum Zeitpunkt der Untersuchungen noch nicht vollständig vor. Die Abflußkurve wurde daher in Anlehnung an die aus Wasserspiegelfixierungen erstellten Pegelkurven für Tangermünde und Wittenberge ermittelt. Für den unterstromigen Modellrand bei km 425,7 wurde dann aus den Pegelkurven und den Wasserspiegelfixierungen des Elbe-km 425,7 eine Abflußkurve mittels Differenzenbildung und Regression erstellt.

12.2.3 Modelleichung

Die Eichung des Streckenabschnittes km 407,0-425,7 mit fester Sohle erfolgte mit dem Programm BOSS-HEC für AutoCAD. In diesem Programm kann bei der Eichung nicht mit tiefenabhängigen Rauheitsbeiwerten gearbeitet werden. Die Manning-Werte der Eichabflüsse müssen nach der Eichung manuell in einer gesonderten Karte für die Sedimenttransportberechnungen zusammengestellt werden.

Eichung mittleres Niedrigwasser

Für die Eichung wurde die Fixierung vom 11.10.1993 mit einem Abfluß von $Q = 249 \text{ m}^3/\text{s}$ am Pegel Tangermünde herangezogen. Aus der zuvor erstellten Abflußkurve für km 425,7 wurde ein Startwasserspiegel von 22,95 mNN definiert.

Die Rauheitsbeiwerte für die Eichung sind in der nachfolgenden Tabelle 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 [$\text{s}/\text{m}^{1/3}$]	k_{st} [$\text{m}^{1/3}/\text{s}$]
407,0 – 409,9	0,024	41,7
410,0 – 411,9	0,025	40,0
412,0 – 414,9	0,021	47,6
415,0 – 415,3	0,023	43,5
415,4 – 415,9	0,026	38,5
416,0 – 418,5	0,020	50,0
418,6 – 420,1	0,022	45,5
420,2 – 420,9	0,026	38,5
421,0 – 422,4	0,024	41,7
422,5 – 423,6	0,022	45,5
423,7 – 423,9	0,025	40,0
424,0 – 424,4	0,022	45,5
424,5 – 425,1	0,027	37,0
425,2 – 425,7	0,024	41,7

Tab. 12.2: Rauheitsbeiwerte mittleres Niedrigwasser

Die verwendeten Rauheitsbeiwerte liegen im Mittel bei $44 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ und damit im Bereich der nach DVWK 92 angegebenen Werte für ein natürliches Gerinne. Nur die Spitzenwerte von $50 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ sind selbst für sandiges Sohlmaterial sehr groß. Die in diesem Bereich eingebauten Buhnen stellen eine mögliche Fehlerquelle dar. Sind die Fließquerschnitte im Modell zu klein, muß der Rauheitsbeiwert zwangsläufig größer werden, um die Abflußleistung zu erhalten.

Die Differenzen zwischen gemessenem Wasserspiegel und berechneten Werten liegen zwischen -5 cm und $+7 \text{ cm}$ und damit innerhalb der Fehlertoleranz von 10 cm .

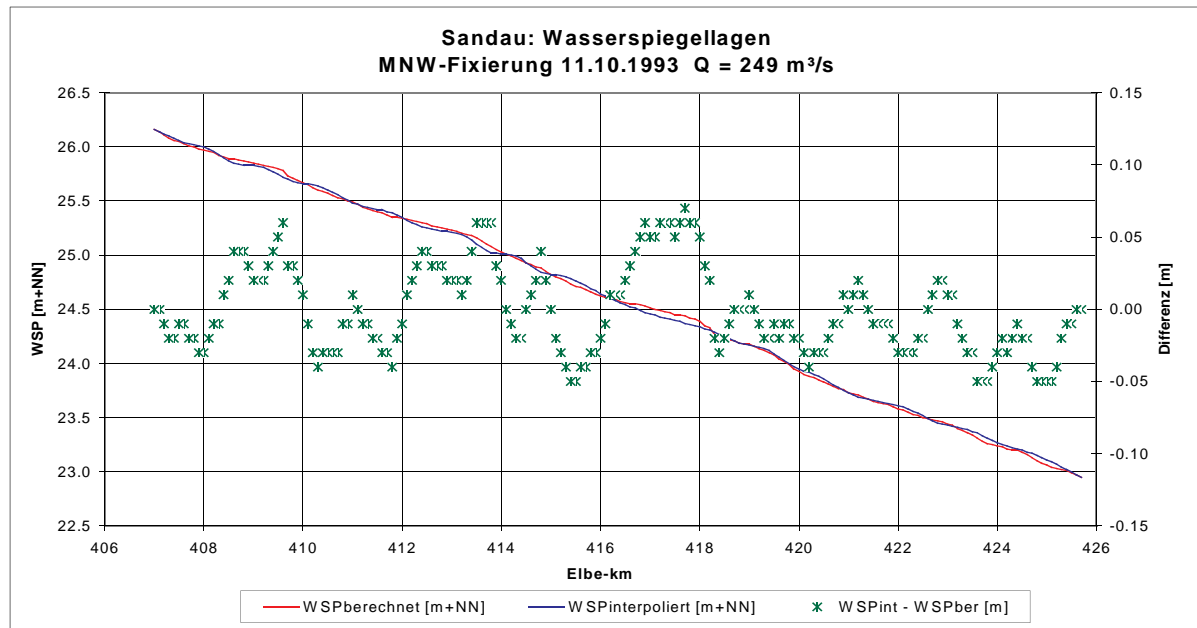


Abb. 12.3: Wasserspiegellagen und -differenzen (mittleres Niedrigwasser)

Die Ergebnisse dieser Eichung (Fließquerschnitte, Geschwindigkeiten und Schubspannungen) sind graphisch in Anlage VII-2 beigelegt. Die Flächen zeigen eine relativ breite Streuung mit Werten zwischen 200 m^2 und 400 m^2 . Im Krümmungsbereich zwischen (km 418-420) treten aufgrund der Verlandung an der Innenseite die kleinsten Fließquerschnitte auf. Entsprechend sind in diesem Abschnitt die größten Fließgeschwindigkeiten mit Spitzenwerten bis $1,2 \text{ m/s}$ zu finden. Im Mittel über die Berechnungsstrecke beträgt die Geschwindigkeit bei diesem Abfluß $0,8 \text{ m/s}$. Die Sohlschubspannungswerte schwanken zwischen $2,0 \text{ N/m}^2$ und $5,0 \text{ N/m}^2$. Die Spitzenwerte treten in der Krümmung auf, da die Schubspannung über das Energiegefälle mit der Geschwindigkeit verknüpft ist.

Eichung Mittelwasser

Hierzu wurde die Fixierung vom 10.05.1989 mit einem Abfluß von $Q = 560 \text{ m}^3/\text{s}$ und einem Startwasserspiegel von $24,21 \text{ mNN}$ der unterstromigen Schlüsselkurve verwendet.

Nachfolgend sind die Rauheitsbeiwerte der Eichung für den Flußschlauch tabellarisch aufgeführt. Die Vorlandrauheit, die bei diesem Wasserstand die an einigen Stellen überströmten

Buhnenrücken widerspiegelt, bekam für die Eichung einen Wert von $0,034 \text{ s/m}^{1/3}$ ($29 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$) zugewiesen.

Elbe-km	Flußschlauch	
	n [$\text{s/m}^{1/3}$]	k_{St} [$\text{m}^{1/3}/\text{s}$]
407,0 – 407,9	0,027	37,0
408,0 – 410,4	0,025	40,0
410,5 – 412,4	0,027	37,0
412,5 – 414,4	0,026	38,5
414,5 – 416,9	0,027	37,0
417,0 – 417,9	0,026	38,5
418,0 – 418,9	0,023	43,5
419,0 – 420,0	0,022	45,5
420,1 – 423,4	0,027	37,0
423,5 – 425,7	0,028	35,7

Tab. 12.3: Rauheitsbeiwerte Mittelwasser (Flußschlauch)

Über den Streckenabschnitt gemittelt liegt der Strickler-Beiwert bei $38 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ und damit unter dem Wert der Eichung des mittleren Niedrigwassers. Das „hydraulisch rauhere“ Verhalten ist auf die Buhnen zurückzuführen, die bei diesem Wasserstand an den Köpfen vielfach überströmt werden und mit Turbulenzen für höhere Verluste sorgen.

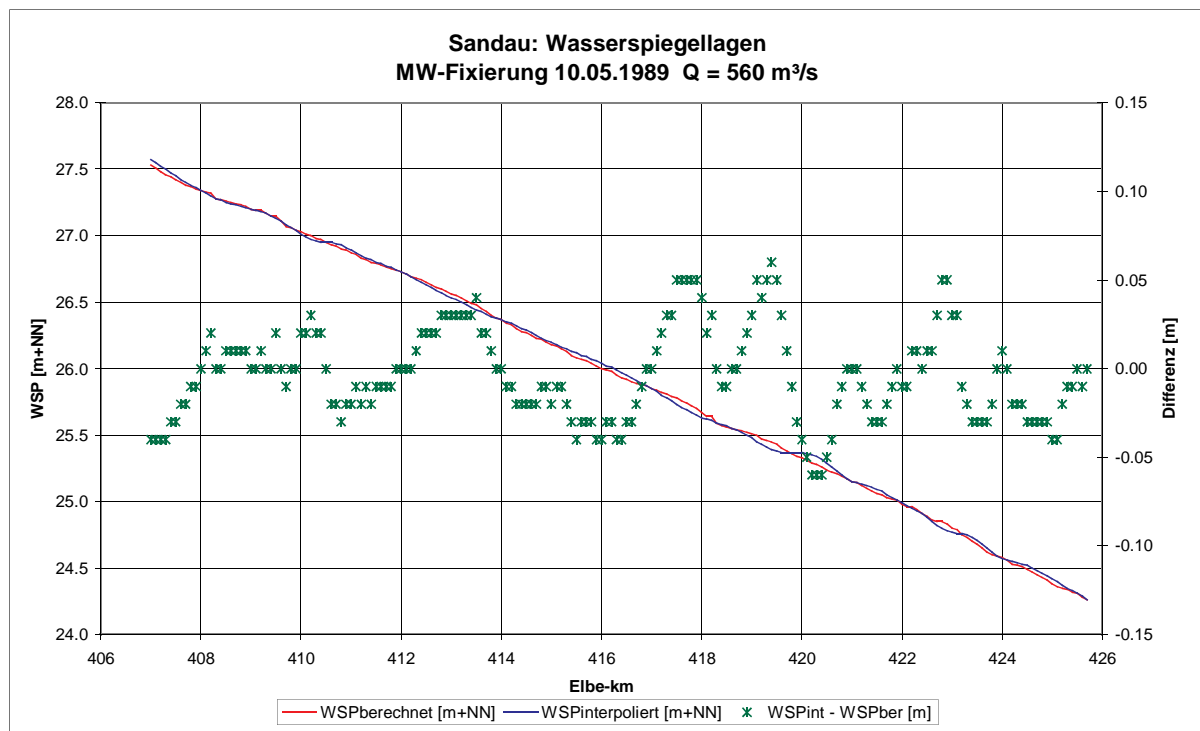


Abb. 12.4: Wasserspiegellagen und -differenzen (Mittelwasser)

Die Abweichungen zwischen dem interpolierten Wasserspiegel der Fixierung vom 10.05.89 und dem mit HEC berechneten Wasserspiegel liegen zwischen -6 cm und +6 cm.

Die Ergebnisse der Eichung mit fester Sohle für diesen Abfluß sind als Grafiken in Anlage VII-2 enthalten. Im Durchschnitt liegt die Abflußfläche bei 570 m² und zeigt eine insgesamt etwas geringere Schwankungsbreite als das mittlere Niedrigwasser. Die kleinsten Abflußflächen treten auch hier im Krümmungsbereich zwischen km 418 und km 420 auf. Die Werte der Fließgeschwindigkeit liegen bei großen Querschnittsflächen bei 0,8 m/s und erreichen in kompakten Querschnitten Spitzenwerte bis 1,3 m/s; im Mittel werden 1,0 m/s erreicht. Ein Vergleich mit der kritischen Schubspannung nach DIN 19661 zeigt, daß der Wert von 6,0 N/m² für Grobsand von 0,63 mm bis 2,0 mm an einigen Stellen bereits überschritten wird und mit einer beginnenden Bewegung an der Sohle gerechnet werden kann. Die berechnete Sohlschubspannung liegt für diesen Abfluß zwischen 3,0 N/m² und 7,0 N/m².

Eichung Hochwasser 1

Die Fixierung vom 12.05.1969 mit $Q = 1284 \text{ m}^3/\text{s}$ liegt unter dem MHQ (Jahresreihe 1964-1995) mit $Q = 1741 \text{ m}^3/\text{s}$ des Pegels Tangermünde. Der Startwasserspiegel für den unterstromigen Modellrand wurde aus der Schlüsselkurve mit 25,89 mNN ermittelt. In Anlage VII-2 sind die Ergebnisse dieser Eichung graphisch festgehalten, die verwendeten Rauheitsbeiwerte für den Flußschlauch sind in der Tabelle aufgeführt. Für das Vorland wurde ein einheitlicher Rauheitsbeiwert von $0,037 \text{ s/m}^{1/3}$ ($27,0 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$) verwendet.

Elbe-km	Flußschlauch	
	n [s/m ^{1/3}]	k _{st} [m ^{1/3} /s]
407,0 – 408,9	0,024	41,7
409,0 – 410,5	0,023	43,5
410,6 – 412,9	0,024	41,7
413,0 – 416,0	0,023	43,5
416,1 – 416,9	0,025	40,0
417,0 – 421,9	0,022	45,5
422,0 – 422,9	0,024	41,7
423,0 – 424,4	0,025	40,0
424,5 – 425,7	0,024	41,7

Tab. 12.4: Rauheitsbeiwerte Hochwasser 1 (Flußschlauch)

Bei einem Vergleich der über die Gesamtstrecke gemittelten Rauheitsbeiwerte zeigt sich, daß mit steigendem Wasserstand im Flußschlauch der Einfluß der Sohle abnimmt. Die beginnende Ausuferung tritt in den Hintergrund, da über 90% des Abflusses im Gerinne abgeführt

werden. Gegenüber dem Mittelwasser steigt der durchschnittliche Strickler-Beiwert aufgrund des glatteren Strömungsverhaltens von $38 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ auf $43 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$.

Die Abweichungen zwischen interpolierter und berechneter Wasserspiegellage liegen bei diesem Abfluß zwischen $\pm 5 \text{ cm}$ und damit im tolerierbaren Rahmen.

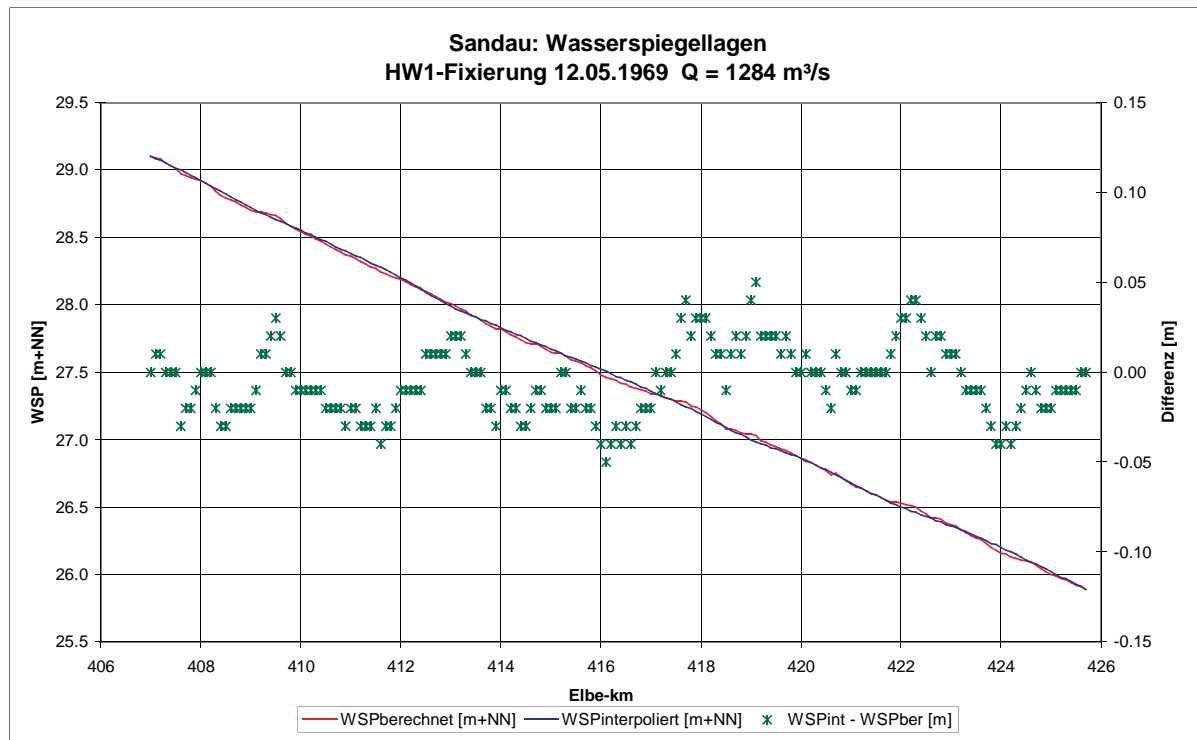


Abb. 12.5: Wasserspiegellagen und -differenzen (Hochwasser 1)

Die Abflußflächen steigen gegenüber dem Mittelwasser stark an, da bei diesem Abfluß eine Ausuferung in die Aue beginnt. Der Abflußanteil über dem Vorland liegt hierbei meist unter 10%, nur im Bereich eines Altarmes auf dem linken Vorland (km 416,5-418) wird rund 15% des Abflusses durch die Aue fließen. Es werden in Abhängigkeit der Ausuferung bzw. der Querschnittsfläche Geschwindigkeiten im Flußschlauch von durchschnittlich $1,25 \text{ m/s}$ erreicht. Über dem Vorland bei nur geringen Wassertiefen liegt die Fließgeschwindigkeit mit rund $0,25 \text{ m/s}$ deutlich geringer als im Hauptgerinne. Die Sohlschubspannung bewegt sich hier zwischen $3,0 \text{ N/m}^2$ und $7,0 \text{ N/m}^2$. In Bereichen, in denen der Abfluß im Flußschlauch abgeführt wird, treten entsprechend die größten Schubspannungen auf.

Eichung Hochwasser 2

Der Startwasserspiegel für diesen Abfluß ($Q = 3250 \text{ m}^3/\text{s}$) beträgt $27,45 \text{ mNN}$ bei Elbe-km 425,7. Bei vollständiger Überströmung des Vorlandes wurden die Rauheitsbeiwerte auf den Vorländern variiert, um den Einfluß von Gehölzonen besser erfassen zu können. In der Literatur [DVWK, 1990] werden breite Spannen von Rauheitsbeiwerten für verschiedene

Bewuchsformen angegeben. Es wurde hier versucht, im mittleren Bereich der Angaben zu bleiben. Ferner wurde der Rauheitsbeiwert für unterschiedliche Bewuchsformen gewichtet. Für den Flußschlauch und die Vorländer sind die Rauheitsbeiwerte der Eichtung in den nachstehenden Tabellen enthalten.

Elbe-km	Flußschlauch	
	n [$s/m^{1/3}$]	k_{st} [$m^{1/3}/s$]
407,0 – 409,9	0,025	40,0
410,0 – 411,9	0,022	45,5
412,0 – 413,9	0,026	38,5
414,0 – 415,9	0,021	47,6
416,0 – 417,6	0,027	37,0
417,7 – 418,9	0,022	45,5
419,0 – 420,8	0,027	37,0
420,9 – 422,8	0,023	43,5
422,9 – 425,7	0,026	38,5

Tab. 12.5: Rauheitsbeiwerte Hochwasser 2 (Flußschlauch)

Elbe-km	Vorland links		Vorland rechts	
	n [$s/m^{1/3}$]	k_{st} [$m^{1/3}/s$]	n [$s/m^{1/3}$]	k_{st} [$m^{1/3}/s$]
407,0 – 411,9	0,037	27,0	0,037	27,0
412,0 – 413,9	0,042	23,8	0,037	27,0
414,0 – 415,9	0,034	29,4	0,034	29,4
416,0 – 418,9	0,037	27,0	0,037	27,0
419,0 – 421,9	0,037	27,0	0,043	23,2
422,0 – 422,8	0,043	23,2	0,043	23,2
422,9 – 425,7	0,037	27,0	0,037	27,0

Tab. 12.6: Rauheitsbeiwerte Hochwasser 2 (Vorländer)

Der durchschnittliche Rauheitsbeiwert im Flußschlauch liegt etwas niedriger als beim Hochwasser 1. Dieser Effekt ist nicht eindeutig zu klären, könnte aber in der differenzierteren Betrachtung der Strickler-Beiwerte über dem Vorland liegen.

Die Abweichungen zwischen interpolierter und mit HEC berechneter Wasserspiegellage liegen bei diesem Abflußereignis zwischen +/-12 cm und somit ein einem für ein Hochwasserereignis dieser Größenordnung akzeptablen Bereich.

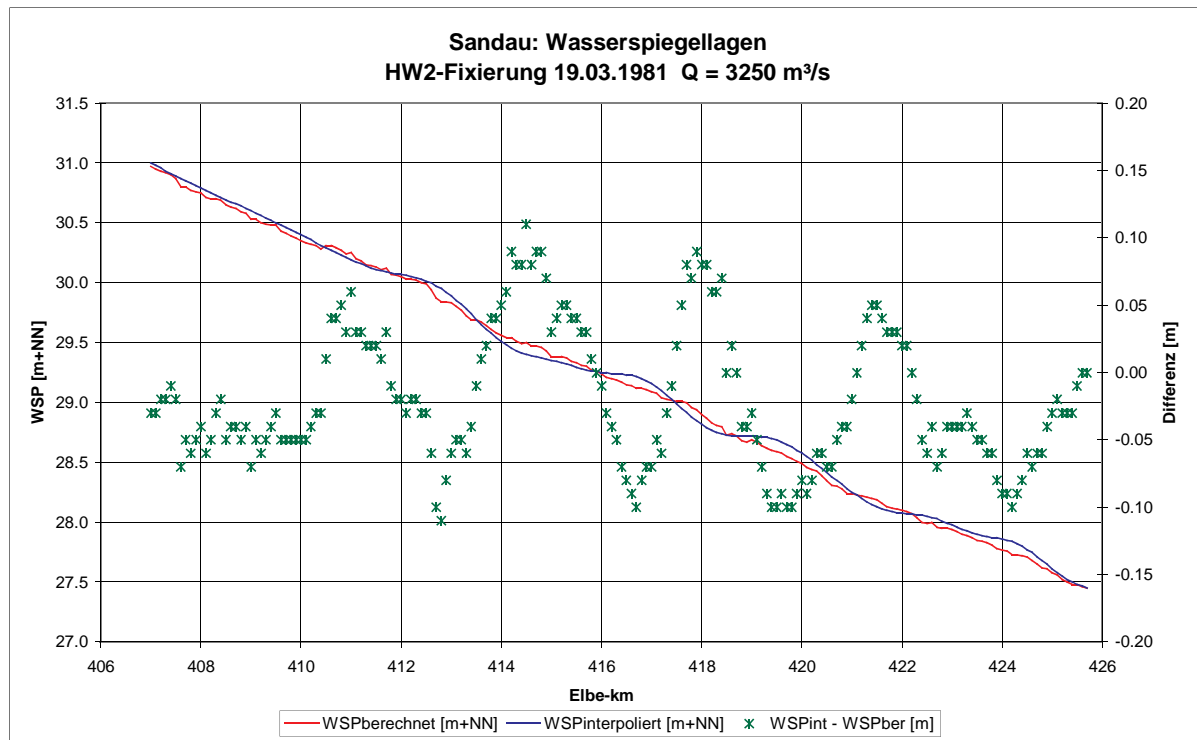


Abb. 12.6: Wasserspiegellagen und -differenzen (Hochwasser 2)

Die Ergebnisse der Eichung dieses Abflusses sind graphisch in Anlage VII-2 beigefügt. Der wellenförmige Verlauf der Wasserspiegellage liegt in den großen Unterschieden der Abflußflächen begründet. Die Einschnürung der Elbe im Bereich der Ortschaft Sandau (km 413-415) mit kleinen Gesamtabflußflächen von 2500 m² zeigt auch in den berechneten Schubspannungen von 12,0 N/m² deutlich ihre Auswirkungen. In Abschnitten mit einer elbefernen Deichführung und einem Altarm auf der linken Vorlandseite (km 416-418) steigt die Abflußfläche auf 4000 m² an und die Schubspannung sinkt auf rund 6,0 N/m². Die Fließgeschwindigkeit im Flußschlauch liegt bei diesem Abflußereignis durchschnittlich bei 1,6 m/s; im Vorland werden im Mittel 0,5 m/s erreicht (Spitzenwerte bei 0,9 m/s).

12.3 Sedimentologisches Modell

12.3.1 Datengrundlage

Geometrie

Die Geometriedatei der Eichung mit fester Sohle wurde direkt in die Feststofftransportberechnungen übernommen. Aus den einzelnen Rauheitsbeiwerten für die Eichabflüsse wurde eine spezielle Karte mit tiefenabhängigen Rauheitsbeiwerten im Flußschlauch HEC-6 zusammengestellt. Für die Vorländer wurden die Rauheitsbeiwerte des Hochwassers 2 unabhängig von der Höhe der Überströmung definiert.

Hydrologie

Für die Ganglinie lag eine Abflußreihe des Pegels Tangermünde aus den Jahren 01.11.1960 bis 31.10.1995 als Tagesmittelwerte vor.

Es wurde für den gesamten Zeitraum der Eichganglinie die gleiche Abflußkurve verwendet, die bereits für das 1D-Modell mit fester Sohle erstellt worden ist.

Sedimentologie

Für den Streckenabschnitt km 407,0-425,7 lag keine Messung der Sohlzusammensetzung vor, so daß hier auf benachbarte Probenahmestellen zurückgegriffen werden mußte. Die Sohldaten wurden dem BfG-Bericht „Kornzusammensetzung der Elbesohle von der tschechisch-deutschen Grenze bis zur Staustufe Geesthacht“ [Haunschild et al. 1994] entnommen. Es waren je nach Meßstelle Querschnittsmittelwerte und Einzelbeprobungen links-mitte-rechts bzw. nur Werte aus der Flußmitte vorhanden.

Der Eintrag der Geschiebe- und Schwebstofffrachten am oberstromigen Modellrand ist auf die Meßstelle der Bundesanstalt für Gewässerkunde bei Tangermünde (km 388,8) zurückzuführen. Die dem Bearbeitungsgebiet nähergelegene Meßstelle Wittenberge (km 456,6) wurde hier nicht verwendet, da die Einmündung der Havel dazwischen liegt. Durch den seitlichen Feststoffeintrag ist eine stärkere Änderung des Geschiebes und der Schwebstoffe zu erwarten. Zum Zeitpunkt des Modellaufbaus lagen Geschiebe- und Schwebstoffmessungen aus den Jahren 1994-1997 vor. Die Meßwerte sind hier tabellarisch aufgeführt, um die Streuung der Parameter aufzuzeigen.

Datum	Abfluß [m³/s]	Fracht [t/d]	geschiebeführende Breite [m]
01.12.1994	396	61	139
15.12.1994	438	114	131
28.08.1995	291	39	131
14.12.1995	489	144	144
02.08.1996	489	577	152
11.11.1996	543	477	157
04.12.1996	520	443	147
06.02.1997	386	514	147
30.07.1997	1021	1044	109

Tab. 12.7: Geschiebemessungen Tangermünde

Datum	Abfluß [m³/s]	Feinschweb [t/d]	susp. Sand [t/d]	Gesamt [t/d]	Fein [%]	Sand [%]
01.12.1994	396	850	79	930	91	9
15.12.1994	438	717	116	833	86	14
14.12.1995	489	934	193	1127	83	17
11.11.1996	543	1374	373	1747	79	21
04.12.1996	520	756	136	892	85	15
06.02.1997	386	464	171	635	73	27
30.07.1997	1021	3365	381	3747	90	10

Tab. 12.8: Schwebstoffmessungen Tangermünde

12.3.2 Datenaufbereitung

Geometrie

Das eindimensionale Modell mit beweglicher Sohle benötigt neben der geeichten Geometriedatei die Definition der geschiebeführenden Breite im Flußschlauch (auf den Vorländern ist keine Erosion/Ablagerung möglich). Für HEC-6 wird diese zwischen den Buhnenfüßen definiert und schwankt zwischen 130-180 m Breite (Anlage VII-3). Um bei der Berechnung ein ausreichendes Sedimentreservoir in der Sohle zur Verfügung zu stellen, wurde die Tiefe der beweglichen Sohle mit 5 m eingegeben.

Hydrologie

Die Tageswerte des Zeitraums 01.11.1960 bis 31.10.1995 umfassen rund 12.800 Einzelwerte, die bei ihrer unbearbeiteten Verwendung den Rechenaufwand des Programmes unnötig erhöhen und eine Ergebnisdatei >1GB erzeugen würden. Aus diesem Grund werden die Tageswerte unter Vorgabe einer Abflußdifferenz zusammengefaßt. Beginnend vom Startwert werden alle Tage, deren Abflußdifferenz kleiner als die vorgegebene ist, aufaddiert und zu einem Zeitschritt zusammengefaßt. Aus den Abflüssen dieser Tage wird das arithmetische Mittel gebildet und als Abflußwert für den Zeitschritt verwendet. Durch die Vorgabe der Abflußdifferenz von $\Delta Q = 200 \text{ m}^3/\text{s}$ konnte die Zahl der Berechnungszeitschritte auf 769 reduziert werden.

Langanhaltende Abflußperioden (insbesondere bei niedrigem Wasserstand) können programmintern ohne Ausgabe von Ergebnissen verkürzt werden. Dies ist notwendig, da die hydraulischen Verhältnisse nur zu Beginn eines Zeitschrittes berechnet werden. Treten Erosion oder Akkumulation in so großem Umfang auf, daß sich die hydraulischen Bedingungen merklich ändern, so würden die Ergebnisse bei zu langen Zeitschritten verfälscht. Nach Testrechnungen mit einem niedrigen, einem bordvollen und einem Hochwasserabfluß wurde

die Dauer eines verkürzten Zeitschrittes auf maximal 36 Tage bei kleinen Abflüssen festgesetzt, Abflüsse größer 1200 m³/s haben eine maximale Zeitschrittlänge von einem Tag.

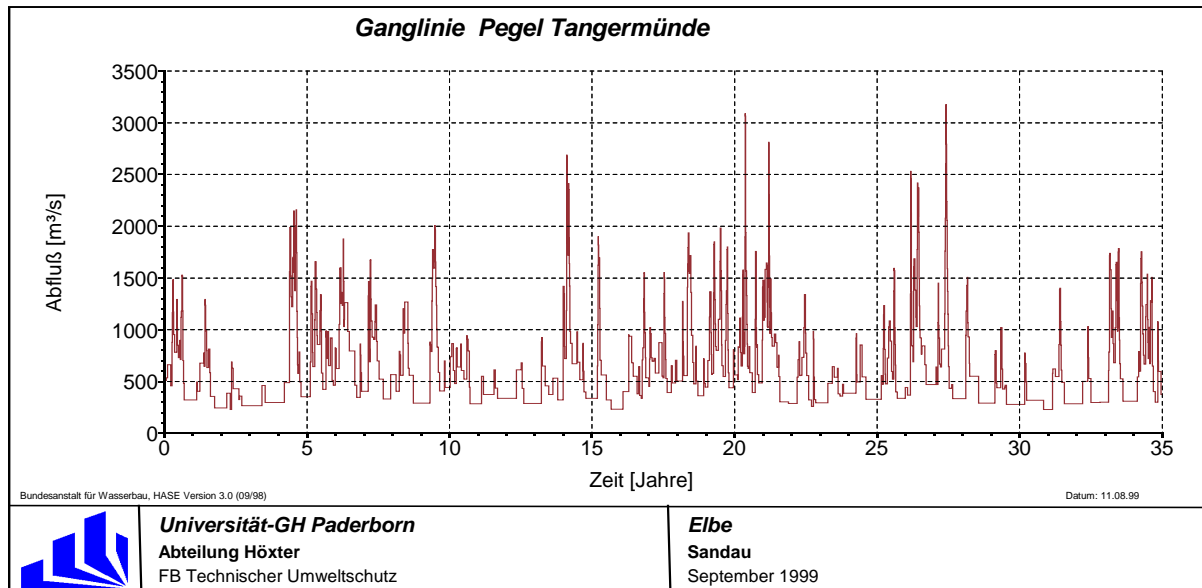


Abb. 12.7: Abflußganglinie Pegel Tangermünde (35 Jahre)

Sedimentologie

Da im Untersuchungsgebiet keine Meßdaten vorlagen, wurde aus den vorhandenen Sieblinien der nächsten zwei oberstrom (km 386,0 und km 388,0) und der nächsten zwei unterstrom (km 427,6 und km 428,0) gelegenen Meßstellen eine mittlere Kornverteilung durch graphische Interpolation ermittelt. Aus der Grafik wurden dann die Korngrößenklassen des amerikanischen AGU-Systems herausgelesen, die HEC-6 als Eingabeparameter benötigt.

Das Programm HEC-6 braucht als Eingangsdaten eine Abfluß-Feststofftransport-Beziehung, um den Eintrag am oberstromigen Modellrand für jeden Abfluß zu berechnen. Es wird keine Unterteilung in Geschiebe und Schwebstoffe vorgenommen, sondern ein Wert für die Transportrate in [t/d] mit der zugehörigen Kornverteilung nach AGU angegeben.

Die Geschiebe- und Schwebstoffmessungen der Meßstelle Tangermünde wurden ausgewertet und eine Abfluß-Fracht-Beziehung über den Meßbereich ($Q = 291-1012 \text{ m}^3/\text{s}$) bis zum kleinsten/größten aufgetretenen Abfluß der diskretisierten Ganglinie mit $Q = 226 / 3175 \text{ m}^3/\text{s}$ extrapoliert, dabei wurde ein annähernd logarithmischer Verlauf angenommen (Anlage VII-3).

Die Abfluß-Fracht-Beziehung benötigt weiterhin die Eingabe der Korngrößenverteilung nach AGU. Während die Geschiebemessungen mit einer Kornverteilung angegeben werden, sind die Schwebstoffmessungen nur prozentual nach Feinschweb und suspendiertem Sand unterteilt. Für den Feinschweb wurde der Anteil auf die Schluffklassen 0,002-0,063 mm verteilt. Für die Sandfraktion wurde angenommen, daß sich die Kornfraktionen bei Abflüssen unter

Mittelwasser auf die Klassen Fein- und Mittelsand (0,063-0,63 mm) und bei höheren Abflüssen zusätzlich auf die Klasse Grobsand (0,63-2,0 mm) verteilt.

Aus den Verteilungen der Korngrößenklassen für die Geschiebe- und Schwebstoffmessungen wurde dann eine anteilmäßige Gesamtverteilung der Korngrößenklassen nach dem AGU-System für die Transportkurve erstellt (Anlage VII-3).

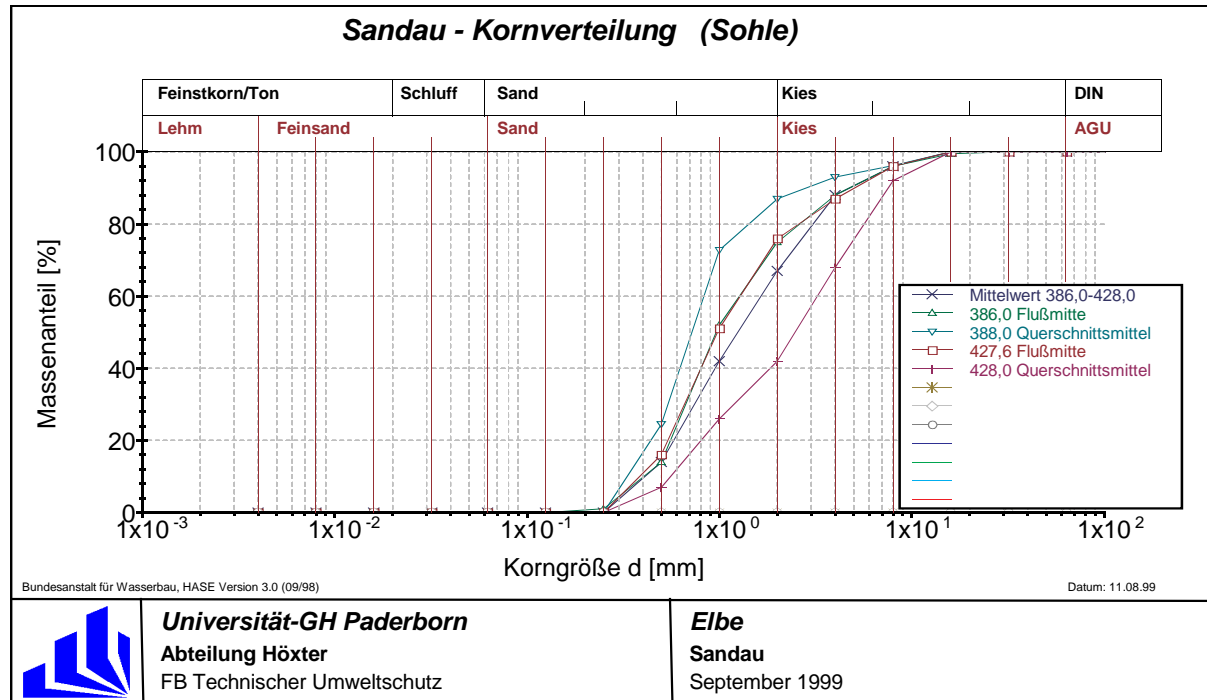


Abb. 12.8: Kornverteilung der Sohle

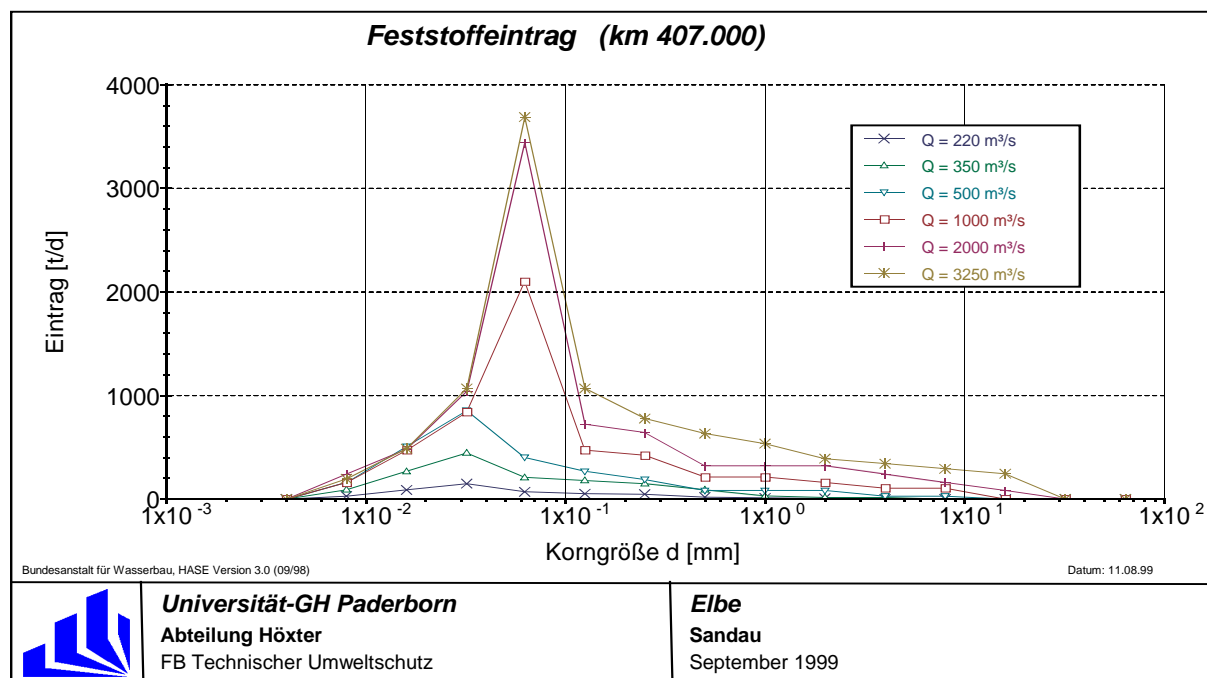


Abb. 12.9: Feststoffeintrag am oberstromigen Modellrand

12.3.3 Modelleichung

Ein direkter Vergleich der Sohllagen zwischen 1960 und 1995 konnte nicht vorgenommen werden, da im Verbundprojekt nur die aktuellen Peilungen aufbereitet worden sind. Um eine Vorstellung der Sohlentwicklung in den letzten 34 Jahren zu bekommen, wurde ein Vergleich über normierte Wasserspiegelfixierungen vorgenommen. Es lagen folgende Fixierungen ähnlicher Abflüsse vor:

14.09.1959 221 m³/s a.P. Tangermünde

03.10.1985 272 m³/s a.P. Tangermünde

11.10.1993 249 m³/s a.P. Tangermünde

Mit Hilfe der Schlüsselkurve des Pegels Tangermünde konnte die Differenz der älteren Wasserstände zum Wasserstand vom 11.10.1993 ermittelt werden. Um diesen Betrag wurden dann die Wasserspiegelfixierungen verschoben und miteinander verglichen. Die Differenzen zwischen den normierten Wasserspiegeln ist gering und überschreitet keine 10 cm. Dies deckt sich mit den Untersuchungen der Bundesanstalt für Wasserbau [Faulhaber, 1997], die zwischen Tangermünde und Schnackenburg keine nennenswerte Erosionstendenz feststellen konnte.

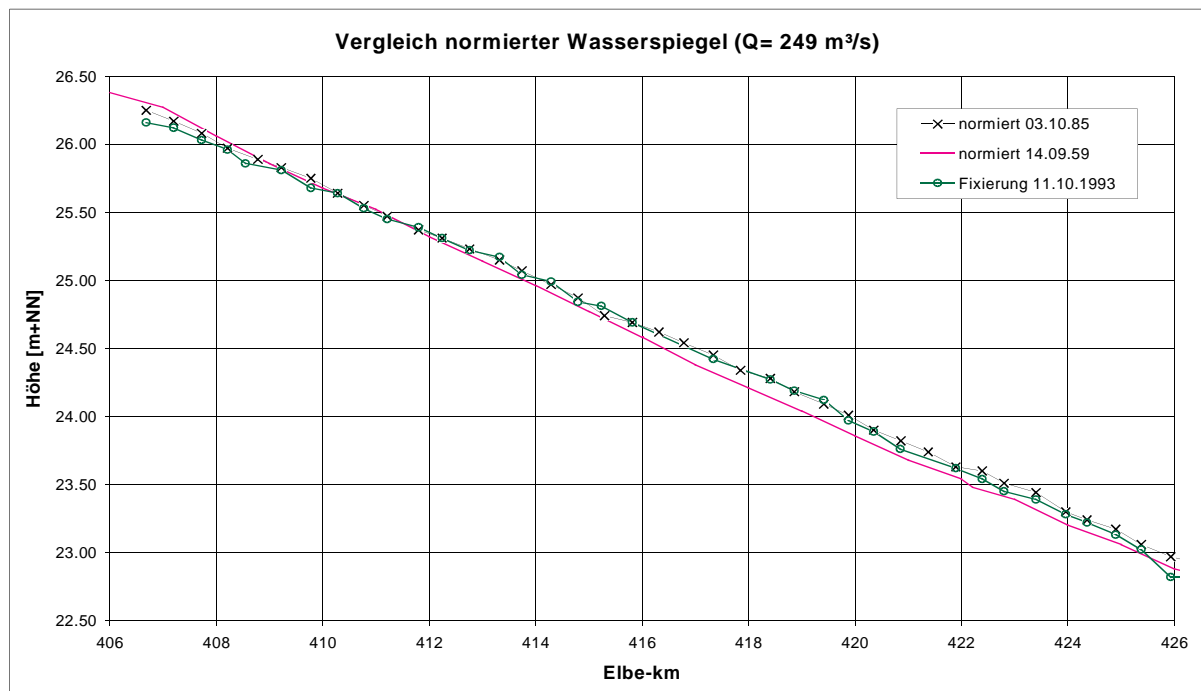


Abb. 12.10: Vergleich der auf 249 m³/s normierten Wasserspiegel

Nach verschiedenen Literaturangaben wird der Transportansatz nach Tofaletti von 1969 für große Flüsse mit sandigem Bettmaterial empfohlen. An der Elbe wurden mit diesem Ansatz bereits in anderen Modellstrecken sehr gute Erfahrungen gemacht, die sich bei diesem Untersuchungsgebiet bestätigten. Nach Vergleichsrechnungen mit weiteren Transportansätzen

wurde für das 1D-Modell der Ansatz nach Tofaletti-Schocklitsch gewählt, da dieser eine größere Bandbreite abdeckt als der Tofaletti-Ansatz allein. Bei kombinierten Ansätzen vergleicht HEC-6 die Ergebnisse beider Ansätze und verwendet für diesen Zeitschritt jeweils den größeren Wert.

Die aus den vier Probenahmepunkten zusammengesetzte Kornverteilung der Sohle wurde im Rahmen der Eichung nicht verändert, da Testrechnungen mit leichten Veränderungen der Sohlzusammensetzung keine nennenswerten Unterschiede in den Ergebnissen ergaben. Während der Eichung änderte sich die Zusammensetzung der aktiven Sohlschicht im Rahmen der ober- und unterstrom gemessenen Sohlsieblinien. Gegen Ende des Eichzeitraumes war eine Verschiebung des d_{65} -Werte von anfangs 2 mm auf 4 mm am Ende festzustellen. Ein annähernd stabiler Zustand der Sohle ohne Abpflasterung wurde erreicht (Anlage VII-3).

Die Sohlveränderung nach 35 Jahren Simulationszeit zeigt bei einem gleitenden Schnitt über 10 Profile Werte von $-0,5$ m bis $+0,2$ m. Abweichungen einzelner Profile im Bereich mehrerer Dezimeter müssen hierbei toleriert werden, solange sie nach einer Anlaufphase einen stabilen Zustand erreichen. Wichtiger ist die Betrachtung größerer Abschnitte, damit keine unerklärlichen Erosions- oder Akkumulationserscheinungen auftreten.

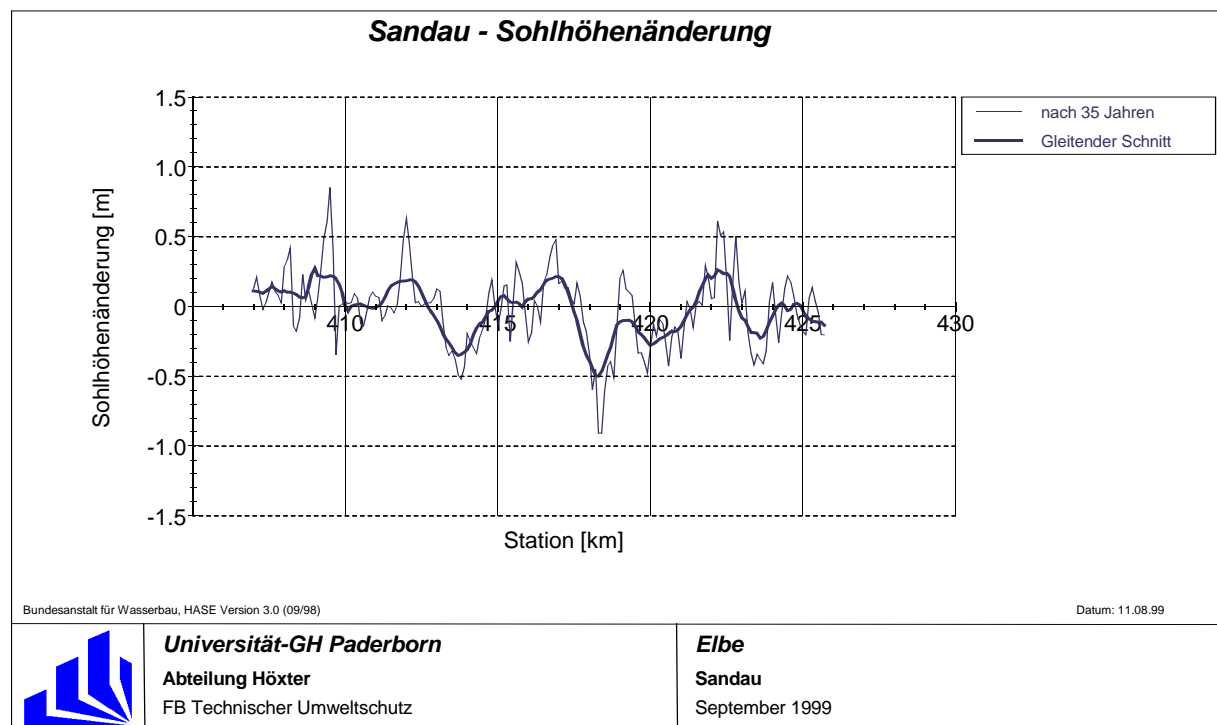


Abb. 12.11: Sohlhöhenänderung nach 35 Jahren Simulationszeit

Die mittlere Sohlhöhenänderung über die gesamte Strecke unter -6 cm, gegen Ende des Simulationszeitraumes werden -3 cm erreicht (Anlage VII-3).

Ein wichtiges Eichkriterium ist die durchschnittliche jährliche Feststofftransportrate. Nach Messungen der Bundesanstalt für Gewässerkunde liegt diese für den Zeitraum 1992-1996 im Mittel bei rund 740.000 t/a [Schmidt u. Dröge, 1999]. Die Schwankungsbreite der Messungen liegt dabei zwischen 575.000 t/a und 1.065.000 t/a. Diese Werte wurden als Anhaltswerte für die Eichung mit HEC-6 herangezogen. Durch den größeren Eintrag von Schwebstoffen ließ sich die jährliche Transportrate leicht erhöhen, da diese Fraktionen nahezu komplett durch das Modell durchtransportiert werden und das Modell kaum beeinflussen. Der Geschiebeanteil mußte dann verringert werden, um Ablagerungen am oberen Modellrand zu vermeiden. Der Mittelwert des Gesamttransports für den oben genannten Zeitraum liegt nach der Eichung bei durchschnittlich 880.000 t/a, der Sand-/Kiesanteil beträgt im Mittel 270.000 t/a. Die Grafiken des Massentransports für den gesamten Eichzeitraum von 35 Jahren sind in Anlage VII-3 beigelegt.

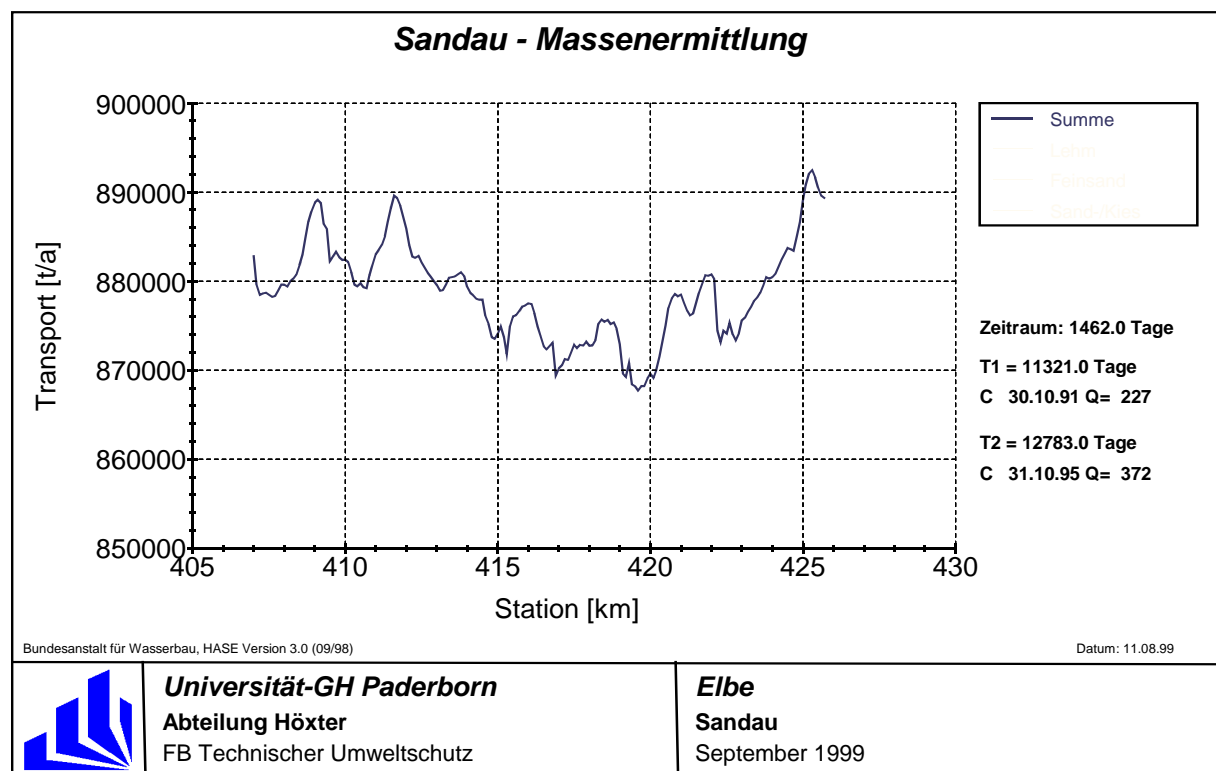


Abb. 12.12: Gesamttransport für den Zeitraum 1992-1995

Bei einer Gegenüberstellung annähernd gleicher Abflüsse sinkt der Wasserspiegel zum Ende des Simulationszeitraumes leicht ab. Betrachtet man z.B. die Abflüsse vom 09.12.1960 ($Q = 532 \text{ m}^3/\text{s}$) und vom 02.05.1993 ($Q = 527 \text{ m}^3/\text{s}$), so sinkt der Wasserspiegel im Mittel um ca. 5 cm, die größte Abweichung liegt bei -11 cm. Bei höheren Abflüssen um $1100 \text{ m}^3/\text{s}$ sind es im Mittel nur -2 cm, maximal -8 cm.

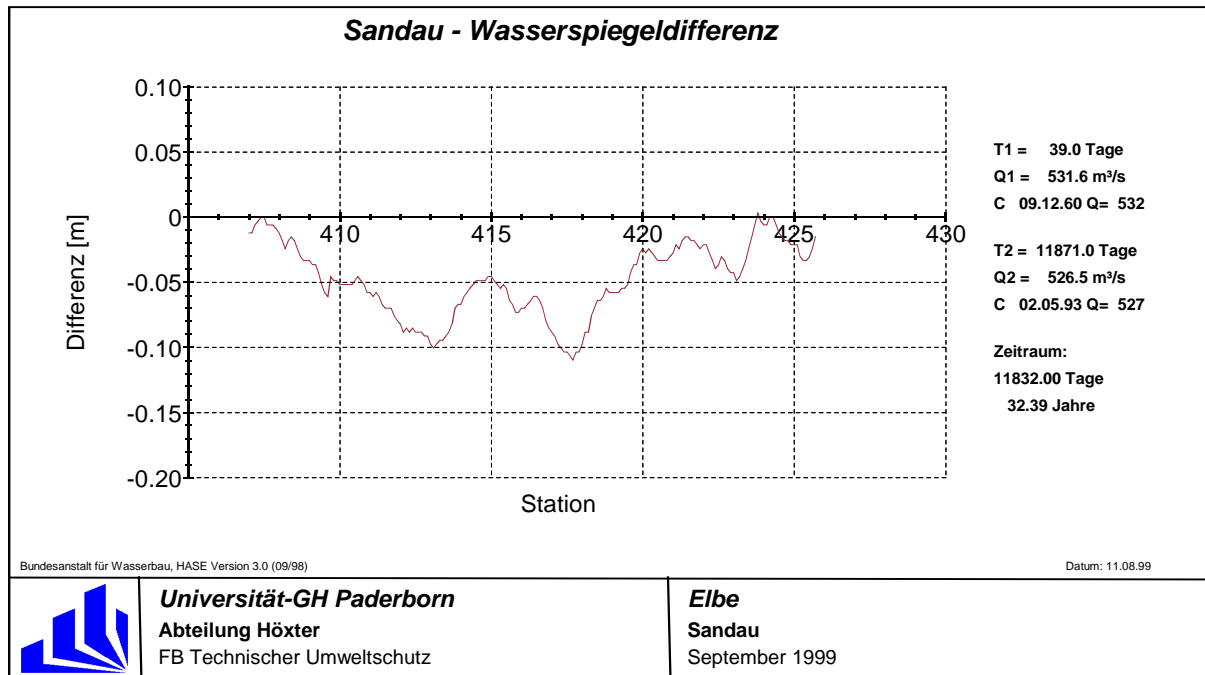


Abb. 12.13: Wasserspiegeldifferenz über einen Zeitraum von ca. 32 Jahren

In der folgenden Abbildung ist ein Vergleich des gepeilten und des berechneten Talweges sowie eines Abflusses in der Größenordnung des mittleren Niedrigwassers dargestellt. In der diskretisierten Ganglinie tritt der Tageswert vom 11.10.93 ($Q = 249 \text{ m}^3/\text{s}$) als Berechnungsschritt mit einem Abfluß von $Q = 294 \text{ m}^3/\text{s}$ auf. Dies erklärt, warum dieser Wasserspiegel rund 30 cm über dem fixierten Wasserspiegel vom 11.10.93 liegt. Der Talweg der Berechnung entspricht weitestgehend dem 1995 gepeilten Talweg.

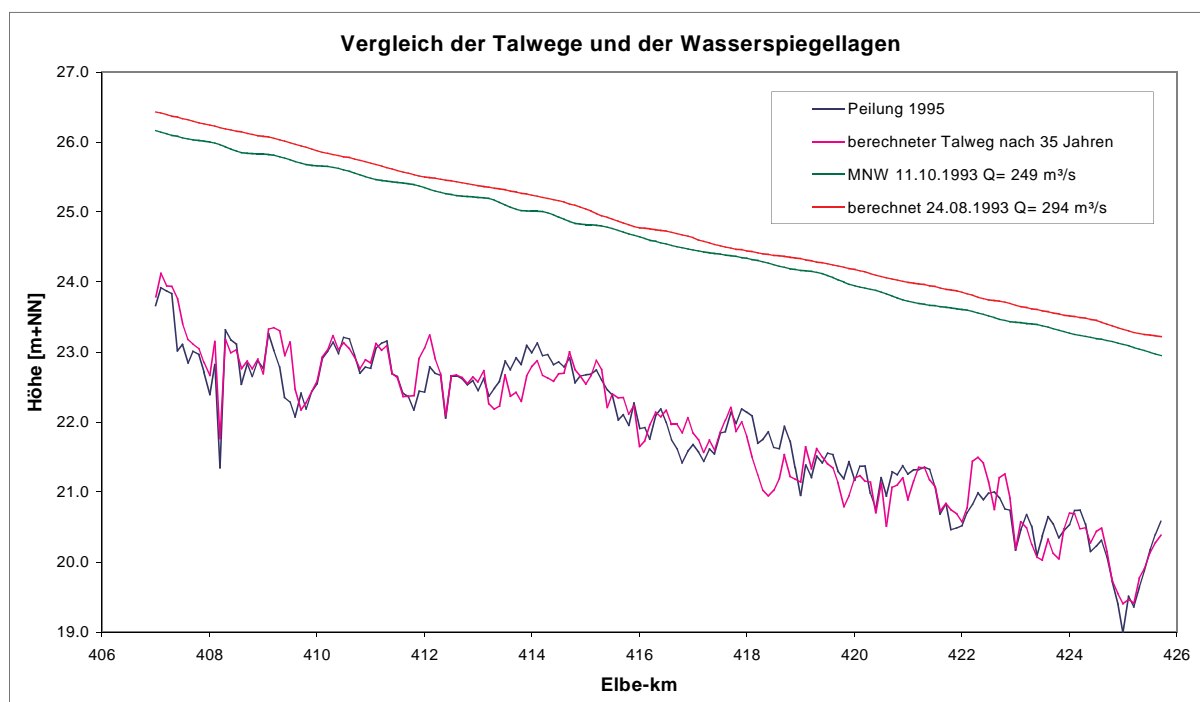


Abb. 12.14: Vergleich der Talwege und Wasserspiegellagen

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß vor dem Hintergrund des Datenmaterials die Eichung als ausreichend genau und zufriedenstellend zu bewerten ist.

12.4 Diskussion der Ergebnisse

Die Genauigkeit der Eichung ist immer von der vorhandenen Datengrundlage und der Sorgfalt ihrer Aufbereitung abhängig. Für diese Berechnungsstrecke stellten die Buhnen einen großen Unsicherheitsfaktor dar, da sie aus älteren Stromkarten entnommen werden mußten. Trotzdem sind die Ergebnisse dieser Eichung als Anhaltswerte für die strömungstechnischen Parameter verwendbar, da im Vergleich mit anderen Elbe-Abschnitten ähnliche Größenordnungen erreicht wurden.

Durch die relativ nah an der Elbe verlaufenden Deiche und die gerade Streckenführung der Elbe in diesem Abschnitt treten sicherlich nur geringe Unsicherheiten durch Hinterströmung von Flächen bzw. Einstau von Unterstrom auf. Der über das gesamte Querprofil berechnete Wasserspiegel ist daher in weiten Abschnitten auch auf das Vorland übertragbar.

Die Ergebnisse der sedimentologischen Berechnung zeigen einen stabilen Verlauf der Sohle bei mit der Hydraulik übereinstimmenden Parametern. Zur Abschätzung von Strömungsparametern und sedimentologischen Kenngrößen ist dieses Modell sehr gut geeignet.

13 Berechnungsstrecke Wittenberge

13.1 Beschreibung des Untersuchungsgebietes

Die Modellstrecke dieses Abschnitts liegt in den Bundesländern Sachsen-Anhalt und Niedersachsen. Das 1D-Modell mit einer Länge von 57 km beginnt unterhalb der Mündung des Gnevsdorfer Vorfluters (Havelmündung) bei km 438,0 und endet bei km 495,0 (Gorleben). In der Mitte des Untersuchungsgebietes liegt bei Elbe-km 454,6 der Abfluß- und Wasserstandspegel Wittenberge (Anlage VIII-1).

Diese Modellstrecke wurde bei der Bundesanstalt für Wasserbau, Außenstelle Berlin bereits im Jahr 1996 mit einem eindimensional-hydrunumerischen Feststofftransportmodell im Rahmen einer Diplomarbeit der Universität-GH Paderborn, Abteilung Höxter untersucht [Hack, 1998]. Auch heute wird diese Bearbeitungsstrecke im Rahmen von Untersuchungen zur Rückdeichung bei Lenzen mit verschiedener Modelltechnik (2D-Modell, Aerodynamisches Modell) weiter untersucht. Dieser Abschnitt wurde im Verbundprojekt ebenfalls als Untersuchungsstrecke ausgewählt, da bereits seit Projektbeginn Daten für diesen Streckenabschnitt vorlagen.

Die Auen an der mittleren Elbe stellen sich aus ökologischer Sicht reich strukturiert dar. Sie werden durch ein vielfältiges System von Altarmen und Senken sowie Flutmulden durchzogen und bieten dadurch die Möglichkeit, eine auetypische Flora und Fauna zu entwickeln. Neben Feuchtwiesen und Weideflächen sind auch an einigen Stellen Reste bzw. noch intakte Weich- und Hartholzauen anzutreffen [Hack, 1998].

Im Untersuchungsgebiet sind zwei Brücken über die Elbe bei Wittenberge vorhanden. Zunächst ist hier die Eisenbahnbrücke bei km 453,88 zu nennen und weiter Unterstrom die Brücke der Bundesstraße B 189 bei Elbe-km 456,3. Das Programm HEC-2 kann die Verluste von Brückenbauwerken, die durch Pfeileraufstau, Kolkbildung etc. auftreten, in speziellen Karten berücksichtigen. Das Programm HEC-6 für die Berechnungen mit beweglicher Sohle enthält diese besondere Bauwerkshydraulik jedoch nicht. Die Eichung mit HEC-2 wird durch den Einbau der gesonderten Karten maßgeblich beeinflusst und könnte dann nicht auf die Sedimenttransportberechnungen übertragen werden. Daher wurde für den Modellaufbau auf die gesonderte Erfassung der Brückenbauwerke verzichtet.

13.2 Hydraulisches Modell

13.2.1 Datengrundlage

Geometrie

Die Basis für die Erstellung der Querprofile war für diesen Elbe-Abschnitt eine Peilung des WSA Magdeburg aus dem Jahr 1995 im Abstand von 500 m. Die Aufnahme der Profile erfolgte zwischen den Hochwasserdeichen, so daß topographische Informationen des Vorlandes enthalten sind.

Die Peilungen des WSA Magdeburg sind bei der Bundesanstalt für Wasserbau konvertiert und auf mögliche Peilungsfehler überprüft worden. Zur Verdichtung der Profile wurden in Teilabschnitten mit dem Programm PROFIL Zwischenprofile im 200 m/300 m-Abstand eingebaut, die anschließend mit Luftbildern und der Topographischen Karte kontrolliert wurden. Der Einbau von Zwischenprofilen wurde bei der Bundesanstalt für Wasserbau vorgenommen, um die Auswirkungen einer Rückdeichung bei Lenzen detaillierter erfassen zu können. Insgesamt wurden dem Verbundprojekt 157 Querprofile mit folgenden Abständen übergeben.

Elbe-km	Profilabstand	Zwischenprofile
438,0 – 471,0	500 m	441,25 / 448,25 / 450,25 450,75 / 451,25 / 457,25 475,75 / 459,25 / 469,75
471,5 – 485,0	200 m bzw. 300 m	477,9 / 478,1
485,0 – 495,0	500 m	492,3 / 493,8

Tab. 13.1: Profilabstände

Eine Peilung der Buhnen für diese Untersuchungsstrecke lag nicht vor, die Lage der Buhnenköpfe wurde aus Stromkarten entnommen. Die Karten im Maßstab 1:5000 enthalten die Lage der Buhnen sowie ihre geometrischen Abmessungen, außerdem sind weitere Strombauwerke (z.B. Leitwerke) erfaßt. Weiterhin standen Luftbilder einer MNW-Befliegung der WSD Ost aus dem Jahr 1992 zur Kontrolle der Buhnen zur Verfügung.

Nach [Hack, 1998] erfolgte die Aufnahme der Buhnenaten bei der Bundesanstalt für Wasserbau aus den in der nachfolgenden Tabelle aufgeführten Quellen. Die Kopfneigung wurde für alle Buhnen mit 1:5 angenommen, die Rückeneneigung von Elbe-km 438,0-471,0 mit 1:200, dann ab km 471,5 mit einer Neigung von 1:100.

Von der Bundesanstalt für Wasserbau wurden die kompletten Buhneneinbaudateien, die für das Programm PROFIL zur Erzeugung von Buhnenschatten im Querprofil benötigt werden, dem Verbundprojekt übergeben.

Elbe-km	links/rechts	Lage der Buhnenköpfe	Höhe der Buhnenköpfe
438,0 – 471,0	links/rechts	Stromkarte 1:5000	Bauwerkssollhöhe RW29
471,5 – 495,0	rechts	Stromkarte 1:5000	Liste des WSA Magdeburg (1961)
472,6 – 495,0	links	Stromkarte 1:5000	Stromatlas WSA Lauenburg (1988)
471,5 – 472,6	links	Stromkarte 1:5000	Bauwerkssollhöhe RW59

Tab. 13.2: Datengrundlage der Buhnen

Hydrologie

Für die Eichung dieses Streckenabschnittes lagen Wasserspiegelfixierungen des WSA Magdeburg vor. Aus den 90er Jahren lag nur eine Fixierung für ein mittleres Niedrigwasser vor, alle weiteren Fixierungen lagen im Jahr 1990 bzw. davor. Sie finden in diesem Elbe-Abschnitt Verwendung, da für die sedimentologische Eichung das gesamte Abflußspektrum geeicht sein muß. Aus Untersuchungen der Bundesanstalt für Wasserbau zur Entwicklung des GIW89* (20d) in den letzten 30 Jahren ging hervor, daß für den Streckenabschnitt Tangermünde (km 388) bis Schnackenburg (km 474) keine nennenswerte Erosionstendenz der Sohle festzustellen war [Faulhaber, 1997].

Nachstehende Tabelle zeigt den Überblick der vorhandenen Fixierungen unter Angabe der Wasserstände und Abflüsse am Pegel Wittenberge (Elbe-km 454,6).

Datum	Wasserstand [m+NN]	Abfluß [m³/s]
11.10.1993	18,28	343
10.05.1989	19,54	613
26.03.1990	19,88	714
12.05.1969	21,47	1630
21.03.1981	23,33	3250

Tab. 13.3: Wasserspiegelfixierungen

13.2.2 Datenaufbereitung

Geometrie

Die von der Bundesanstalt für Wasserbau zur Verfügung gestellten Querprofile wurden in Höxter für die Erstellung des hydronumerischen Modells weiter bearbeitet, so daß sich hier Differenzen zum BAW-Modell ergeben können.

Die Buhnendaten wurden direkt übernommen und mit dem Programm PROFIL als Buhnenschatten in die Querprofile eingebaut. Im Bereich von Elbe-km 485,3 bis 488,9 wurden die Profile hinter dem Sommerdeich verkürzt, um den Strömungsschatten abzuschneiden. Weiterhin wurden Gräben, Rinnen und teilweise auch Altarme, die sich schon bei Mittelwasser

oder kleineren Hochwässern mit Wasser füllen bzw. bereits gefüllt sind, in einer Höhe von 0,5-1,0 m unter der Geländeoberkante durch das Setzen von „encroachments“ im Programm HEC-2/HEC-6 von der durchströmten Abflußfläche ausgenommen.

Durch die Definition der Uferpunkte erfolgt die Einteilung der Querschnitte in den Flußschlauch und in die Vorländer. Für diese Berechnungsstrecke wurde die Dreiteilung auf den Bühnenköpfen vorgenommen; der Bereich des Bühnenrückens wird dadurch bereits als Vorland definiert.

Die Fließlängen wurden als Verbindungslinien der Massenschwerpunkte unter dem Hochwasser von 1981 mit einem Abfluß von $Q = 3250 \text{ m}^3/\text{s}$ getrennt nach Flußschlauch sowie linkem und rechtem Vorland mit dem Programm PROFIL ermittelt.

Hydrologie

Die Wasserspiegelfixierungen wurden je nach Fixierung in unregelmäßigen Abständen aufgenommen. Die Fixierungen vom 11.10.1993 / 10.05.1989 und 26. 03.1990 erfolgten im Abstand von ca. 500 m entlang der Elbe. Die ältere Fixierung von 1969 lag als Längsschnitt vor, aus dem für jeden Elbe-Kilometer ein Wasserspiegel entnommen werden konnte. Das Hochwasser von 1981 ist in unregelmäßigen Abständen von ca. 300 m bis zu einem Abstand von mehreren Kilometern fixiert worden.

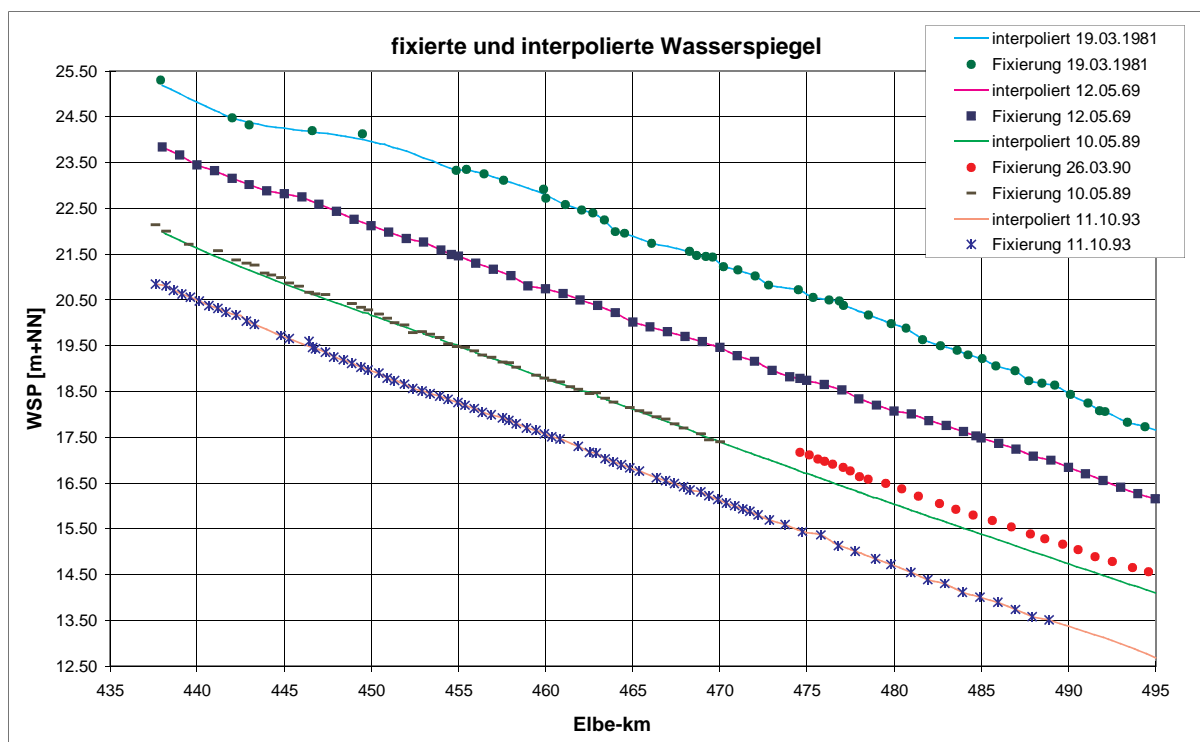


Abb. 13.1: Vergleich fixierter und interpolierter Wasserspiegel

Für den Mittelwasserabfluß lag für das Untersuchungsgebiet keine durchgängige Fixierung vor. Die Aufnahme vom 10.05.1989 endet bei km 470,0, während die vom 26.03.1990 erst bei km 474,61 beginnt. Daher wurde aus den beiden Fixierungen eine, das gesamte Bearbeitungsgebiet abdeckende Wasserspiegellage konstruiert. Hierzu wurde das Gefälle der Fixierung aus dem Jahr 1990 auf den Abfluß der Fixierung vom 10.05.1989 übertragen.

Durch die oben aufgeführten Wasserspiegelfixierungen wurde mit Hilfe des Programmes PROFIL eine spline-Funktion durch die Punkte gelegt, um für jedes Querprofil im 1D-Modell einen interpolierten Wasserspiegel zu erhalten.

Zum Zeitpunkt der Untersuchung dieses Elbe-Abschnitts lag keine Zeitreihenanalyse des Pegels Wittenberge von TPI.4 „Hydrologische Analyse und Datenmanagement“ vor. Aus diesem Grund wurde aus den Pegelwerten Wittenberge und den Wasserspiegelfixierungen eine Abflußkurve für den Pegel angefertigt. Aus dieser Pegelkurve und den Wasserspiegelfixierungen am Elbe-km 495,0 wurde durch Regression und Differenzenbildung für den unterstromigen Modellrand eine Wasserstands-Abfluß-Beziehung erstellt.

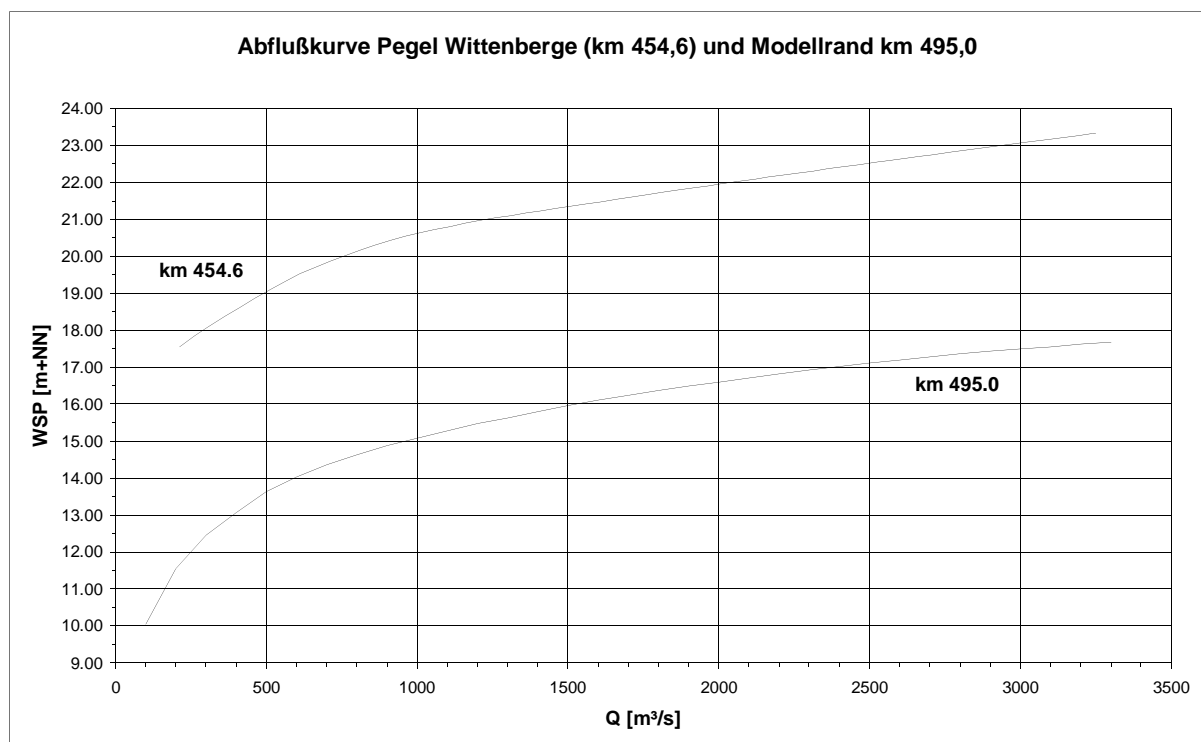


Abb. 13.2: Abflußkurven Pegel Wittenberge und unterstromiger Modellrand

13.2.3 Modelleichung

Die Eichung des Streckenabschnittes km 438,0-495,0 wurde mit der Kombination der Programme HEC/HASE durchgeführt. Bei der hydraulischen Eichung wurde hierzu die bewegliche Sohlhöhe gleich Null gesetzt. Für die Vorländer wurde in diesem

Streckenabschnitt mit einem konstanten Rauheitsbeiwert gerechnet, d.h. über den Vorländern ist die Rauheit unabhängig von der Höhe der Überströmung.

Eichung mittleres Niedrigwasser

Für die Eichung wurde die Fixierung vom 11.10.1993 mit einem Abfluß von $Q = 343 \text{ m}^3/\text{s}$ am Pegel Wittenberge herangezogen. Aus der zuvor erstellten Abflußkurve für km 495,0 wurde ein Startwasserspiegel von 12,68 mNN entnommen.

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

Elbe-km	n [s/m ^{1/3}]	k_{st} [m ^{1/3} /s]
438,0 – 438,5	0,023	43,5
439,0 – 442,0	0,020	50,0
442,5 – 454,5	0,023	43,5
455,0 – 458,5	0,021	47,6
459,0 – 463,0	0,024	41,7
463,5 – 467,5	0,021	47,6
468,0 – 474,5	0,024	41,7
474,8 – 476,3	0,027	37,0
476,5 – 480,5	0,025	40,0
480,8 – 489,0	0,027	37,0
489,5 – 495,0	0,029	34,5

Tab. 13.4: Rauheitsbeiwerte mittleres Niedrigwasser

Der durchschnittliche Strickler-Beiwert für diesen Abfluß liegt mit $39 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ in einem für Gerinne mit sandiger Sohle durchaus gängigen Bereich. Die Schwankungsbreite der eingesetzten Rauheitsbeiwerte für die Eichung ist jedoch relativ groß. Der sehr hohe Strickler-Wert zu Beginn des Modells läßt sich auf kleine Fließquerschnitte in einer Krümmung mit engem Radius zurückführen. Ab km 474 zeigt möglicherweise der Einfluß der Sohle durch die Ausbildung von Transportkörpern (z.B. Riffel) ein „hydraulisch rauheres“ Verhalten.

Die Abweichungen zwischen interpolierter Wasserspiegellage und mit dem hydronumerischen Modell berechneter Wasserspiegellage liegen bei maximal +/- 6 cm und damit innerhalb der Fehlertoleranz von 10 cm.

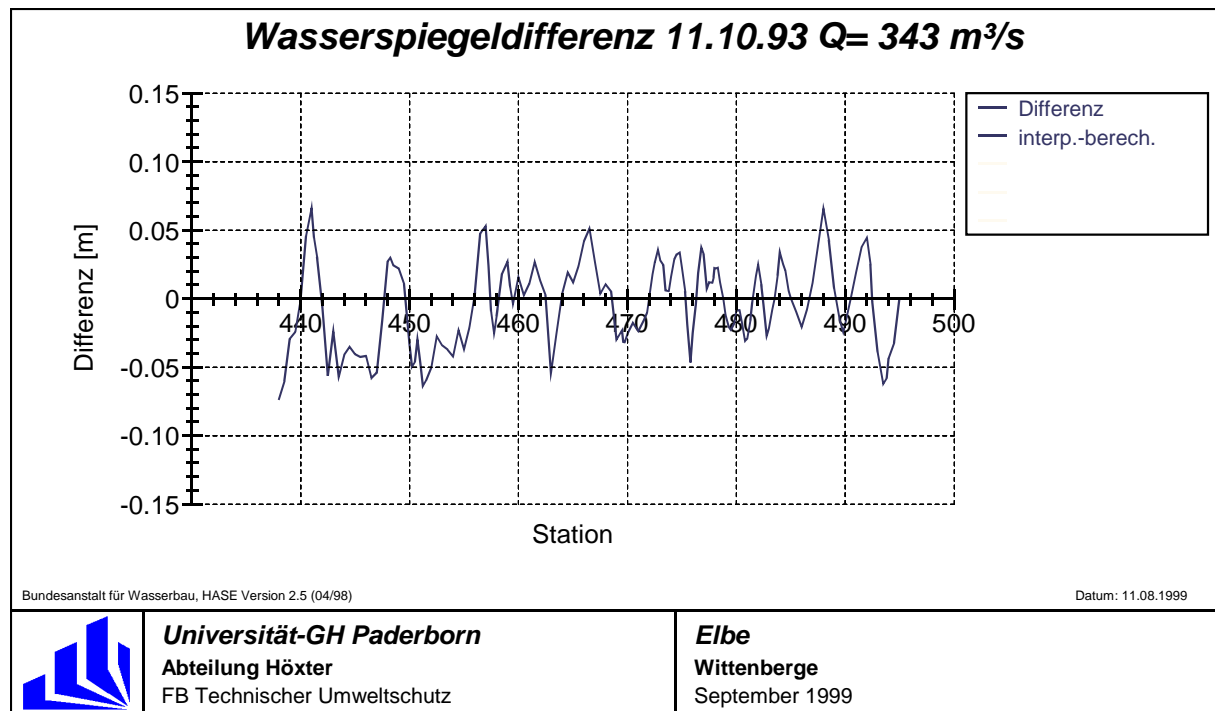


Abb. 13.3: Wasserspiegeldifferenz mittleres Niedrigwasser

Die Grafiken der strömungstechnischen Untersuchung (Fließquerschnitt, Geschwindigkeit, Schubspannung) dieser Eichung sind in Anlage VIII-2 beigelegt. Der Streckenverlauf der Elbe zeichnet sich in diesem Abschnitt durch eine Vielzahl von Krümmungen aus. Dies spiegelt sich auch in den Flächen wider, die durch Kolkbildung und Verlandung in den einzelnen Querschnitten eine große Schwankungsbreite von 310 m² bis 530 m² aufweisen. Entsprechend verhält sich die Fließgeschwindigkeit mit Werten zwischen 0,65 m/s und Spitzenwerten von über 1,0 m/s. Die Schubspannung wurde für diesen Abfluß zwischen 2,0 N/m² und 6,0 N/m² berechnet. Im Vergleich mit der kritischen Schubspannung nach DIN 19661 zeigt sich, daß die im Untersuchungsabschnitt auftretenden Mittelsande (0,2-0,63 mm) bereits bei einem Abfluß von 343 m³/s in Bewegung sein können.

Eichung Mittelwasser

Für diese Eichung wurde die kombinierte Fixierung vom 10.05.1989/26.03.1990 mit einem Abfluß von Q= 613 m³/s und einem Startwasserspiegel von 14,10 mNN aus der unterstromigen Schlüsselkurve verwendet.

Nachfolgend sind die Rauheitsbeiwerte der Eichung für den Flußschlauch tabellarisch aufgeführt. Die Vorlandrauheit, die hier die bei diesem Wasserstand an einigen Stellen überströmten Bühnenrücken widerspiegelt, wurde für die Eichung ein Rauheitsbeiwert von 0,030 s/m^{1/3} (33,3 m^{1/3}/s) angesetzt.

Elbe-km	Flußschlauch	
	n [s/m ^{1/3}]	k _{st} [m ^{1/3} /s]
438,0 – 440,0	0,026	38,5
440,5 – 449,5	0,025	40,0
450,0 – 467,5	0,027	37,0
468,0 – 495,0	0,029	34,5

Tab. 13.5: Rauheitsbeiwerte Mittelwasser (Flußschlauch)

Die Strickler-Beiwerte liegen insgesamt etwas kleiner als bei der Eichung des mittleren Niedrigwassers und weisen auf höhere Verluste hin.

Die Differenzen zwischen interpolierter und berechneter Wasserspiegellage liegen bis km 474 mit +5 cm bzw. maximal –6 cm in der Fehlertoleranz von 10 cm. Im folgenden Abschnitt konnte die Differenz trotz der Verwendung eines mit anderen Elbe-Abschnitten vergleichsweise niedrigen Strickler-Beiwertes nicht innerhalb der Fehlertoleranz gehalten werden. Die Ursache kann in einer fehlerhaft interpolierten Wasserspiegellage liegen. Die Fixierung vom 10.05.89 endet bei km 470 und die für eine Verlängerung dieser Fixierung verwendeten Gefälleverhältnisse der Fixierung vom 26.03.90 können möglicherweise die natürlichen Gegebenheiten des Abflusses von 613 m³/s nicht korrekt widerspiegeln. Es wurde daher ein Kompromiß zwischen der Wasserspiegeldifferenz und dem verwendeten Rauheitsbeiwert für diesen Abfluß geschlossen.

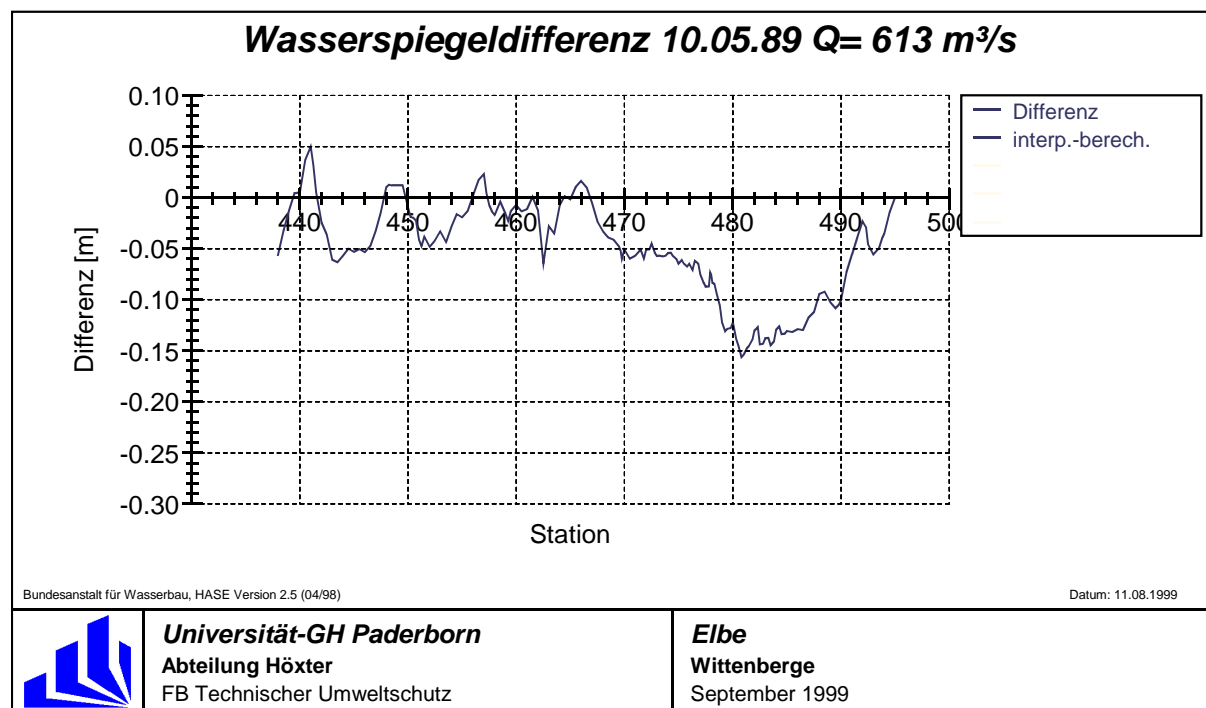


Abb. 13.4: Wasserspiegeldifferenz Mittelwasser

Die Ergebnisse der Eichung des Mittelwasserabflusses sind als Grafiken in Anlage VIII-2 enthalten. Durch die Dreigliederung der Querprofile auf Lage und Höhe der Bühnenköpfe zeigt sich, daß die Bühnen in ihrer Funktion weitgehend erhalten sind. Nur in der zweiten Hälfte der Modellstrecke werden die Bühnenköpfe in Teilstrecken überströmt. Der Abflußanteil über den Bühnen ist jedoch sehr klein und trägt nur unwesentlich zum Gesamtabfluß bei. Die im Hauptgerinne auftretenden Fließquerschnitte liegen im Durchschnitt bei knapp 700 m², zeigen aber ebenso wie der darunterliegende Eichabfluß aufgrund des mäandrierenden Verlaufs der Elbe eine große Streuung. Die Geschwindigkeit über den Bühnenrücken ist vernachlässigbar klein; im Flußschlauch liegt sie über die gesamte Untersuchungsstrecke bei im Mittel 0,9 m/s. Die Schubspannung wurde für dieses Abflußereignis mit Werten zwischen 3,5 N/m² und 7,0 N/m² berechnet. Nach DIN 19661 werden ab 2,0 N/m² Körner in einer Größe von 0,2 mm bis 0,63 mm (Mittelsand) bewegt, für Grobsand (0,63 mm bis 2,0 mm) liegt die kritische Schubspannung bei 6,0 N/m².

Eichung Hochwasser 1

Die Fixierung vom 12.05.1969 mit $Q = 1630 \text{ m}^3/\text{s}$ liegt unter dem MHQ (Jahresreihe 1964-1995) mit $Q = 1873 \text{ m}^3/\text{s}$ des Pegels Wittenberge. Der Startwasserspiegel für den unterstromigen Modellrand wurde aus der Schlüsselkurve mit 16,15 mNN ermittelt. In Anlage VIII-2 sind die Ergebnisse dieser Eichung graphisch festgehalten, die verwendeten Rauheitsbeiwerte für den Flußschlauch sind tabellarisch aufgeführt. Die Vorländer, die bei diesem Abfluß teilweise überströmt werden, haben einen Rauheitsbeiwert von $0,030 \text{ s/m}^{1/3}$ ($33,3 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$).

Elbe-km	Flußschlauch	
	$n \text{ [s/m}^{1/3}]$	$k_{\text{st}} \text{ [m}^{1/3}/\text{s}]$
438,0 – 445,0	0,022	45,5
445,5 – 448,2	0,025	40,0
448,5 – 452,0	0,023	43,5
452,5 – 457,75	0,027	37,0
458,0 – 460,5	0,023	43,5
461,0 – 463,5	0,027	37,0
464,0 – 469,75	0,023	43,5
470,0 – 476,8	0,027	37,0
477,0 – 480,8	0,025	40,0
481,0 – 495,0	0,028	35,7

Tab. 13.6: Rauheitsbeiwerte Hochwasser 1 (Flußschlauch)

Bei diesem Abflußereignis findet in weiten Streckenabschnitten eine Ausuferung in die Aue statt. Der Einfluß der Sohlenmorphologie auf die Strömung nimmt durch den hohen Wasserstand im Flußschlauch ab. Durch das Einströmen des Wassers in die Vorländer sind höhere

Verluste durch Querströmungen und Turbulenzen zu erwarten. Welche Einflüsse hier überwiegen, läßt sich nicht abschließen klären, wenn die Rauheitsbeiwerte dieser Eichung mit denen der Mittelwasser-Eichung bzw. der Hochwasser 2-Eichung verglichen werden.

Die Differenzen zwischen interpolierter und mit HEC berechneter Wasserspiegellage für dieses Hochwasser liegen bei minimal -8 cm bzw. maximal $+6$ cm.

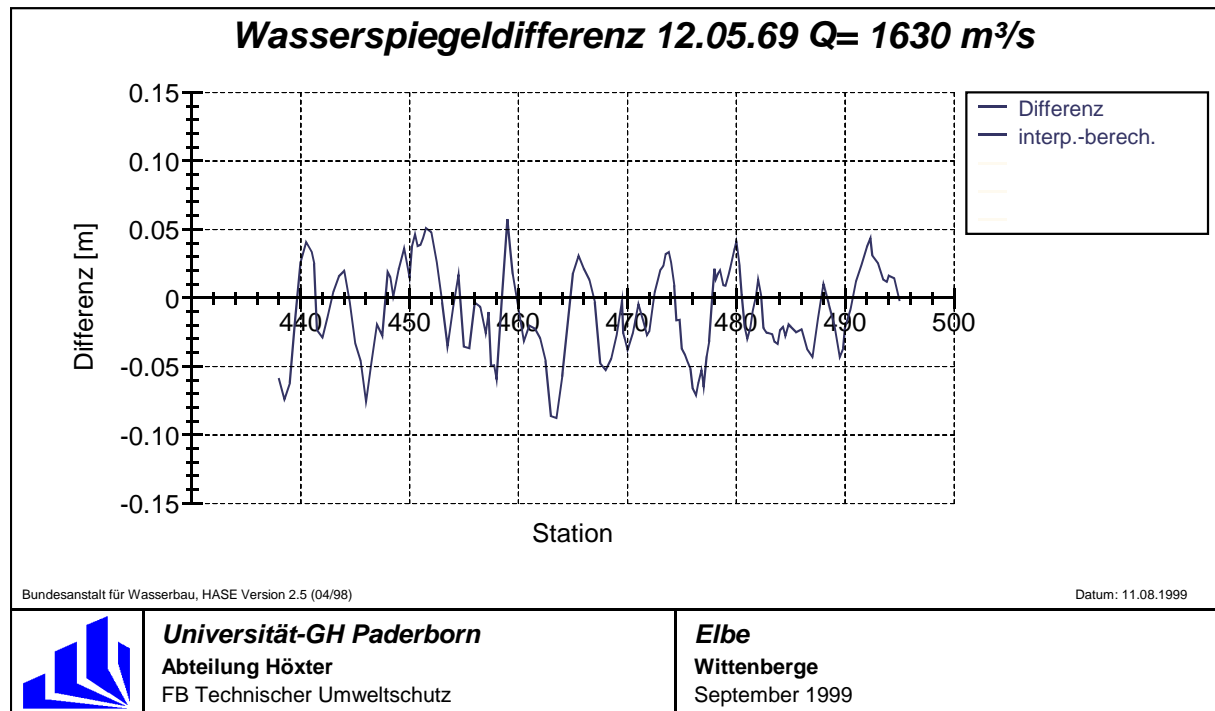


Abb. 13.5: Wasserspiegeldifferenz Hochwasser 1

Die Berechnungsergebnisse dieses Eichabflusses sind in Anlage VIII-2 beigefügt. Der Abflußanteil über den Buhnen bzw. über dem Vorland erreicht hier maximal 10%. Der größte Abflußanteil wird nach wie vor im Hauptgerinne abgeführt; dies zeigt sich in den teilweise sehr kompakten hydraulischen Radien. Die Fließgeschwindigkeit im Flußschlauch liegt bei diesem Abfluß bei rund 1,35 m/s, während der Abfluß in den Vorländern mit durchschnittlich 0,3 m/s berechnet wurde. Die Schubspannung schwankt in Abhängigkeit der hydraulischen Radien zwischen 6,0 N/m² und 10,0 N/m² und zeigt deutlich, daß mit Umlagerungsprozessen an der Sohle nahezu über das gesamte auftretende Körnungsspektrum zu rechnen ist.

Eichung Hochwasser 2

Der Startwasserspiegel für diesen Abfluß ($Q = 3250$ m³/s) beträgt 17,65 mNN bei km 495,0. Der Rauheitsbeiwert von 0,033 s/m^{1/3} bzw. 30,3 m^{1/3}/s der Vorländer wurde von den vorher aufgeführten Eichabflüssen übernommen. Für den Flußschlauch sind die Rauheitsbeiwerte in der unten aufgeführten Tabelle enthalten.

Elbe-km	Flußschlauch	
	n [s/m ^{1/3}]	k _{St} [m ^{1/3} /s]
438,0 – 441,25	0,024	41,7
441,5 – 448,0	0,020	50,0
448,25 – 450,5	0,022	45,5
450,75 – 452,5	0,025	40,0
453,0 – 458,5	0,028	35,7
459,0 – 463,5	0,031	32,3
464,0 – 470,5	0,026	38,5
471,0 – 482,3	0,028	35,7
482,5 – 487,0	0,031	32,3
487,5 – 495,0	0,028	35,7

Tab. 13.7: Rauheitsbeiwerte Hochwasser 2 (Flußschlauch)

Die Differenzen zwischen interpolierter und mit dem hydronumerischen Modell berechneter Wasserspiegellage liegen bei +/-10 cm in einem für ein Hochwasser dieser Größenordnung akzeptablen Bereich.

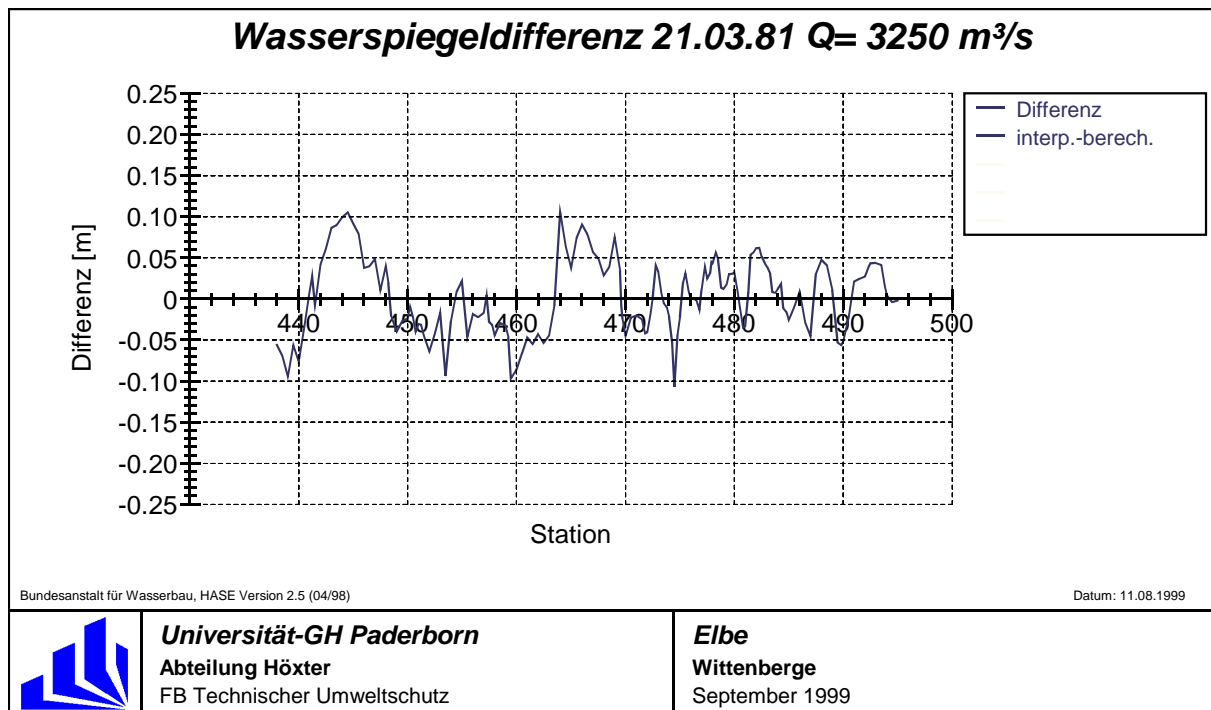


Abb. 13.6: Wasserspiegeldifferenz Hochwasser 2

Die Strömungsparameter dieses Eichabflusses sind in Anlage VIII-2 enthalten. Die Wasserspiegelbreite zeigt bei diesem Abfluß gleichzeitig auch die Querschnittsfläche zwischen den Deichen, da bei diesem Wasserstand eine vollständige Überströmung des Vorlandes auftritt. Unterhalb der Stadt Wittenberge ab km 458 wird mit einer Breite von rund

950 m die elbnahe Deichführung deutlich. Entsprechend den kleinen Fließquerschnitten zeigen sich hier Geschwindigkeiten von bis zu 2,0 m/s im Flußschlauch. Die größten Abflußflächen liegen am Modellbeginn zwischen km 441 und km 446, da hier in den Krümmungen der Deich geradlinig weiterläuft. Die Schubspannung liegt nahezu in der gesamten Modellstrecke über $6,0 \text{ N/m}^2$, was sich auf die engen Querschnitte zurückführen läßt. Es werden Spitzenwerte von $15,0 \text{ N/m}^2$ bei Elbe-km 470 in einer Krümmung mit sehr engem Radius erreicht.

13.3 Sedimentologisches Modell

13.3.1 Datengrundlage

Geometrie

Ausgangsbasis für die sedimentologische Berechnung ist das geeichte hydronumerische Modell mit fester Sohle. Die aufbereitete Geometrie und die tiefenabhängigen Rauheitsbeiwerte für den Flußschlauch und der Rauheitsbeiwert der Vorländer wurden direkt übernommen.

Hydrologie

Für die Ganglinie lag eine Abflußreihe des Pegels Wittenberge aus den Jahren 01.11.1961 bis 31.10.1991 als Tagesmittelwerte vor.

Es wurde für den gesamten Zeitraum der Eichganglinie die Abflußkurve verwendet, die bereits für das 1D-Modell mit fester Sohle erstellt worden ist.

Sedimentologie

Die Sieblinien der Sohle wurden dem BfG-Bericht „Kornzusammensetzung der Elbesohle von der tschechisch-deutschen Grenze bis zur Staustufe Geesthacht“ [Haunschild et al. 1994] entnommen. Demzufolge lagen für diesen Streckenabschnitt an drei Meßpunkten Daten der Sohlzusammensetzung vor. Für die Meßstellen km 439,0 / km 448,0 und km 454,0 lagen jeweils Einzelbeprobungen links-mitte-rechts und die daraus resultierenden Querschnittsmittelwerte vor. Direkt vor dem oberstromigen Modellrand wurde bei Elbe-km 437,8 nur die Flußmitte beprobt. Die nächstgelegene Meßstelle am unteren Modellrand liegt bei Elbe-km 504,0 als Einzelbeprobung links-mitte-rechts vor.

Für den Eintrag der Geschiebe- und Schwebstofffrachten am oberstromigen Modellrand wurde auf die Meßstellen der Bundesanstalt für Gewässerkunde bei Wittenberge (km 456,6) und Langendorf (km 500,56) zurückgegriffen. Zum Zeitpunkt des Modellaufbaus lagen Geschiebe- und Schwebstoffmessungen aus den Jahren 1994-1996 für Wittenberge bzw. 1990-1998 für Langendorf vor.

Datum	Abfluß [m³/s]	Fracht [t/d]	geschiebeführende Breite [m]
07.06.1994	644	44	132
30.08.1994	462	173	129
07.09.1994	416	97	130
05.12.1994	502	179	180
24.05.1995	1082	100	172
27.11.1995	871	200	135
12.12.1995	691	166	184
13.11.1996	685	283	188
02.12.1996	711	389	177

Tab. 13.8: Geschiebemessungen Wittenberge

Datum	Abfluß [m³/s]	Fracht [t/d]	geschiebeführende Breite [m]
13.06.1990	334	365	190
17.07.1990	288	346	234
12.09.1990	267	396	217
08.02.1995	2210	1198	180
22.02.1995	1580	3414	150
28.02.1995	1380	253	175
19.07.1995	491	319	174
29.11.1995	844	166	182
07.12.1995	712	237	162
13.05.1996	1186	1110	178
07.08.1996	528	190	178
14.08.1996	436	269	167
27.11.1996	794	545	198
05.12.1996	804	390	176
26.02.1997	1155	1240	180
27.02.1997	1189	1358	194
05.03.1997	1490	816	197
06.03.1997	1569	1060	203
11.03.1997	1536	686	286
05.08.1997	771	562	195
14.08.1997	502	154	190
20.01.1998	794	297	189

Tab. 13.9: Geschiebemessungen Langendorf

Datum	Abfluß [m³/s]	Feinschweb [t/d]	susp. Sand [t/d]	Gesamt [t/d]	Fein [%]	Sand [%]
27.11.1995	871	144	460	604	24	76
12.12.1995	691	761	358	1119	68	32
13.11.1996	685	582	165	746	78	22
02.12.1996	711	516	481	997	52	48

Tab. 13.10: Schwebstoffmessungen Wittenberge

Datum	Abfluß [m³/s]	Feinschweb [t/d]	susp. Sand [t/d]	Gesamt [t/d]	Fein [%]	Sand [%]
11.07.1990	288	n.b.	n.b.	1097	n.b.	n.b.
12.09.1990	267	n.b.	n.b.	656	n.b.	n.b.
08.02.1995	2210	19642	4213	23855	82	18
22.02.1995	1580	5792	1839	7631	76	24
29.11.1995	844	282	410	692	41	59
07.08.1996	528	3251	211	3461	94	6
14.08.1996	436	2431	305	2735	89	11
27.11.1996	794	1150	941	2091	55	45
05.08.1997	771	2883	273	3156	91	9
14.08.1997	502	1984	128	2112	94	6
20.01.1998	794	858	275	1133	76	24

n.b.= nicht bekannt

Tab. 13.11: Schwebstoffmessungen Langendorf

13.3.2 Datenaufbereitung

Geometrie

Das 1D-Modell mit beweglicher Sohle benötigt neben der geeichten Geometrie mit tiefenabhängigen Rauheitsbeiwerten die Definition der geschiebeführenden Breite im Flußschlauch (auf den Vorländern ist keine Erosion/Ablagerung möglich). Für HEC-6 wird diese zwischen den Bühnenfüßen definiert und schwankt zwischen 150-190 m Breite (Anlage VIII-3). Um bei der Berechnung ein ausreichendes Sedimentreservoir in der Sohle zur Verfügung zu stellen, wurde die Tiefe der beweglichen Sohle mit 5 m eingegeben.

Hydrologie

Die Tageswerte des Zeitraums 01.11.1961 bis 31.10.1991 umfassen rund 11.300 Einzelwerte, die bei ihrer unbearbeiteten Verwendung den Rechenaufwand des Programmes unnötig erhöhen würden. Aus diesem Grund wurden die Tageswerte unter Vorgabe einer Abflußdifferenz

von $\Delta Q = 200 \text{ m}^3/\text{s}$ zusammengefaßt. Die Anzahl der Berechnungszeitschritte konnte dadurch auf 639 reduziert werden.

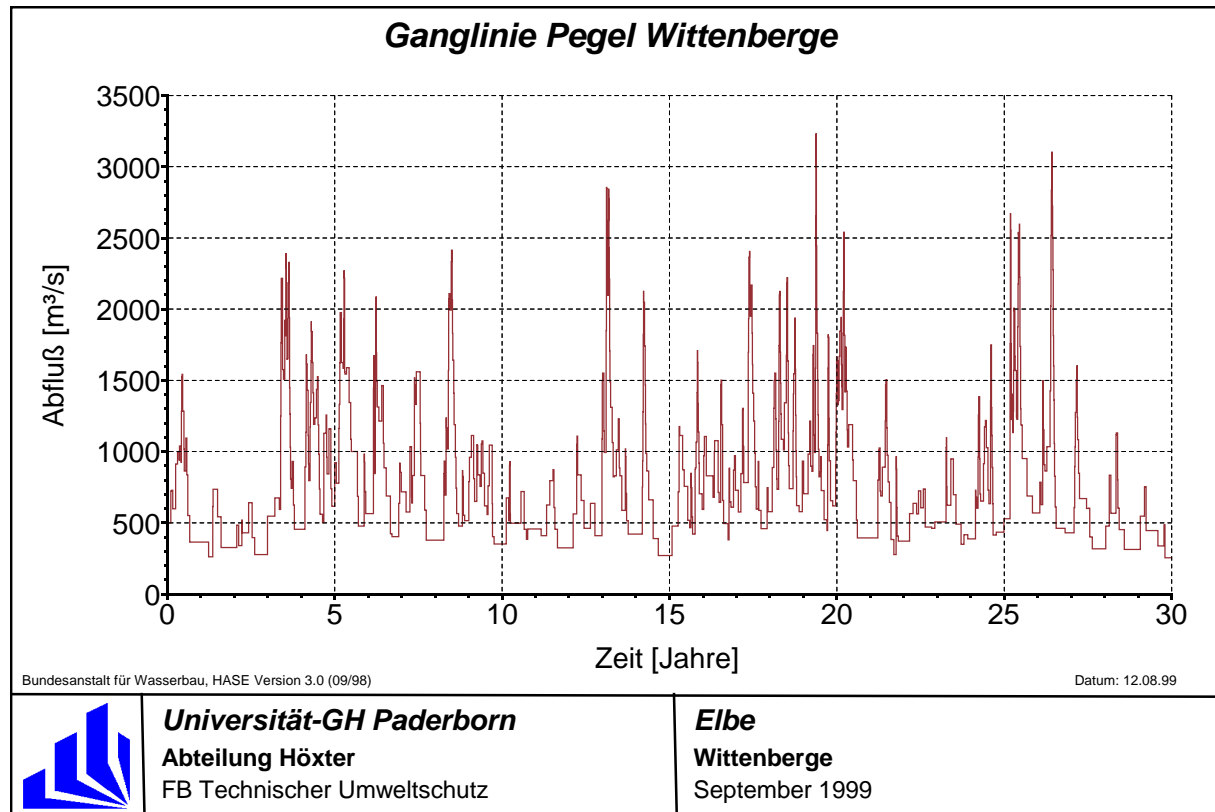


Abb. 13.7: Abflußganglinie Pegel Wittenberge (30 Jahre)

Langanhaltende Abflußperioden können programmintern ohne Ausgabe von Ergebnissen verkürzt werden. Dies ist notwendig, da die hydraulischen Bedingungen nur zu Beginn eines Zeitschrittes berechnet werden. Treten Erosion oder Akkumulation in so großem Umfang auf, daß sich die hydraulischen Bedingungen merklich ändern, so würden die Ergebnisse bei zu langen Zeitschritten verfälscht. Nach Testrechnungen mit einem niedrigen Abfluß, einem bordvollen Abfluß und einem Hochwasserabfluß wurde die Dauer eines verkürzten Zeitschrittes auf maximal 30 Tage bei kleinen Abflüssen festgesetzt, Abflüsse größer $1700 \text{ m}^3/\text{s}$ haben eine maximale Zeitschrittlänge von einem Tag.

Sedimentologie

Die Sohlbeprobungen wurden als Sieblinie auf einfach logarithmisches Millimeterpapier aufgetragen und ausgewertet. In Flußkrümmungen zeigte sich zum Teil deutlich eine Klassierung der Körner von grobem Material außen hin zu Feinmaterial auf der Innenseite der Krümmung. Aus diesem Grund wurden folgende Werte für die Untersuchung herangezogen: Für km 439,0 / km 448,0 / km 504,0 wurden die Querschnittsmittelwerte verwendet, für Elbe-km 437,8 und 454,0 die Beprobungen aus der Flußmitte. Aus der Grafik wurden dann die Korngrößenklassen des amerikanischen AGU-Systems herausgelesen. Die Sieblinien wurden

entsprechend den beprobten Elbe-Kilometern zugeordnet, wobei km 504,0 dem unterstromigen Modellrand (km 495,0) zugeordnet wurde.

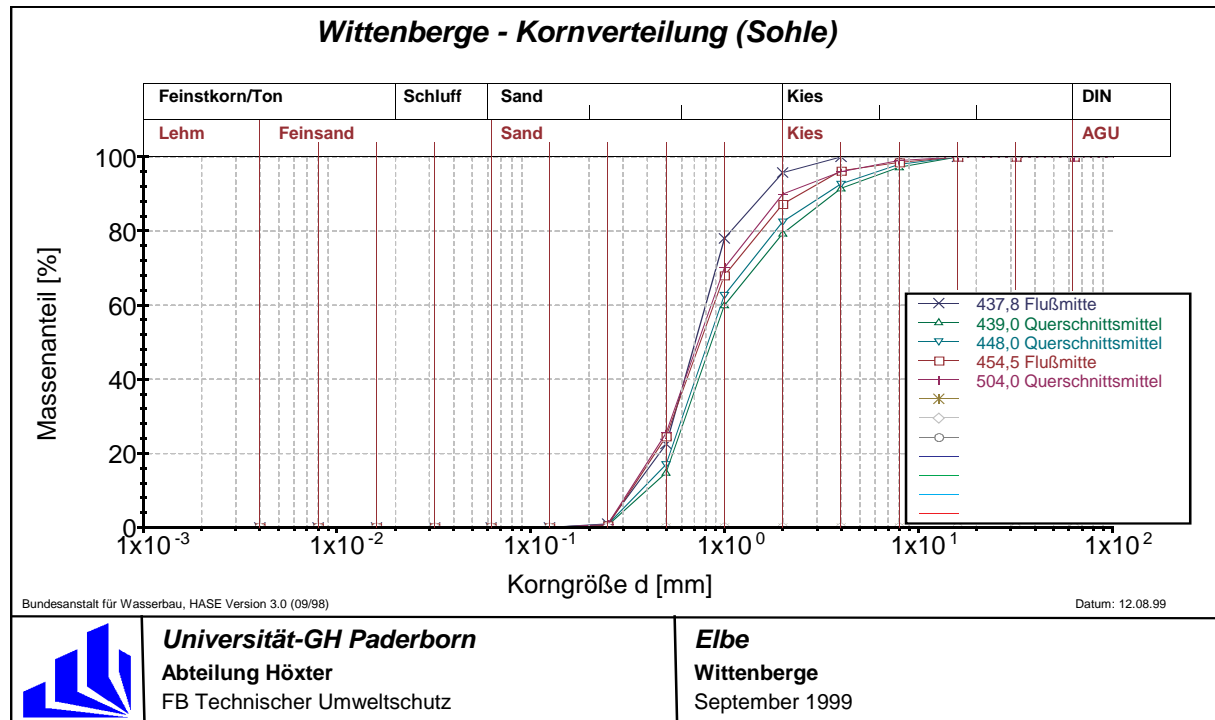


Abb. 13.8: Kornverteilung der Sohle

Das Programm HEC-6 benötigt als Eingangsdaten eine Abfluß-Feststofftransport-Beziehung, um den Eintrag am oberstromigen Modellrand für jeden Abfluß zu berechnen. Es wird keine Unterteilung in Geschiebe und Schwebstoffe vorgenommen, sondern nur ein Wert für die Transportrate in [t/d] mit der zugehörigen Kornverteilung nach AGU angegeben.

Die Geschiebe- und Schwebstoffmessungen der beiden Meßstellen wurden ausgewertet und eine Abfluß-Fracht-Beziehung über den Meßbereich ($Q = 267\text{--}2210 \text{ m}^3/\text{s}$) bis zum kleinsten/größten aufgetretenen Abfluß der diskretisierten Ganglinie mit $Q = 255/3235 \text{ m}^3/\text{s}$ extrapoliert; dabei wurde ein annähernd logarithmischer Verlauf angenommen (Anlage VIII-3).

Die Abfluß-Fracht-Beziehung benötigt weiterhin die Eingabe der Korngrößenverteilung nach AGU. Während die Geschiebemessungen mit einer Kornverteilung angegeben werden, sind die Schwebstoffmessungen nur prozentual nach Feinschweb und suspendiertem Sand unterteilt. Für den Feinschweb wurde daher der Anteil auf die Korngrößenklassen 0,004-0,063 mm verteilt. Für die Sandfraktion wurde angenommen, daß sich die Körner auf die Klassen 0,125-0,50 mm verteilen. Aus den Verteilungen der Korngrößenklassen für das Geschiebe und die Schwebstoffe wurde dann eine anteilmäßige Gesamtverteilung der Korngrößenklassen nach dem AGU-System für die Transportkurve erstellt (Anlage VIII-3).

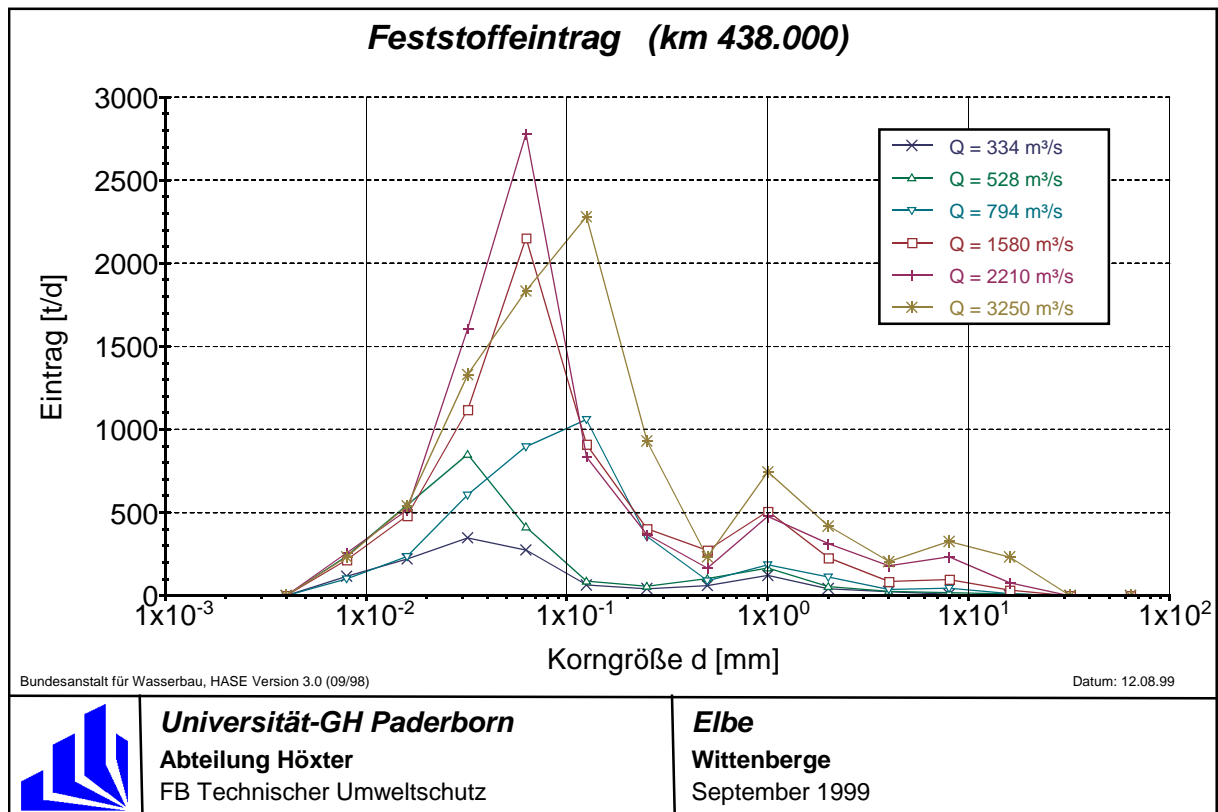


Abb. 13.9: Feststoffeintrag am oberstromigen Modellrand

13.3.3 Modelleichung

Die Kornverteilung der Sohle, der Eintrag der Frachten und deren Verteilung, der Transportansatz sowie die Sensitivität des Modells gehören zu den Eichparametern des Programmes HEC-6 und können zur Anpassung des Modells an die gegebenen Verhältnisse verändert werden.

Eine Auswertung historischer Sohldaten war im Verbundprojekt aus Zeitgründen nicht vorgesehen. Aus diesem Grund wurde für die Eichung des Sedimenttransportmodells mit der aktuellen Sohlgeometrie gearbeitet. Laut Untersuchungen der Bundesanstalt für Wasserbau zur Entwicklung des GIW89* (20d) ist in den letzten 100 Jahren im Bereich von Tangermünde (km 388) bis Schnackenburg (km 474) keine Erosion zu verzeichnen, sondern teilweise mit einer Wasserstandsanhhebung. Im Anschluß daran bis Neu Darchau ist wieder eine leichte Erosion festzustellen [Faulhaber, 1997].

Wichtig für die Eichung dieses Streckenabschnittes ist es, einen stabilen Zustand der Sohle ohne nennenswerte Erosions- oder Anlandungstendenzen nach einer gewissen Anlaufphase zu erreichen. Abweichungen einzelner Profile im Bereich mehrerer Dezimeter können aber bei der Eichung toleriert werden. Als gleitender Schnitt über 10 Profile zeigt sich eine Schwankungsbreite von +30 cm bzw. -20 cm in der mittleren Sohle. Nur im Eingangsbereich des Modells bei km 440 werden -50 cm erreicht. Einzelne Profile können hierbei stärkere Schwankungen aufweisen.

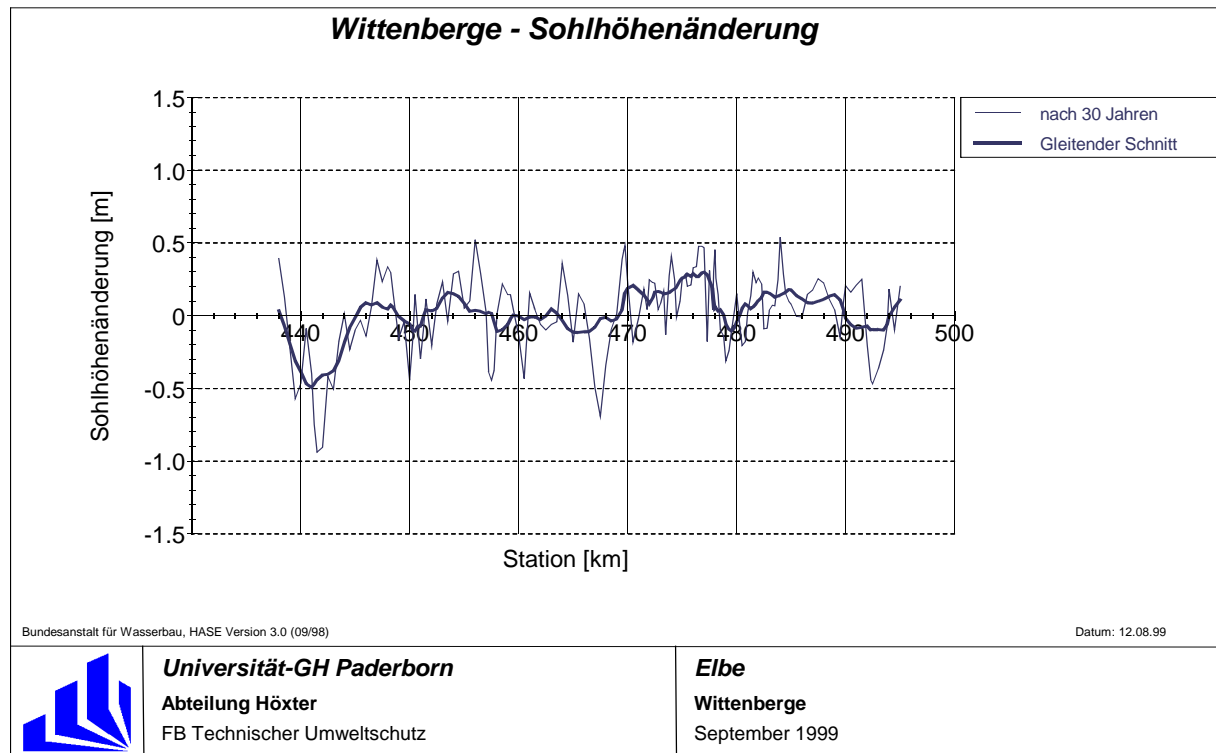


Abb. 13.10: Sohlhöhenänderung nach 30 Jahren Simulationszeit

Die mittlere Sohlhöhenänderung der Untersuchungsstrecke liegt für den Eichzeitraum bei maximal -4 cm. Dieser Wert wird am Anfang der Eichganglinie erreicht und nimmt dann zum Berechnungsende hin kontinuierlich ab, bis am Ende ± 0 cm erreicht werden (Anlage VIII-3).

Die für verschiedene Elbe-Kilometer eingegebenen Kornzusammensetzungen der Sohle wurden während der Eichung nicht verändert. Die Zusammensetzung der Sohle änderte sich im Laufe des Rechenganges und bewegte sich dabei im Bereich der gemessenen Sieblinien der Sohle.

Nach Vergleichsrechnungen unter definierten Bedingungen, bei denen nur die Sensitivität des Modells verändert wurde, zeigte die Einstellung der mittleren Sensitivität die besten Ergebnisse. Hier zeigt sich, daß die relativ große Anzahl der Geschiebe- und Schwebstoffmessungen eine gute Aussagekraft haben und die Gewichtung Geometrie/Sedimentologie ausgeglichener ist als bei anderen Elbe-Abschnitten.

Nach der Gegenüberstellung von Ergebnissen mit mehreren Transportfunktionen wurde der Ansatz nach Tofaletti und Schocklitsch ausgewählt. Das Grundkonzept des Tofaletti-Ansatzes ist das Einstein-Verfahren mit hauptsächlich empirischen Modifikationen. Schocklitsch fand auf Grund von Naturmessungen und Laborversuchen für den Geschiebetrieb eine einfache Beziehung, die als maßgebenden Korndurchmesser den d_{40} -Wert verwendet. Der kombinierte

Ansatz fand hier Anwendung, da durch den Vergleich der Ergebnisse beider Ansätze während der Berechnung eine größere Bandbreite abgedeckt wird. Die Transportansätze eignen sich für sandiges bis kiesiges Bettmaterial.

Ein wichtiges Eichkriterium ist die durchschnittliche Feststofftransportrate. Nach Messungen der Bundesanstalt für Gewässerkunde liegt diese für den Zeitraum 1992-1996 im Mittel bei 820.000 t/a [Schmidt u. Dröge, 1999]. Die Schwankungsbreite der Messungen liegt dabei von 520.000 t/a bis 1.065.000 t/a. Mit der aus den Geschiebe- und Schwebstoffmessungen für Wittenberge und Langendorf aufgestellten Abfluß-Fracht-Beziehung konnte die Sohle nicht in einen stabilen Zustand gebracht werden. Der Eintrag am oberstromigen Modellrand wurde daher für alle Abflüsse >1580 m³/s um 10-15% erhöht, der Eintrag bei 794 m³/s dagegen um 20% gesenkt. Bis zum Mittelwasser wurden die Meßwerte der Abfluß-Fracht-Beziehung übernommen. Dabei wurde für die beiden Hochwasserabflüsse durch Erhöhung des Schwebstoffanteils die Gesamtfracht unter Beibehaltung des Geschiebeanteils vergrößert. Nach zufriedenstellender Eichung lag die jährliche Transportfracht für den Gesamtzeitraum (Ganglinie umfaßt nicht den Zeitraum 1992-1996) bei durchschnittlich 1.130.000 t/a und somit etwas über dem Mittel der BfG-Messungen. Die berechnete Sandfraktion (> 0,063 mm) lag bei der Eichung um 310.000 t/a (Anlage VIII-3).

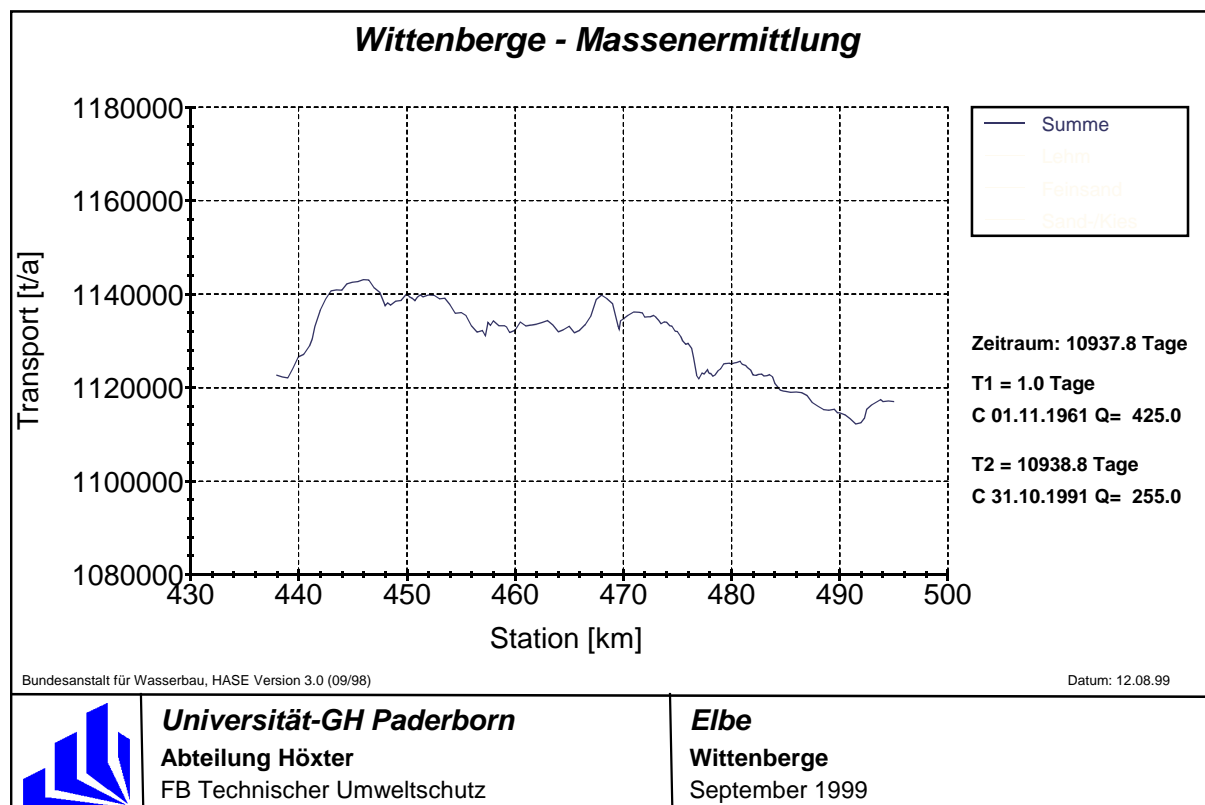


Abb. 13.11: Gesamttransport für den Zeitraum 1961-1991

Eine Untersuchung von vergleichbaren Abflüssen zu Beginn und Ende der Eichganglinie zeigte über das gesamte Abflußspektrum keine nennenswerten Absenkungen oder Erhöhungen (max. +/- 15 cm) der Wasserspiegellagen. Nur im Eingangsbereich des 1D-Modells können bedingt durch die starke Sohleintiefung Absenkungen bis 20 cm erreicht werden. In Anlage VIII-3 ist exemplarisch eine Grafik der Wasserspiegeldifferenz für etwa bordvollen Abfluß ($Q=1250 \text{ m}^3/\text{s}$) über einen Zeitraum von 22 Jahren beigelegt.

Die Bewertung der Eichung erfolgte durch den Vergleich der berechneten Sohllage nach 30 Jahren Simulationszeit mit der Ausgangsgeometrie, sowie zwischen berechneter und gemessener Wasserspiegellage (Abbildung 13.12). Nach einer gewissen Anlaufphase des Modells ist festzustellen, daß sich die Sohle in einem stabilen, aber dynamischen Zustand befindet.

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß vor dem Hintergrund des Datenmaterials die Eichung als ausreichend genau und zufriedenstellend zu bewerten ist.

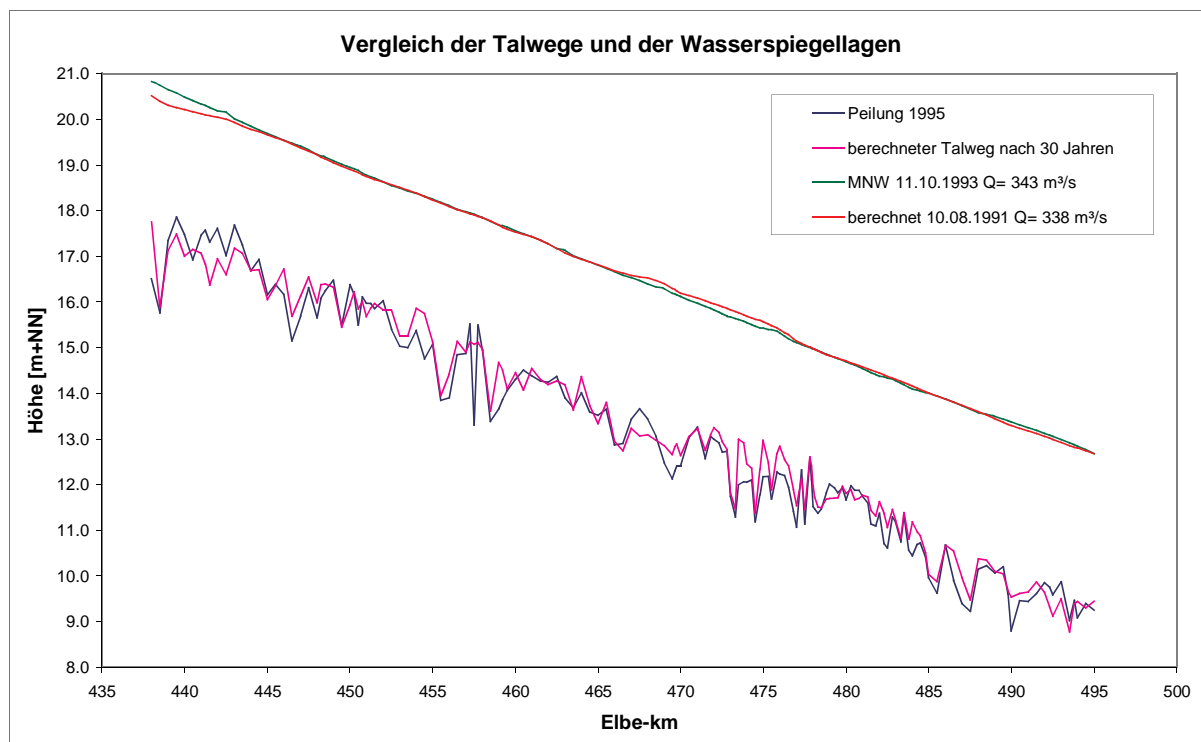


Abb. 13.12: Vergleich der Talwege und Wasserspiegellagen

13.4 Diskussion der Ergebnisse

Um das hier aufgestellte Einfachmodell zur Abschätzung sedimentologischer Parameter beurteilen zu können, wurden die Ergebnisse mit dem im Rahmen einer Diplomarbeit an der Bundesanstalt für Wasserbau erstellten Einfachmodell [Hack, 1996] verglichen. Die hydraulischen und sedimentologischen Parameter liegen in derselben Größenordnung, so daß hier von

einer für diese Datengrundlage und Vorgehensweise ausreichenden Genauigkeit ausgegangen werden kann.

Dieser Abschnitt ist im Verbundprojekt und auch bei der Bundesanstalt für Wasserbau mit eindimensionalen Modellen bearbeitet worden. Ein detaillierter Vergleich der berechneten Ergebnisse zwischen den Institutionen hat bisher noch nicht stattgefunden, wäre aber sicherlich wünschenswert. Im Rahmen der Deichrückverlegung Lenzen sind die Untersuchungen der Bundesanstalt für Wasserbau dieses Streckenabschnittes während der Projektlaufzeit intensiviert und verfeinert worden.

14 Teilaufbereitete Streckenabschnitte

In diesem Kapitel sind Elbe-Abschnitte aufgeführt, die nicht in einem hydronumerischen Modell gerechnet wurden. Es sind Teilstrecken, die für die Datenbank aufbereitet wurden und Abschnitte, in denen eine erste Aufbereitung der Rohdaten durchgeführt wurde. In einer möglichen Verlängerung des Teilprojektes haben einige dieser Elbe-Abschnitte Priorität in einer modelltechnischen Untersuchung. Im folgenden werden die Abschnitte von Ober- nach Unterstrom aufgeführt.

14.1 Elbe-km 291-340

14.1.1 Peilung

Datengrundlage

Für diesen Streckenabschnitt liegt dem Verbundprojekt eine Peilung des WSA Magdeburg von März 1996 vor. Es handelt sich um eine Sohlpeilung, die den Bereich der Böschungen miteinschließt; Vorlandinformationen sind nicht enthalten. Der Abstand der Peilungen erfolgte von km 291,0-323,0 im Abstand von 500 m, danach wurden die Profile bis km 340,0 in einem dichteren Abstand von 100 m in Fließrichtung aufgenommen.

Die Hektometersteine liegen als gerechnete Profilstpunkte im Abstand von je 200 m links und rechts der gerechneten Flußachse vor. Diese Werte waren in Fließrichtung im Abstand von 100 m vom WSA Magdeburg übergeben worden.

Datenaufbereitung

Die Dateien wurden aus dem Format der Wasser- und Schifffahrtsämter für weitere Aufbereitungsschritte in das xyk-Format des Programmes PROFIL konvertiert. Für Elbe-km 291-323 wurden mit dem Programm PROFIL Zwischenprofile im Abstand von 100 m interpoliert und in die vorhandenen Querprofile eingebaut. Eine Kontrolle auf mögliche Peilungsfehler wurde durchgeführt und in einigen Querprofilen Geometriepunkte von mehreren Metern Höhe entfernt.

14.1.2 Stadtstrecke Magdeburg

Datengrundlage

Bei der Bundesanstalt für Wasserbau liegt ein eindimensional-hydronumerisches Modell der Stadtstrecke Magdeburg (km 320,3-338,0) vor. Die Ausgangsgeometrien dieses Abschnittes wurden dem Verbundprojekt Anfang des Jahres 1997 übergeben. Der Abstand der Profile im

BAW-Modell, die im Jahr 1992 aufgenommen wurden, beträgt 100 m. Im Bereich der Stadt Magdeburg ist der Abstand teilweise geringer. Ergänzende Profile wurden im Bereich des Domfelsens (km 325,725-325,975), des Herrenkrugfelsens (km 329,31-329,45) und der Strombrücke (km 326,55-326,775) eingefügt. Da für das Modell auch ein Hochwasserabfluß gerechnet wurde, sind die Profile bis zu den hochwasserfreien Flächen aufgearbeitet worden. Das Profilstumpfsystem (Hektometersteine) der Peilung von 1992 ist jedoch nicht auf die gerechnete Flußachse bezogen, sondern auf die im Gelände vermarkten Hektometersteine.

Datenaufbereitung

Ziel hierbei war es, die Querprofile des BAW-Modells, die im alten System der Hektometersteine vorlagen, auf das neue System (bezogen auf die Flußachse) umzurechnen, um dann die aktuelle Peilung aus dem Jahr 1996 mit den Vorlandgeometrien verschneiden zu können.

Die alten und neuen Hektometersteine wurden in AutoCAD als Lageplan (Anlage IX) dargestellt und das Verschiebemaß zwischen den linken Hektometersteinen (Profilmullpunkt) bestimmt. Dies war erst ab km 323,0 möglich, da hier die Profile nur verschoben, aber nicht zueinander verdreht sind. Von km 320,3-323,0 ist die Lage der Profile stark verdreht, so daß hier eine Neuaufnahme der Vorländer notwendig wird. Im Anschluß daran wurde die Flußpeilung von 1996 mit den Vorländern verschnitten, die Schnittstellen kontrolliert und gegebenenfalls angepaßt.

14.2 Elbe-km 340-344

Im Zuge der Aufbereitungen für die Berechnungsstrecke Niegripp (km 344,1-374,0) wurden die Querprofile bereits ab km 340,0 aufbereitet. Die Berechnungsstrecke beginnt aus modelltechnischen Gründen aber erst bei Elbe-km 344,1.

Datengrundlage

Die Grundlage für die Querprofile war eine Peilung des WSA Magdeburg von September 1997, die im Abstand von 200 m aufgenommen wurde. Es handelt sich um eine Sohlpeilung, die den Böschungsbereich miteinschließt. Informationen über die Vorländer bis hin zu den Deichen sind nicht enthalten.

Datenaufbereitung

Mit Hilfe des Programmes PROFIL wurden in die Sohlpeilung Zwischenprofile im Abstand von 100 m interpoliert.

Die fehlenden Vorlandinformationen wurden durch das Verbundprojekt ergänzt. Hierzu wurden vom Projektpartner FBTU die TK 10 digitalisiert. Neben den Höhenlinien wurden

auch Deiche, Bruchkanten, Gräben und Seen mit einer aus der Karte entnommenen bzw. abgeschätzten Höhe/Tiefe punktweise aufgenommen. Zum Teil wurde eine Verdichtung der Punkte zwischen den Höhenlinien vorgenommen, um Datenlücken bei der Rasterung auszuschließen. Aus den xyz-Daten der Vorländer und der in Gauß-Krüger-Koordinaten konvertierten Flußpeilung wurde dann in Karlsruhe von TPI.1 mit ARCInfo ein Digitales Geländemodell im Raster von 6x6 m erzeugt. Ausgerichtet an den Hektometersteinen, die das Querprofil in ihrer räumlichen Lage definieren, wurden dann Querschnitte durch das Geländemodell im Abstand von 100 m gelegt.

In einem weiteren Aufbereitungsschritt wurden die Originalpeilungen in die aus dem Digitalen Geländemodell ausgelesenen Querprofile wieder eingebaut. Hierdurch konnte die Datenbasis in der Elbe optimiert werden.

14.3 Elbe-km 502-537

Dieser Elbe-Abschnitt ist Bestandteil des bei der Bundesanstalt für Wasserbau erstellten Modells der Elbe-Reststrecke, welche modelltechnisch von km 480-537 erfaßt wird. Die unbearbeiteten Ausgangsgeometrien des BAW-Modells wurden dem Verbundprojekt übergeben. Hierin ist eine Sohlpeilung aus den Jahren 1994/1995 enthalten. Vom WSA Lauenburg wurde dem Verbundprojekt eine aktuellere Sohlpeilung aus dem Jahr 1996 übergeben, die jetzt mit den Vorlanddaten des BAW-Modells verschnitten werden sollte.

Datengrundlage

Das 1D-Modell der Reststrecke enthält eine Sohlpeilung aus den Jahr 1994/1995, die von der Bundesanstalt für Wasserbau mit Vorlandinformationen bis zu den Hochwasserdeichen aus der TK 10 ergänzt worden ist. Die Profilabstände sind auf die Fragestellung der Bundesanstalt für Wasserbau (Buhnenregelung) im Bereich der Elbe-Reststrecke ausgelegt und der folgenden Tabelle zu entnehmen.

Elbe-km	Profilabstand
480,0 – 506,5	500 m
507,0 – 520,2	200 m
520,4 – 522,7	100 m
522,8 – 523,8	200 m
524,0 – 536,5	500 m

Tab. 14.1: Profilabstände Elbe-Reststrecke (BAW)

Die Peilung des WSA Lauenburg umfaßt die Sohle und den Böschungsbereich. Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die Abstände und das Jahr der vorgenommenen Peilungen.

Elbe-km	Profilabstand	Jahr der Peilung
502,3 – 507,0	100 m	1995
507,05 – 512,95	50 m	1995
513,0 – 523,0	50 m	1996
523,05 – 523,9	50 m	1995
524,0 – 525,0	100 m	1995
525,05 – 529,95	50 m	1995
530,0 – 532,5	100 m	1995
532,55 – 537,0	50 m	1995

Tab. 14.2: Profilabstände Peilung (WSA Lauenburg)

Datenaufbereitung

Ziel der Aufbereitung war es, die neu gepeilten Flußprofile in das bestehende BAW-Modell einzubauen und eine Interpolation der Vorländer möglichst im Abstand der Peilungen durchzuführen. Die Zwischenprofile wurden im 100 m-Abstand interpoliert, von einer Verdichtung der Vorländer von 500 m auf 50 m wurde aber abgesehen.

Bei der Darstellung der Profile und Hektometersteine im Lageplan (Anlage IX) zeigte sich, daß diese Teilstrecke durch zwei Abschnitte charakterisiert ist. Von km 502,3-523,9 sind die Hektometersteine auf die gerechnete Flußachse bezogen, d.h. jeweils 300 m links und rechts der Achse liegen die Profilstpunkte. Im Anschluß ab km 524,0 bis hinunter nach km 537,0 besteht das Profilstpunktsystem aus den im Gelände vermarkten Hektometersteinen. Der Verlauf der linken Hektometersteine in Fließrichtung weist insbesondere ab km 527,0 starke Sprünge auf. Beim Interpolieren von Querprofilen mit dem Programm PROFIL werden die Hektometersteine der Zwischenprofile geradlinig interpoliert. Hier kommt es zu einer Verschiebung; die interpolierten Hektometersteine stimmen deshalb nicht mit denen der Flußpeilung überein. Ein einfaches Verschneiden von Vorländern und Flußschlauch ist daher nicht mehr möglich.

Für den Abschnitt km 502,3-523,9 wurden die Querprofile des BAW-Modells (mit Vorländern) interpoliert und anschließend die verdichtete Sohlpeilung eingebaut.

Für den Abschnitt km 524,0-537,0 wurden ebenfalls die Querprofile des BAW-Modells im Abstand der neuen Flußpeilung interpoliert und anschließend das Verschiebemaß zwischen linkem interpolierten Hektometerstein und dem linken, auf die Flußachse bezogenen Hektometerstein im Lageplan (AutoCAD) ausgemessen. Die interpolierten Profile wurden zunächst verschoben, bevor dann die Flußpeilung von 1996 eingebaut werden konnte.

Diese Vorgehensweise ist nicht absolut korrekt, da durch die Interpolation der Hektometersteine in einigen Fällen auch eine leichte Drehung in Bezug zur gerechneten Flußachse auftrat. Diese Abweichungen sind jedoch sehr gering und konnten vernachlässigt werden.

Im Anschluß daran fand eine Kontrolle der interpolierten Flußprofile anhand der Topographischen Karte und Luftbildaufnahmen statt. Die in der nachfolgenden Tabelle aufgeführten Querprofile werden in der Projektverlängerung in die Datenbank integriert.

Elbe-km	Profilabstand
502,3 – 507,0	100 m
507,05 – 523,8	50 m
523,9 – 537,0	100 m

Tab. 14.3: verdichtete Profilabstände

14.4 Elbe-km 537-586

Datengrundlage

Grundlage dieses Streckenabschnittes, in dem der Aufbau eines hydronumerischen Modells in einer möglichen Projektverlängerung vorgesehen ist, sind Peilungen des WSA Lauenburg aus den Jahren 1994/1995. Es handelt sich hierbei um Sohlpeilungen, die den Uferbereich bis zur Böschungskante berücksichtigen. Topographische Informationen des Vorlandes sind nicht enthalten.

Der Abstand der Peilungen beträgt von km 537,1-549,3 genau 50 m bzw. 100 m in Fließrichtung. Im Anschluß daran bis km 584,0 erfolgte die Peilung in einem Abstand von ca. 100 m, d.h. die Sohlaufnahme erfolgte in einer Distanz von 80 m – 120 m. Ab km 584,1 spaltet sich die Elbe vor dem Wehr Geesthacht in den Schleusenkanal und den Wehrrarm der Staustufe auf. Ein Lageplan soll die Verhältnisse dieses Elbe-Abschnitts vor der Staustufe Geesthacht verdeutlichen (Anlage IX).

Datenaufbereitung

Bei der Aufbereitung der Hektometersteine ließ sich eine weitere Besonderheit feststellen. Zwischen Elbe-km 572,2 und 572,31 erfolgt -geodätisch bedingt- ein Sprung des Rechtswertes der Gauß-Krüger-Koordinaten von 45... auf 33... .

Die Sohlpeilungen, die im Format der Wasser- und Schifffahrtsämter an das Verbundprojekt übergeben wurden, sind in einem ersten Aufbereitungsschritt mit dem Programm PROFIL zur weiteren Bearbeitung in das xyk-Format konvertiert und die zugehörige Hektometersteindatei erstellt worden. Im Anschluß daran wurden die Profile im Querschnitt kontrolliert und mögliche Peilungsfehler beseitigt. Um die Fülle der Geometriepunkte auf das für die Berechnungsprogramme HEC-2/HEC-6 vorgegebene Limit zu minimieren, wurden die Profile mit einer Einebnungshöhe von 0,01 m auf eine maximale Punktzahl von 90 Punkten je Querprofil geglättet.

15 Verwertung der Ergebnisse

Die Ergebnisse dieses Teilprojekts lassen sich grundsätzlich in zwei Gebiete unterteilen. In den ersten Bereich fällt die Aufbereitung der Rohdaten in für weitere Bearbeitungsschritte verwertbare Eingabedaten, z.B. für den Aufbau von Digitalen Geländemodellen. Der zweite Bereich ist die Weiterverarbeitung der Daten in hydronumerischen Modellen. Deren Berechnungsergebnisse liefern ihrerseits wieder die Grundlage der abiotischen Faktoren für weitergehende Betrachtungen, wie orts- und zeit- bzw. abflußabhängige Wasserstände und Sohlbelastungen.

Im folgenden wird aufgezeigt, wie die erarbeiteten Parameter in vielfältiger Weise im Verbundprojekt und darüber hinaus in weiteren Projekten der Elbe-Ökologie einsetzbar sind und eine Rückkopplung mit den zuständigen Institutionen und Behörden (z.B. BAW, WSÄ) erfolgt.

Datenbank

Die Eingabe von Querprofilen in die projektinterne ORACLE-Datenbank erfolgte bisher exemplarisch an einem ausgewählten Streckenabschnitt (Biosphärenreservat „Mittlere Elbe“). Die Beschreibung der Datensätze in der Datenbank muß sehr gut strukturiert werden, um überschaubar zu bleiben und eine sinnvolle Verknüpfung mit weiteren Datensätzen zu gewährleisten. Aus zeitlichen Gründen konnten die weiteren Querprofile bisher nicht in die ORACLE-Datenbank integriert werden. In der Projektverlängerung wird die Eingabe der Daten abgeschlossen werden. Geplant ist zwei Geometrien einzuarbeiten: zum einen mit Buhenschatten, zum anderen ohne Buhenschatten. Die weitere Nutzung der Datenbank über das Projektende hinaus ist aufgrund von rechtlichen Fragestellungen bisher nicht eindeutig geklärt.

Auenökologische Fragestellungen

Die berechneten Strömungs- und Feststofftransportparameter (z.B. Wasserstände, Geschwindigkeiten, Schubspannungen, Feststofffrachten) können im Hinblick auf wasserbauliche und ökologische Fragestellungen weiter aufbereitet werden. Die interdisziplinäre Auswertung eines Elbe-Abschnitts zeigt, wie abiotische Gewässerinformationen für ökologische Fragestellungen verwendet werden können (siehe hierzu auch den Beitrag von [Büchle u. Nestmann, 1998] zum 8. Magdeburger Gewässerschutzseminar).

Als grundlegende Bearbeitungsebene ist das Digitale Geländemodell zu nennen, wie es im Teilprojekt I.1 unter Mitwirkung von Teilprojekt I.3 in Teilstrecken der Elbe erstellt worden ist. Eine Verschneidung der Geländeoberfläche mit berechneten Wasserspiegellagen im Geographischen Informationssystem (GIS) bietet die Möglichkeit, überflutete Auen anschaulich darzustellen. Diese aus ökologischer Sicht relevanten Abflüsse werden in Zusammenarbeit

mit dem Teilprojekt „Schnittstelle“ und der Analyse der Pegelzeitreihen von TPI.4 „Hydrologische Analyse und Datenmanagement“ gewonnen. Neben dem Wasserstand ist auch die Häufigkeit und Dauer, sowie die Jahreszeit eines Abflüßereignisses ausschlaggebend. Eine weitere Differenzierung der Dynamik der Elbe-Abflüsse kann je nach biologischer Fragestellung (Vorgabe von Toleranz-, Grenz- und Schwellenwerten bzw. Genauigkeitsanforderungen) konkretisiert werden.

Die folgende Abbildung basiert auf der interdisziplinären Zusammenarbeit im Verbundprojekt und soll die aufgeführten Zusammenhänge verdeutlichen. Die für eine faunistische und floristische Bewertung im Vorland notwendige Information läßt sich daraus wie folgt entnehmen:

Ein Wasserstand von 53,95 mNN, entsprechend einem Abfluß von 1632 m³/s im Profil Elbe-km 284,2, wird mit einer Auftretenshäufigkeit von etwa 9 Jahren an 10 zusammenhängenden Tagen im Jahr überschritten.

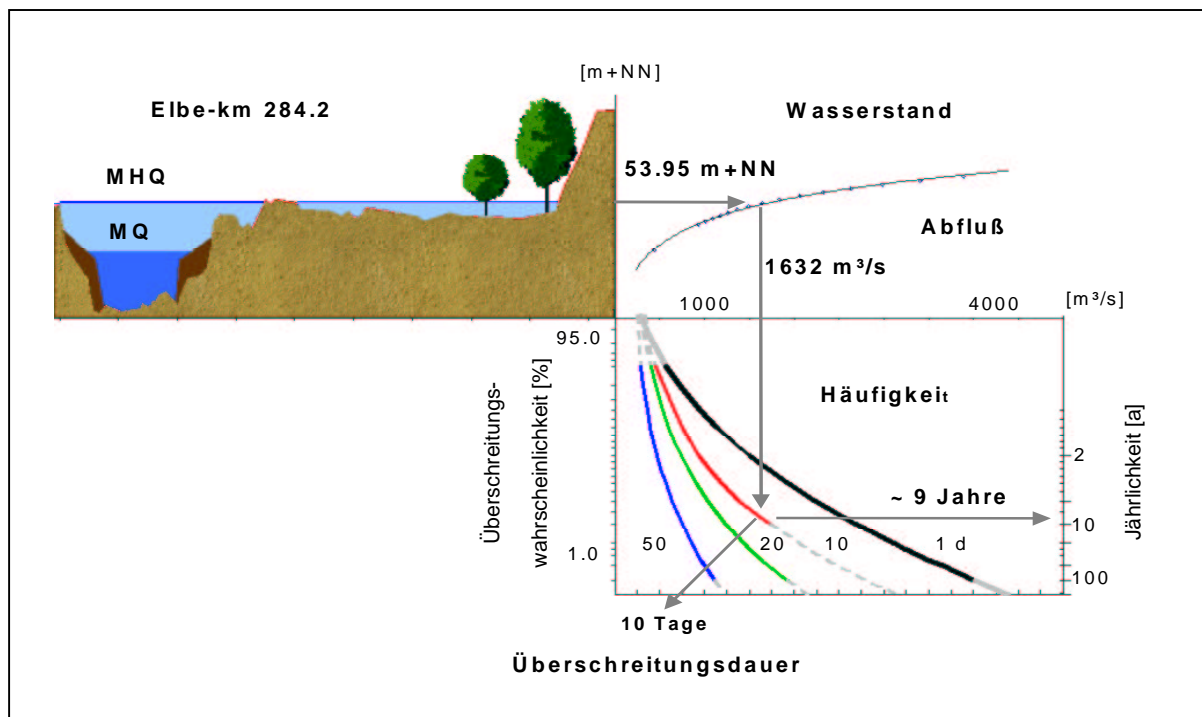


Abb. 15.1: Abhängigkeit Geometrie-Wasserstand-Abfluß-Dauer-Häufigkeit

Elbe-Ökologie

Darüber hinaus liefert das Teilprojekt wichtige Grundlagentaten für weitere Vorhaben im Rahmen der Forschungskonzeption „Elbe-Ökologie“. Bereits mehrfach sind an das Teilprojekt „1D-Berechnung der Wasserspiegellagen und des Feststofftransports“ Anfragen hinsichtlich Querprofilpeilungen, topographischer Informationen der Elbe-Auen und Ergebnisse der hydraulischen und sedimentologischen Berechnungen (z.B. Wasserspiegellagen, Fließgeschwindigkeiten, Feststofffrachten) gestellt und auch übergeben worden. Weiteren Anfragen

durch derzeit angelaufene Projekte sind zu erwarten, da das Verbundprojekt wichtige Grundlagendaten der Elbe für weitere Bearbeitungen zur Verfügung stellt (näheres hierzu siehe Beitrag TP „Koordination“).

Institutionen und Behörden

Durch die intensive Zusammenarbeit und den Austausch mit der Bundesanstalt für Wasserbau und der Bundesanstalt für Gewässerkunde ist eine Rückführung der gewonnenen Datensätze an die zuständigen Institutionen und Behörden, die einen wesentlichen Beitrag an Grundlagendaten für das Verbundprojekt geliefert haben, gewährleistet.

Als Beispiel ist hier der Datenaustausch mit der Bundesanstalt für Wasserbau zu nennen. Bereits während der Projektlaufzeit sind erarbeitete Querprofile von km 203,0-220,0 an die Bundesanstalt für Wasserbau übergeben worden, um dort ein Gesamtmodell mit beweglicher Sohle für die Erosionsstrecke erstellen zu können. Des Weiteren sind seitens der Bundesanstalt für Wasserbau bereits Anfragen an das Teilprojekt/Verbundprojekt gestellt worden hinsichtlich der Geometrien und Ergebnisse von verschiedenen Berechnungsabschnitten in Sachsen-Anhalt (Niegripp, NSG „Bucher Brack“, Tangermünde, Sandau).

Während einer möglichen Verlängerungsphase wird eine weitergehende Abstimmung mit den zuständigen Behörden im Sinne einer Weiternutzung der erarbeiteten Ergebnisse (Daten, Modelle etc.) angestrebt.

16 Folgerungen und Ausblick

Im Teilprojekt „1D-Modellierung der Wasserspiegellagen und des Feststofftransports“ ist ein wesentlicher Beitrag für die Betrachtung des Ist-Zustandes der deutschen Elbe geleistet worden. Die Ergebnisse sind eine wichtige Grundlage für weiterführende Untersuchungen im Rahmen der Elbe-Ökologie und darüber hinaus für Institutionen, die sich mit ökologischen und wasserbaulichen Fragestellungen an der Elbe beschäftigen.

Die vorhandene Datenbasis und die Länge der Fließstrecke ließen zunächst nur eine Gesamtbetrachtung der Elbe mittels eindimensional-hydrnumerischen Modellen zu. Die hierbei verwendeten Programme für die Hydraulik (HEC-2) und den Feststofftransport (HEC-6) erwiesen sich in ihrer Anwendung als sehr gut geeignet, um das Abfluß- und Feststoffregime der Elbe zu charakterisieren.

Die in weiten Teilen der Elbe fehlenden topographischen Informationen mußten zeit- und arbeitsintensiv ergänzt und zu Digitalen Geländemodellen bzw. Querprofilen für die hydrnumerischen Modelle erarbeitet werden. Auch unter Einbeziehung der seit mehreren Jahren bei der Bundesanstalt für Wasserbau mittels 1D-Modellen untersuchten Streckenabschnitte ist noch keine Gesamtbetrachtung der Elbe möglich.

Die Ergebnisse der Berechnungen zeigten einige Elbe-Abschnitte, in denen die Grenzen der eindimensionalen Modelltechnik erreicht wurden. In diesen Teilstrecken sind die Ergebnisse der durchgeführten Untersuchungen als erste Orientierung zu sehen. Für eine genauere Charakterisierung der strömungstechnischen Parameter wird hier die Anwendung anderer Modelltechniken vorgeschlagen. Insbesondere für die Strömungsführung in weitläufigen Auen mit dem Auftreten von Querströmungen und dem rückwärtigen Einstau von Unterstrom ist die Erstellung von zweidimensionalen hydrnumerischen Modellen ratsam. Hierzu muß allerdings die Datenbasis der flächenhaften topographischen Informationen der Aue ergänzt werden. Die Vermessung der Rinnen und Mulden ist hier ebenso wichtig wie die Aufnahme von Wasserspiegellagen im Vorland einschließlich der Messung der dort auftretenden Fließgeschwindigkeiten. Weil die Ergänzung der Eingabedaten für die 2D-Modelle sehr zeit- und kostenintensiv ist, ermöglicht die 1D-Modelltechnik die Definition von Teilabschnitten der Elbe für weiterführende Untersuchungen.

Die Eichung von Teilabschnitten der Elbe mit hydrnumerischen Modellen ist nur ein erster Schritt in der Untersuchung ökologischer und wasserbaulicher Fragestellungen. Mit der Kalibrierung (Eichung) wurden definierte Randbedingungen für die Untersuchung von Szenarien geschaffen. Zum Beispiel kann über die Variation von Rauheitsbeiwerten die Entwicklung verschiedener Vegetationsstadien (z. B. Auwald) simuliert werden. Ebenso lassen sich die Auswirkungen hinsichtlich der Strömungsparameter und der Feststofftransportgrößen bei einer veränderten Geometrie erfassen. Als Beispiel für eine mögliche Veränderung der Geome-

trie ist die Gewinnung von Retentionsraum bei einer Deichrückverlegung zu nennen. Weiterhin lassen sich die ökologischen und auch sozio-ökonomischen Auswirkungen bei Hochwasserereignissen abschätzen.

Das Teilprojekt hat mit seinen aufbereiteten Grundlagendaten und den aus den hydronumerischen Modellen gelieferten Berechnungsergebnissen einen wichtigen abiotischen Beitrag für die Elbe-Ökologie geleistet.

17 Literatur

- ALEXY (1994): HEC-6 Programmbeschreibung. Bundesanstalt für Wasserbau, Außenstelle Berlin, Abteilung Wasserbau, Berlin 1994
- BÜCHELE, B. u. NESTMANN, F. (1998): Zeitabhängige Klassifizierung von Überflutungsflächen in einem GIS am Beispiel der Mittlern Elbe bei Dessau. In: UFZ - Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH (Hrsg.), 8. Magdeburger Gewässerschutzseminar, Gewässerschutz im Einzugsgebiet der Elbe, S. 305-310, Stuttgart
- DVWK (1988): Feststofftransport in Fließgewässern – Berechnungsverfahren für die Ingenieurpraxis. DVWK-Schriften 87, Verlag Paul Parey, Hamburg Berlin, 1988
- DVWK (1990): Hydraulische Methoden zur Erfassung von Rauheiten. DVWK-Schriften 92, Verlag Paul Parey, Hamburg, Berlin, 1990
- DVWK (1991): Hydraulische Berechnung von Fließgewässern. DVWK-Merkblätter zur Wasserwirtschaft 220, Verlag Paul Parey, Hamburg Berlin, 1991
- DVWK (1994): Hydraulisch-sedimentologische Berechnungen naturnah gestalteter Fließgewässer – Berechnungsverfahren für die Ingenieurpraxis. DVWK-Mitteilungen 25, Verlag Paul Parey, Hamburg Berlin, 1994
- FAULHABER (1997): Entwicklung der Wasserspiegel- und Sohlhöhen in der deutschen Binnenelbe innerhalb der letzten 100 Jahre - Einhundert Jahre „Elbestromwerk“. In: UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH (Hrsg.), 8. Magdeburger Gewässerschutzseminar, Gewässerschutz im Einzugsgebiet der Elbe, S. 217-220, Stuttgart
- HACK, A. (1998): Untersuchung einer Deichrückverlegung an der Elbe zwischen der Havelmündung (Elbe-km 438) und Gorleben (Elbe-km 495) mit Hilfe eines eindimensionalen hydronumerischen Feststofftransportmodells. Diplomarbeit an der Universität-GH Paderborn, Abteilung Höxter, Fachbereich 8 – Technischer Umweltschutz. Angefertigt an der Bundesanstalt für Wasserbau, Außenstelle Berlin, 1998
- HAUNSCHILD et al. (1994): Kornzusammensetzung der Elbesohle von der tschechisch-deutschen Grenze bis zur Staustufe Geesthacht. Bundesanstalt für Gewässerkunde, Gutachten Bundesanstalt für Gewässerkunde 0834, Berlin, 1994
- HEC (1982): Water Surface Profiles (HEC-2), User's Manuals. Hydrologic Engineering Center, U.S. Army Corps of Engineers
- HEC (1993): Scour and Deposition in Rivers and Reservoirs (HEC-6), User's Manuals. Hydrologic Engineering Center, U.S. Army Corps of Engineers
- HENTSCHEL, B. (1994): PROFIL, Handbuch. Bundesanstalt für Wasserbau, Außenstelle Berlin, Abteilung Wasserbau, Referat AB 5, Berlin 1994
- HENTSCHEL, B. (1996): HASE – HEC-6-Aufbereitung-Simulation-Ergebnisauswertung, Handbuch. Bundesanstalt für Wasserbau, Außenstelle Berlin, Abteilung Wasserbau, Referat AB 5, Berlin 1996

- HÜSENER, T. (1998): Hydraulisch-sedimentologische Untersuchung einer linksseitigen Elbedeichrückverlegung unterhalb von Aken. Diplomarbeit an der Universität-Gesamthochschule Paderborn, Abteilung Höxter, Fachbereich 8 – Technischer Umweltschutz, 1998
- OTTE-WITTE, K. (1998): Untersuchung einer Deichrückverlegung an der mittleren Elbe mit Hilfe eines eindimensionalen hydronumerischen Strömungs- und Feststofftransportmodells. Diplomarbeit an der Universität-Gesamthochschule Paderborn, Abteilung Höxter, Fachbereich 8 – Technischer Umweltschutz, 1998
- QUOIKA, S. u. MEON, G. (1997): Deichrückverlegungsmaßnahmen Klieznick/Bucher Brack – Numerische Modellierung – Abschlußbericht. Staatliches Amt für Umweltschutz (STAU) Magdeburg
- RATHKE, K. (1998): Entwicklung des Programms HYSEMO32 an der Universität-Gesamthochschule Paderborn, Abteilung Höxter, Fachbereich 8 – Technischer Umweltschutz
- SCHMIDT, A. u. DRÖGE, B. (1999): Feststofftransport in der Elbe. In: Fachtagung Elbe – Dynamik und Interaktion von Fluß und Aue, 4.-7. Mai 1999 in Wittenberge, S. 57-60, Karlsruhe, 1999
- VERBUNDPROJEKT „Morphodynamik der Elbe“ (1996): Projektantrag 1996. Universität Karlsruhe, BMBF-Förderkennzeichen 0339566, Karlsruhe, 1996
- VERBUNDPROJEKT „Morphodynamik der Elbe“ (1997): Zwischenbericht 1997. Universität Karlsruhe, BMBF-Förderkennzeichen 0339566, Karlsruhe, 1997
- VERBUNDPROJEKT „Morphodynamik der Elbe“ (1998): Sachstandsbericht 1997. Universität Karlsruhe, BMBF-Förderkennzeichen 0339566, Karlsruhe, 1997
- WSD WEST (1992): Merkblatt für die Ermittlung der Buhnenschatten in Querprofilen. WSD West, Münster, 7/1992
- ZANKE, U. (1982): Grundlagen der Sedimentbewegung. Springer-Verlag, Berlin New York Heidelberg, 1982
- ZENTGRAF U. NESTMANN, F. (1988): Das mathematische Modell zur Berechnung von Wasserspiegellagen in Flüssen und Kanälen (eindimensionale, stationäre Strömungsanalyse). Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe, Mai 1988