

# **BUNDESANSTALT FÜR WASSERBAU**

( B A W )

**Untersuchung der Auswirkung von Maßnahmen  
im Elbevorland auf die Strömungssituation  
und die Flussmorphologie am Beispiel der  
Erosionsstrecke und der Rückdeichungsbereiche  
zwischen Wittenberge und Lenzen**

- Zwischenbericht 1998 -

Ökologische Forschung in der Stromlandschaft Elbe (Elbe-Ökologie) des  
Bundesministeriums für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie (BMBF)

Teilkonzept "Ökologie der Fließgewässer"

Berlin, 20.04.1999

# **BUNDESANSTALT FÜR WASSERBAU**

( B A W )

## **Untersuchung der Auswirkung von Maßnahmen im Elbevorland auf die Strömungssituation und die Flussmorphologie am Beispiel der Erosionsstrecke und der Rückdeichungsbereiche zwischen Wittenberge und Lenzen**

- Zwischenbericht 1998 -

Ökologische Forschung in der Stromlandschaft Elbe (Elbe-Ökologie) des  
Bundesministeriums für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie (BMBF)

Teilkonzept "Ökologie der Fließgewässer"

Auftraggeber: Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und  
Technologie (BMBF)

Förderkennzeichen: 0339575

Aufgestellt von: Abteilung: Wasserbau im Binnenbereich

Bearbeiter: Dipl.-Ing. Petra Faulhaber

Berlin, den 20. April 1999

Das Gutachten darf nur ungekürzt vervielfältigt werden. Die Vervielfältigung und eine Veröffentlichung bedürfen der schriftlichen Genehmigung der BAW.

<b>Inhaltsverzeichnis</b>		<b>Seite</b>
<b>1</b>	<b>Zielstellung und Untersuchungsmethodik</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Struktur des Forschungsprojektes, Bearbeiter und Bearbeitungsstand im Überblick</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Allgemeine Fragestellungen</b>	<b>7</b>
<b>3.1</b>	<b>Vergleich von ausfendenden Durchflussereignissen in den unterschiedlichen Untersuchungsräumen</b>	<b>7</b>
<b>3.2</b>	<b>Bettbildende Durchflüsse</b>	<b>13</b>
<b>3.3</b>	<b>Alternative Formen der Ergebnisdarstellung</b>	<b>23</b>
<b>4</b>	<b>Eindimensionale Modelle und Modellvergleich</b>	<b>26</b>
<b>4.1</b>	<b>Feststofftransportmodelle der Erosionsstrecke der Elbe</b>	<b>26</b>
4.1.1	Allgemeines	26
4.1.2	Modellaufbau	26
4.1.3	Modellkalibrierung	27
<b>4.2</b>	<b>Vergleich von Modellen im Bereich der Rückdeichung Lenzen</b>	<b>29</b>
<b>5</b>	<b>Zweidimensionale Modelle</b>	<b>36</b>
<b>5.1</b>	<b>Modell in der Erosionsstrecke bei Klöden El-km 182 – 194</b>	<b>36</b>
5.1.1	Einführung	36
5.1.2	Modellaufbau	36
5.1.3	Modellkalibrierung	38
5.1.4	Null-Zustand (V0)	41
5.1.5	Variante Flutrinne links (VF)	43
5.1.6	Variante Rückdeichung (VR) bei MHQ	49
5.1.7	Ausblick	52
<b>5.2</b>	<b>Modell der Rückdeichung bei Lenzen El-km 475 – 485,5</b>	<b>53</b>
5.2.1	Topographische Daten des Rückdeichungsbereichs	53
5.2.2	Modellaufbau Variante 33	57
5.2.3	stationäre Berechnungen	60
5.2.4	Instationäre Berechnungen	63
<b>6</b>	<b>Aerodynamisches Modell in der Erosionsstrecke bei Klöden El-km 187 – 191</b>	<b>67</b>
<b>7</b>	<b>Hydraulisches Modell bei Mockritz/Döbern El-km 160,2 – 164</b>	<b>73</b>
<b>7.1</b>	<b>Veranlassung und Zielstellung</b>	<b>73</b>
<b>7.2</b>	<b>Analyse der Untersuchungsstrecke</b>	<b>73</b>
<b>7.3</b>	<b>Modellkalibrierung</b>	<b>78</b>
<b>7.4</b>	<b>Untersuchung des Istzustandes</b>	<b>83</b>
7.4.1	Geschwindigkeiten in Hauptströmungsrichtung	83
7.4.2	Tracerversuche	87
<b>7.5</b>	<b>Variantenuntersuchung</b>	<b>90</b>
7.5.1	Variantenauswahl für das hydraulische Modell	90
7.5.2	Ergebnisse des Variantenbeispiels „Kolkverbau“	95
<b>8</b>	<b>Bibliographie</b>	<b>97</b>
<b>9</b>	<b>Glossar (Endnoten)</b>	<b>99</b>

<b>Bildverzeichnis</b>	<b>Seite</b>
Abb. 1.1: Übersicht der Untersuchungsabschnitte	2
Abb. 3.1: Hydrologischer Längsschnitt der Elbe (Jahresreihe 1951/90) <sup>1</sup>	9
Abb. 3.2: Vergleich der Anteile der Vorländer am Gesamtdurchfluss im Querschnitt	10
Abb. 3.3: Veränderung der Vorlandanteile am Gesamtdurchfluss zwischen 60er und 90er Jahren (El-km 163-197)	11
Abb. 3.4: Veränderung der mittleren Durchflussanteile für El-km 163 bis 197 von Flussbett und Vorländern zwischen 60er und 90er Jahren (60er Jahre = 100%)	12
Abb. 3.5: Geschiebemessungen im Umfeld von Torgau (El-km 154)	15
Abb. 3.6: Ermittlung des „bettbildenden Durchflusses“ für Torgau (BfG, Außenstelle Berlin)	16
Abb. 3.7: Ermittlung des „bettbildenden Durchflusses“ für Wittenberg (BfG, Außenstelle Berlin)	17
Abb. 3.8: Abflusshäufigkeit und MQ1951/95 für Wittenberg und Wittenberge	18
Abb. 3.9: Messwerte und Geschiebefracht-Durchfluss-Funktion für den Pegel Wittenberg	19
Abb. 3.10: Messwerte und Geschiebefracht-Durchfluss-Funktion für den Pegel Wittenberge	20
Abb. 3.11: Beispielhafte Darstellung des Strömungscharakters eines Gebietes: Summe der Teilflächen im Untersuchungsgebiet, die bei definierter Wassertiefe mit einer bestimmten Geschwindigkeit überströmt werden)	24
Abb. 4.1: Sohlintiefung im kalibrierten Modell am Ende des Berechnungszeitraums und beobachtete Eintiefung in der Natur (gleitende Schnitte)	28
Abb. 4.2: Wasserspiegeldifferenzen im Flussbett zwischen großer Deichvariante und Nullzustand aus langen 1D- und 2D-HN-Modellen bei HQ <sub>20-25</sub>	32
Abb. 4.3: Wasserspiegeldifferenzen im Flussbett zwischen großer Deichvariante und Nullzustand bei HQ <sub>2-3</sub> (2300 m <sup>3</sup> /s) für 1D- und 2D-HN-Modelle nur im Rückdeichungsnahbereich für gleiche Querprofile	32
Abb. 4.4: Vergleich der Durchflussanteile über dem rechten Vorland bei HQ <sub>2-3</sub> (2300 m <sup>3</sup> /s) für verschiedene Modelle und Varianten	33
Abb. 4.5: Anteile des rechten Vorlandes am Gesamtdurchfluss für El-km 481,9 im Vergleich verschiedener Modelle und Varianten	33
Abb. 4.6: Vergleich der Schlüsselkurven für ausgewählte Stationen aus 1D- und 2D-HN-Modellen für verschiedene Varianten	34
Abb. 5.1: Aufbau des Geländemodells auf Basis digitalisierter Höhenlinien; prinzipielle Darstellung	54
Abb. 5.2: Darstellung der Höhendifferenzen: digitalisierte Daten der topographischen Karte 1:10000 abzüglich der Daten der Stereobefliegung	55
Abb. 5.3: Darstellung der Höhendifferenzen: Laser-Scan-Daten abzüglich der Daten der Stereobefliegung	56
Abb. 5.4: Schema einer Flutmulde im 2D-Modell	58
Abb. 5.6: Einteilung der Bewuchszonen und Rauheitsbereiche in der Variante 33	59
Abb. 5.7: Längsschnitt des Wasserspiegels und der Wasserspiegeldifferenz im Flußschlauch bei verschiedenen Abflüssen	61
Abb. 5.8: Längsschnitt des Wasserspiegels und der Wasserspiegeldifferenz im Rückdeichungsbereich bei verschiedenen Abflüssen	62
Abb. 5.9: Wasserspiegellagen im Vorland in Abhängigkeit des Naß-Trocken-Verfahrens	64
Abb. 5.10: Durchflußganglinie des Hochwassers 23.7.1981 bis 12.8.1981 am Pegel Wittenberge (Tagesmittelwerte)	64
Abb. 5.11: Darstellung der Wasserspiegellage im Fluß und im Vorland und deren Differenz während der instationären Berechnung bei einem Abfluß von 1851 m <sup>3</sup> /s	65
Abb. 5.12: Wasserspiegelganglinie des Hochwassers (Juli - August 1981) an verschiedenen Punkten im Flußschlauch und im Rückdeichungsbereich	66
Abb. 6.1: Lageplan des AD-Modells „Erosionsstrecke“	69

Abb. 6.2:	Foto des Luftmodells „Erosionsstrecke“ (Gipsoberfläche, ohne Farbanstrich)	71
Abb. 6.3:	Sichtbarmachung der Sohlstromlinien mit Anstrichverfahren für Variante 1A (Deichrückverlegung)	72
Abb. 7.1:	Grundriss des Modellgebietes	74
Abb. 7.2:	Längsschnitt des Modellgebietes	75
Abb. 7.3:	Querprofil in Elbe-km 161,200	77
Abb. 7.4:	Blick auf das fertige Modell in Fließrichtung bei $Q = 183 \text{ m}^3/\text{s}$	78
Abb. 7.5:	Schlüsselkurve und Modellgeometrie in Elbe-km 164,000	80
Abb. 7.6:	Fixierungen für die Kalibrierung des unteren Abflußspektrums	81
Abb. 7.7:	Fixierungen für die Kalibrierung des oberen Abflußspektrums	81
Abb. 7.8:	Kalibrierung des Mittelwasserabflusses, $Q = 328 \text{ m}^3/\text{s}$	82
Abb. 7.9:	Kalibrierung des zweijährigen Hochwassers, $Q = 1\,220 \text{ m}^3/\text{s}$	83
Abb. 7.10:	Messprofile für Vielpunktmessungen im Modell	84
Abb. 7.11:	Vielpunktmessungen im Krümmungsscheitel der Linkskrümmung bei unterschiedlichen Abflüssen	85
Abb. 7.12:	Mittlere Fließgeschwindigkeiten und entsprechende Abflußflächen des Istzustandes	86
Abb. 7.13:	Tracerdosierung in Betrieb	87
Abb. 7.14:	Tracerband bei Mittelwasser	88
Abb. 7.15:	Tracerband für verschiedene Abflüsse in der Linkskrümmung	89
Abb. 7.16:	Tracer im Übergang bei Elbe-km 162,200, Mittelwasser	89
Abb. 7.17:	Benötigte Volumina für den Kolkverbau im Untersuchungsgebiet	92
Abb. 7.18:	Diagonalschwellen	92
Abb. 7.19:	Absenkung der Bühnen	93
Abb. 7.20:	Schematische Darstellung der Vorlandvariante	94
Abb. 7.21:	Wasserspiegellagenänderung durch den Kolkverbau auf GIW-2,4 m	95
Abb. 7.22:	Veränderung der Geschwindigkeitsverteilung im Querschnitt	96

## Tabellenverzeichnis

## Seite

Tab. 1.1:	Übersicht der eingesetzten Modellarten einschließlich der Modellziele	3
Tab. 2.1:	Gesamtübersicht der Modelle in Erosionsstrecke und Rückdeichungsbereich Lenzen	4
Tab. 2.2:	Modelle für die Untersuchungen in der Erosionsstrecke der Elbe	6
Tab. 2.3:	Modelle für die Untersuchungen im Rückdeichungsbereich	6
Tab. 3.1:	Hauptwerte der Jahresreihe 1951-95 für den Pegel Wittenberg (501420)	8
Tab. 3.2:	Hauptwerte der Jahresreihe 1951-95 für den Pegel Wittenberge (5030500) <sup>1</sup>	8
Tab. 3.3:	Durchflüsse bestimmter Jährlichkeiten für die Jahresreihe 1951/90 <sup>1</sup>	8
Tab. 3.4:	Vergleich von Wasserspiegel und mittleren Geschwindigkeiten im Flussbett	13
Tab. 3.5:	Durchfluss bei Geschiebebewegungsbeginn in den Untersuchungsräumen	14
Tab. 3.6:	Kennwerte für Wittenberg	21
Tab. 3.7:	Kennwerte für Wittenberge	21
Tab. 3.8:	Liste der jeweiligen Anteile an der Gesamtfläche (12,3 km <sup>2</sup> ), die bei definierter Fließtiefe mit bestimmter Geschwindigkeit überströmt werden	25
Tab. 4.1:	Übersicht aller bisher untersuchter Varianten	30
Tab. 5.1:	Umverteilung des Abflusses quer zur Referenzlinie	44

---

Tab. 5.2:	Abflußflächen entlang der Referenzlinie	45
Tab. 5.3:	Charakterisierung der Bewuchsflächen im Lenzener Rückdeichungsbereich anhand des mittleren Abstands und Durchmessers der Pflanzen	59
Tab. 5.4:	Zusammenstellung der maximalen Wasserspiegeldifferenzen zwischen dem Nullzustand, Variante 19a und Variante 33 entlang zweier Längsschnitte im Flußschlauch und im Rückdeichungsbereich	60
Tab. 7.1:	Fixierungen mit Abflüssen in Natur und Modell (Pegel Torgau)	79
Tab. 7.2:	Hochwasser verschiedener Jährlichkeiten der Jahresreihe 1936/95	79
Tab. 7.3:	Mittlere Fließgeschwindigkeiten des Istzustandes	87

---

## Anlagenverzeichnis

<b>1</b>	<b>Zwischenbericht: Finanzierung</b>
<b>5.1</b>	<b>Zweidimensionales hydraulisch-numerisches Modell in der Erosionsstrecke</b>
5.1.1	Modell in der Erosionsstrecke bei Klöden El-km 182 – 194
5.1.2	Höhenlinien und Profile
5.1.3	Höhen-Farb-Darstellung der Modelltopographie
5.1.4	Schlüsselkurve bei Mauken
5.1.5	Rauheitsverteilung im Modell
5.1.6	a) Geländehöhen b) Geländeschnitt und Wasserspiegel entlang der Referenzlinie (Variante Flutmulde bei MHQ)
5.1.7	Wasserspiegellagen (Variante Flutmulde bei MHQ) a) Wasserspiegellage V0 b) Wasserspiegellage VF c) Wasserspiegeldifferenzen VF - V0
5.1.8	Strömungsgeschwindigkeiten (Variante Flutmulde bei MHQ) a) Strömungsgeschwindigkeiten V0 b) Strömungsgeschwindigkeiten VF c) Strömungsgeschwindigkeiten VF - V0
5.1.9	a) Wasserspiegellagen entlang der Flussachse b) Differenz der Wasserspiegellagen entlang der Flussachse c) Strömungsgeschwindigkeiten und Differenz der Strömungsgeschwindigkeiten entlang der Flussachse (Variante Flutmulde bei MHQ)
5.1.10	Wasserspiegellagen und Differenzdarstellung der Wasserspiegellagen a) Wasserspiegeldifferenzen VF - V0 b) Wasserspiegellage entlang der Flußachse c) Wasserspiegellage und Sohlage entlang der Flutmulde und des Altarms (Variante Flutmulde bei MHQ)
5.1.11	a) Wassertiefen nach Einbau der Flutmulde b) Strömungsgeschwindigkeiten entlang der Referenzlinie c) Abfluss entlang der Referenzlinie d) Schubspannungsgeschwindigkeit entlang der Referenzlinie (Variante Flutmulde bei MHQ)
5.1.12	a) Geländehöhen b) Geländeschnitt und Wasserspiegel entlang der Referenzlinie (Variante Flutmulde bei HQ <sub>5</sub> )
5.1.13	Wasserspiegellagen (Variante Flutmulde bei HQ <sub>5</sub> ) a) Wasserspiegellage V0 b) Wasserspiegellage VF c) Wasserspiegeldifferenzen VF - V0
5.1.14	Strömungsgeschwindigkeiten (Variante Flutmulde bei HQ <sub>5</sub> ) a) Strömungsgeschwindigkeiten V0 b) Strömungsgeschwindigkeiten VF c) Strömungsgeschwindigkeiten VF - V0

- 5.1.15
  - a) Wasserspiegellagen entlang der Flussachse
  - b) Differenz der Wasserspiegellagen entlang der Flussachse
  - c) Strömungsgeschwindigkeiten und Differenz der Strömungsgeschwindigkeiten entlang der Flussachse (Variante Flutmulde bei HQ<sub>5</sub>)
- 5.1.16
  - Wasserspiegellagen und Differenzdarstellung der Wasserspiegellagen
  - a) Wasserspiegeldifferenzen VF - V0
  - b) Wasserspiegellage entlang der Flußachse
  - c) Wasserspiegellage und Sohlage entlang der Flutmulde und des Altarm (Variante Flutmulde bei HQ<sub>5</sub>)
- 5.1.17
  - a) Wassertiefen nach Einbau der Flutmulde
  - b) Strömungsgeschwindigkeiten entlang der Referenzlinie
  - c) Abfluss entlang der Referenzlinie
  - d) Schubspannungsgeschwindigkeit entlang der Referenzlinie (Variante Flutmulde bei HQ<sub>5</sub>)
- 5.1.18
  - a) Differenzen der Wasserspiegellagen entlang der Flußachse
  - b) Differenzen der Strömungsgeschwindigkeiten entlang der Flußachse (Variante Flutmulde bei MHQ und HQ<sub>5</sub>)
- 5.1.19
  - a) Geländehöhen
  - b) Geländeschnitt und Wasserspiegel entlang der Referenzlinie b
  - c) Geländeschnitt und Wasserspiegel entlang der Referenzlinie c (Variante Rückdeichung bei MHQ)
- 5.1.20
  - Wasserspiegellagen (Variante Rückdeichung bei MHQ)
  - a) Wasserspiegellage V0
  - b) Wasserspiegellage VR
  - c) Wasserspiegeldifferenzen VR - V0
- 5.1.21
  - Strömungsgeschwindigkeiten (Variante Rückdeichung bei MHQ)
  - a) Strömungsgeschwindigkeiten V0
  - b) Strömungsgeschwindigkeiten VR
  - c) Strömungsgeschwindigkeiten VR - V0
- 5.1.22
  - Detaildarstellung des Strömungsfeldes bei El-km 190 (Variante Rückdeichung bei MHQ)
- 5.1.23
  - a) Wasserspiegellagen entlang der Flussachse
  - b) Differenz der Wasserspiegellagen entlang der Flussachse
  - c) Strömungsgeschwindigkeiten und Differenz der Strömungsgeschwindigkeiten entlang der Flussachse (Variante Rückdeichung bei MHQ)
- 5.1.24
  - Abfluß entlang der Referenzlinie c für Rückdeichungsvariante (VR) und Null-Variante (V0) bei MHQ
- 5.1.25
  - Strömungsgeschwindigkeiten entlang der Referenzlinie c für Rückdeichungsvariante (VR) und Null-Variante (V0) bei MHQ
- 5.1.26
  - Abfluß entlang der Referenzlinie b für Rückdeichungsvariante (VR) und Null-Variante (V0) bei MHQ
- 5.1.27
  - Strömungsgeschwindigkeiten entlang der Referenzlinie b für Rückdeichungsvariante (VR) und Null-Variante (V0) bei MHQ
- 5.2 Zweidimensionales hydraulisch-numerisches Modell der Rückdeichung bei Lenzen El-km 475 – 485,5**
- 5.2.1
  - Lageplan
- 5.2.2
  - Variante 33 Rückdeichungsbereich, HQ<sub>1-2</sub> (1500m<sup>3</sup>/s)
- 5.2.3
  - Variante 33 Rückdeichungsbereich, HQ<sub>3-5</sub> (2300m<sup>3</sup>/s)
- 5.2.4
  - Variante 33 Rückdeichungsbereich, HQ<sub>20-25</sub> (3250m<sup>3</sup>/s)
- 5.2.5
  - Variante 19a Rückdeichungsbereich, HQ<sub>3-5</sub> (2300m<sup>3</sup>/s)
- 5.2.6
  - Variante 33 Gesamtgebiet, HQ<sub>3-5</sub> (2300m<sup>3</sup>/s)

## 1 Zielstellung und Untersuchungsmethodik

Der vorliegende Zwischenbericht 1998 dokumentiert den Bearbeitungsstand zum 31.12.1998. Vorab werden hier knapp die wesentlichen Angaben zum Forschungsprojekt zusammengefasst.

Die Entwicklung der Strömungsverhältnisse und der Gestalt von Fluss und Aue stellen sich auf Grund unterschiedlicher Randbedingungen ein, die natürlich (u.a. Untergrund- und Gefälleverhältnisse, Talform und Flussgeometrie, Niederschlags- und Abflußverhältnisse im Einzugsgebiet) oder anthropogen bedingt sind. Die anthropogenen Eingriffe äußern sich sehr vielgestaltig und sind den unterschiedlichen Nutzungsanforderungen geschuldet, z.B.:

- Veränderung der Durchflussflächen (Eindeichung oder Ausdeichung) : Früher - Vergrößerung der durch den Fluss nicht beeinflussten Flächen mit dem Ziel land- und forstwirtschaftlicher Nutzung, zur Schaffung von Siedlungsflächen, Gewerbegebieten und Verkehrsflächen; heute - Vergrößerung der durch den Fluss beeinflussten Flächen zum Hochwasserschutz und aus ökologischen Gründen (Erhalt der auetypischen Flora und Fauna).
- Veränderung der Abflussanteile von Flussbett und Vorland durch Einbauten im Vorland , Veränderung der Vorlandvegetation, Änderung der Bauwerke (z.B. Buhnen) im Mittelwasserbett.

Die Auswirkungen anthropogener Eingriffe in das Vorland eines großen Fließgewässers, auf dessen Abflußverhalten, die Morphologie und deren Dynamik können derzeit nur unzureichend abgeschätzt werden.

Da an der Elbe in Zukunft aus unterschiedlichen Gründen Eingriffe im Bereich der Vorländer vorgesehen sind, werden im Rahmen des Forschungsprojektes mit verschiedenen physikalischen (gegenständlichen) und numerischen (mathematischen) Modellen unterschiedliche Szenarien des Umgangs mit dem Flußvorland analysiert, um hieraus optimierte Nutzungsvarianten ableiten zu können. Solche Szenarien sind u.a. Deichrückverlegungen zur Auenregenerierung, aus Hochwasserschutzgründen oder zur Erosionseindämmung, Veränderung der Vorlandvegetation zur Auwaldentwicklung sowie Vergrößerung des über die Vorländer abgeführten Durchflussanteils (Schaffung von Flutmulden, Abtragen von Uferrehnen zur Verringerung der Sohlenerosion im Mittelwasserbett). Die Eingriffe der genannten Szenarien haben großräumige Auswirkungen, weshalb bei der Untersuchung entsprechend große Flussabschnitte betrachtet werden müssen. Andererseits sind zur Abschätzung lokaler Eingriffsfolgen auch kleinskalige Untersuchungen mit Hilfe feiner auflösender Modelle erforderlich. Durch die Kopplung verschiedener Modelle unterschiedlicher Diskretisierung und Abstraktionsgrade (s. Tab. 1.1) sollen Methoden zur effektiven Untersuchung von Eingriffsfolgen für großräumige Untersuchungsgebiete ermittelt werden.

Im Rahmen des Forschungsprojektes werden zwei Elbeabschnitte unterschiedlicher Charakteristik näher betrachtet (s. Abb. 1.1). In der sog. Erosionsstrecke der Elbe (ca. Elbe-km 120 bis 230) zwischen etwa Mühlberg und Wittenberg kommt es auch aktuell und großräumig zu Sohleneintiefungen. Gegenmaßnahmen werden im Auftrag der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung in deren Zuständigkeitsbereich (Mittelwasserbett) bereits intensiv untersucht. Möglichkeiten zur Minderung der Erosion durch gleichzeitige Veränderungen im Vorland (u.a. Berücksichtigung der vom Staatlichen Amt für Umweltschutz - STAU - Dessau/Wittenberg vorgeschlagene Deichrückverlegung) und deren Auswirkungen auf Strömungs- und Feststofftransportverhältnisse werden innerhalb des Forschungsprojektes untersucht.

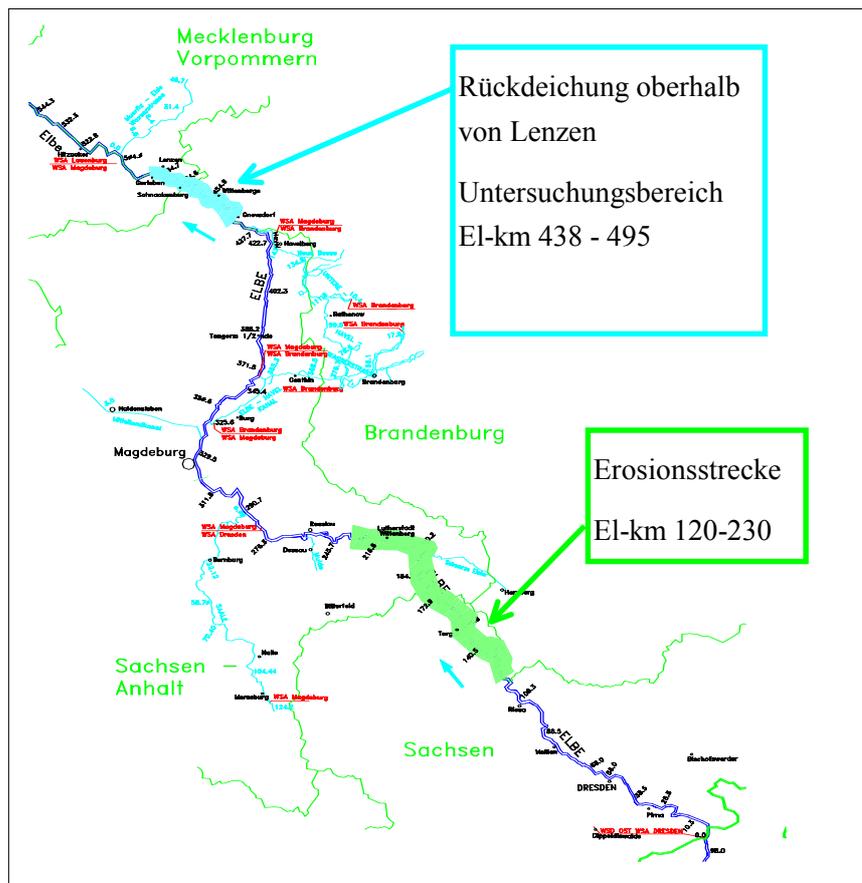


Abb. 1.1: Übersicht der Untersuchungsabschnitte

Oberhalb von Lenzen ist eine Deichrückverlegung zur Auwaldentwicklung geplant. Um die weiträumigen Eingriffsfolgen analysieren zu können, umfaßt das Untersuchungsgebiet für einige Modellarten den Bereich von der Havelmündung (Gnevsvdorf) bis Gorleben (Elbe-km 438 bis 495). Diese Elbestrecke ist durch starken Feststofftransport mit Bildung von Transportkörpern (wandernde Unterwasserdünen) bei nahezu konstanter mittlerer Sohlenhöhe gekennzeichnet (morphodynamisches Gleichgewicht).

Die zu untersuchenden Maßnahmen zielen auf die Entwicklung einer höheren Dynamik und naturnäherer Verhältnisse in der Aue. Trotz der angestrebten Naturnähe können Zielkonflik-

te nicht nur bezüglich der unterschiedlichen Nutzungsformen, sondern auch bezüglich des Arten-, Biotop- und Landschaftsschutzes auftreten. Zur Klärung dieser Zielkonflikte werden im Zuge dieses Projektes Analyse- und Prognoseinstrumente für die abiotischen Parameter (z.B. Wasserstände, Fließgeschwindigkeiten, Sohlenlagen, Feststofftransportgrößen) eingesetzt. Aufbauend auf den so gewonnenen Erkenntnissen können Eingriffsfolgen dann an praxisrelevanten Szenarien auch hinsichtlich der Auswirkungen auf die Biologie bewertet werden.

	Modellart	Ziel der Untersuchungen
<b>Mathematische Modelle</b>	<b>1</b> Eindimensional- hydronumerisch, stationär, mit fester Sohle	Berechnung von stationären Wasserspiegellagen und über Breite und Tiefe gemittelten Strömungsparametern auch für lange Untersuchungsabschnitte
	<b>2</b> Eindimensional- hydronumerisch Instationär, mit fester Sohle	Berechnung des Wellenablaufs hauptsächlich für lange Untersuchungsabschnitte (auch mit 2D-Zellen)
	<b>3</b> Eindimensional- hydronumerisch, quasistationär, Feststofftransport	Berechnung der langfristigen Veränderung von Wasserspiegel- und Sohlenlagen sowie über Breite und Tiefe gemittelter Strömungsparameter für lange Untersuchungsabschnitte und Zeiträume
	<b>4</b> Zweidimensional- hydronumerisch, stationär und instationär mit fester Sohle	Berechnung der flächenhaften Verteilung der Wasserspiegellagen und tiefengemittelter Strömungsparameter für einen mittelgroßen Flussabschnitt
<b>Gegenständliche Modelle</b>	<b>5</b> Aerodynamisch, stationär mit fester Sohle	Erhebung räumlicher Strömungsparameter für einen mittelgroßen Flussabschnitt
	<b>6</b> Hydraulisch mit fester Sohle, stationär	Erhebung räumlicher, stark aufgelöster Strömungsparameter für einen kleinen Flussabschnitt, Berücksichtigung morphologischer Veränderungen durch Tracergeschiebe (keine voll bewegliche Sohle)

Tab. 1.1: Übersicht der eingesetzten Modellarten einschließlich der Modellziele

## 2 Struktur des Forschungsprojektes, Bearbeiter und Bearbeitungsstand im Überblick

Entsprechend der Strukturierung des Forschungsprojektes hinsichtlich der Untersuchungen in zwei Elbeabschnitten und mit Hilfe verschiedener Modellmethoden sind in Tab. 1.1 und Tab. 2.1 die Modellart und -ausdehnung aller betriebener Modelle und in Tab. 2.2 und Tab. 2.3 eine Übersicht über die Einzelmodelle und deren Bearbeitungsstand zu entnehmen. Da die BAW mit Auftragsarbeiten für die Wasser- und Schifffahrtsverwaltung (WSV) - haupt-

sächlich in der Erosionsstrecke - bzw. das Landesumweltamt (LUA) Brandenburg (Rückdeichung Lenzen [BAW, 1997a]) erhebliche Vor- und Eigenleistungen (zusätzlicher Förderanteil des BMVBW ebenfalls 490 000,- DM) erbringt sowie der Stand der Arbeiten erst aus allen Untersuchungsanteilen ersichtlich wird, sind in den Tabellen die entsprechenden Eigenleistungen mit aufgeführt. Als Literaturquellen sind bereits verfügbare Gutachten der BAW bzw. Diplomarbeiten an der BAW aufgelistet. Einen wesentlichen Anteil der Arbeiten umfasst die methoden- und gebietsübergreifende Auswertung der Ergebnisse.

	Modellart	Erosionsstrecke	Rückdeichung Lenzen
1	1D-HN stationär, mit fester Sohle	Untersuchungen an Einzelmodellen und einem Gesamtmodell EI-km 120-235,6	Untersuchungen am Modell km 438-495, Vergleichende Auswertung mit anderen Modellen
2	1D-HN instationär, mit fester Sohle	nicht vorgesehen	Untersuchungen an einem Modell EI-km 438-495
3	1D-HN, quasistationär, Feststofftransport	Untersuchungen an einem Teilmodell EI-km 140-163, ggf. weitere Teilmodelle (km 150-174 oder 163-197), Untersuchungen am Gesamtmodell km 120-235,6	Aufnahme und Überarbeitung des bestehenden Modells [Hack, 1996] für weitere Untersuchungen und Auswertungen im Bereich km 438-495
4	2D-HN, stationär und instationär mit fester Sohle	Erstellung des Modells für EI-km 182-194 und Untersuchung	Betrieb und Vervollkommnung des bestehenden Modells km 475-485,5; Untersuchung weiterer „ökologischer“ Varianten, Verfeinerung des Geländemodells, intensive Auswertung bereits gerechneter Varianten bezüglich der „ökologischen“ Fragestellungen
5	Aerodynamisch, stationär	Erstellung des Modells für EI-km 187-191 und Untersuchung	Untersuchung neuer Varianten am bestehenden Modell km 474,2-484,1 und intensive vergleichende Auswertung der bereits untersuchten Varianten
6	Hydraulisch mit fester Sohle, stationär	Erstellung des Modells für EI-km 160-164 und Untersuchung	Nicht vorgesehen

**Tab. 2.1: Gesamtübersicht der Modelle in Erosionsstrecke und Rückdeichungsbereich Lenzen**

Folgende Bearbeiter sind im Forschungsprojekt tätig:

Dr.-Ing. Witte, Hans-Heinrich, Stellvertretender Leiter der BAW, Abteilungsleiter Wasserbau, Hydraulik; LBDiR., Projektleitung

BAW, 76 187 Karlsruhe, Kußmaulstr. 17, Tel.: 0721/97 26-3010, Fax.: 0721/97 26-4540;  
E-Mail: hans-heinrich.witte@baw.de

Dipl.-Ing. Faulhaber, Petra, Referat Flusssysteme 2,

BAW, 76 187 Karlsruhe, Kußmaulstr. 17, Tel.: 0721/97 26-2630, Fax.: 0721/97 26-4540;  
E-Mail: faulhaber@baw.de

Arbeitsgebiete: Flussbau (numerische und experimentelle Modellierung), Projektkoordinierung

#### **Teilprojekte:**

Dipl.-Ing. Alexy, Matthias,

Referat Flusssysteme 2; BOR

BAW, 76 187 Karlsruhe, Kußmaulstr. 17, Tel.: 0721/97 26-2650, Fax.: 0721/97 26-4540,  
E-Mail: alexy@baw.de

Arbeitsgebiete: Morphologie (Feststofftransportmodellierung)

Dipl.-Ing. Glander, Boris

Referat Flusssysteme 2, wissenschaftlicher Mitarbeiter

BAW, 76 187 Karlsruhe, Kußmaulstr. 17, Tel.: 0721/97 26-2580, Fax.: 0721/97 26-4540;  
E-Mail: boris.glander@baw.de

Arbeitsgebiet: Flussbau (numerische Modellierung)

Hauptarbeitsgebiet im Projekt: Zweidimensionales hydraulisch-numerisches Modell innerhalb der Erosionsstrecke der Elbe

Dipl.-Ing. Bleyel, Birgit

Referat Flusssysteme 2, technische Mitarbeiterin

BAW, 76 187 Karlsruhe, Kußmaulstr. 17, Tel.: 0721/97 26-2390, Fax.: 0721/97 26-4540;  
E-Mail: birgit.bleyel@baw.de

Arbeitsgebiet: Flussbau (numerische Modellierung)

Im Projekt: Zweidimensionales hydraulisch-numerisches Modell im Bereich der Rückdeichung Lenzen

Dipl.-Ing. Gocht, Martin

Referat Flusssysteme 2, technischer Mitarbeiter

BAW, Außenstelle Berlin, 10 328 Berlin, Köpenicker Alle 153; Tel.: 030/509 08 31;  
Fax.: 030/509 02 84, E-Mail: karlshorst@berlin.baw.de

Arbeitsgebiete: Flussbau (experimentelle Modellierung)

Im Projekt: Hydraulisches Modell innerhalb der Erosionsstrecke der Elbe

Die Arbeiten an den gegenständlichen Modellen werden auf dem Gebiet der Meßtechnik wesentlich durch Dipl.-Ing. (FH) Ralf Tüllner und Ing. Andreas Kieschnick geprägt.

Modellart		Eigenanteil (Vorleistung)	Arbeiten im Forschungsprojekt
1	1D-HN	Einzelmodelle vorhanden: EI-km 140-163 [ADAM, 1996], 140-185 [SINGH, 1996], 163-197 [BONNY, 1997], 220-235,6 [BAW, 1998a], Vergleich [REINPOLD, 1998], Zusammenstellung [Göbel, 1998] <b>Stand: Geometrievorbereitung 197-220 und 120 bis 140 und Erstellung eines Gesamtmodells km 120-235,6 läuft</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Betreiben der bestehenden Modelle für forschungsrelevante Fragestellungen,</li> <li>Erstellung und Betrieb eines Begleitmodells (ca. km 150-174) zum hydraulischen Modell</li> </ul> <b>Stand: Untersuchungen laufen (Ergebnisse werden im Bericht 1999 zusammengestellt)</b>
2	1D-HN instat.	nicht vorgesehen	
3	1D-HN, FTM	vorhanden EI-km 140-163, Geschiebezugabe und Bauwerksänderungen im Mittelwasserbett wurden gerechnet [BAW, 1997b], [BAW, 1998b]), [ALEXY, 1998] <b>Stand: Vorbereitung für Gesamtmodell s. Modellart 1 (km 120-235,6) läuft</b>	a) Varianten mit Veränderungen im Vorland, b) Teilmodell 168-197 [Bonny, 1997] c) Erstellung und Betrieb eines Begleitmodells (ca. km 150-174) zum hydraulischen Modell <b>Stand: Für a) und c) laufen die Untersuchungen, b) Kalibrierung abgeschlossen, Untersuchungen stehen noch aus (s. Kap. 4.1)</b>
4	2D-HN	Geometriaufbereitungen aus 1D-HN	Modellerstellung und Untersuchung <b>Stand: 12/98 Rechenmodell EI-km 182-194 fertiggestellt und zwei Varianten berechnet (s. Kap. 5.1)</b>
5	AD	Modellaufbau (km 187-191) und Kalibrierung, <b>Stand: Modellvorbereitung abgeschlossen, Modellaufbau beendet (s. Kap.6)</b>	Modelluntersuchungen beginnen 1999 durch Umsetzung des Modells von Berlin nach Karlsruhe verzögert
6	Hydr.	Modellaufbau (EI-km 160-164) [GOCHT, 1997] und Kalibrierung, Untersuchung von Varianten mit Veränderungen im Flußbett, <b>Stand: Modellaufbau 12/97 beendet, zwei Varianten im Flußbett bis 12/98 untersucht (s. Kap. 7)</b>	Modelluntersuchungen von Varianten mit Vorlandveränderung und kombiniert mit Veränderungen im Flußbett laufen <b>Stand: Variantenplanung abgeschlossen, Vorlandvarianten werden 1999 untersucht (s. Kap. 7)</b>

**Tab. 2.2: Modelle für die Untersuchungen in der Erosionsstrecke der Elbe**

Modellart		Eigenanteil (Vorleistung)	Arbeiten im Forschungsprojekt [FAULHABER, 1998b]
1	1D-HN	Modellrechnungen abgeschlossen [BAW, 1997a], [FAULHABER, 1997]	<b>Stand: weitere Auswertung im Vergleich mit anderen Modellen läuft</b>
2	1D-HN instat.	[BAW, 1997a], [FAULHABER, 1997]	abgeschlossen [TSCHERNER, 1997] keine weitere Untersuchung
3	1D-HN, FTM	erste Modellrechnungen [HACK, 1996] im Rahmen [BAW, 1997a]	Keine weitere Bearbeitung
4	2D-HN	Modellaufbau und Variantenuntersuchung im Rahmen von [BAW, 1997a]	Verfeinerung des Geländemodells und Rechnung weiterer Varianten sowie detaillierte Auswertung bereits gerechneter Szenarien [BLEYEL, 1998] <b>Stand: 3 neue Varianten wurden gerechnet, Auswertungen und Vgl. Mit anderen Modellen laufen (s. Kap. 5.2 und 4.2)</b>
5	AD	Modellaufbau und Variantenuntersuchung im Rahmen von [BAW, 1997a]	Untersuchung weiterer Varianten ggf. mit Geschiebekoffer (bewegliche Sohle) <b>Stand: Untersuchungen ruhen, Geschiebekoffer wurde vorbereitet</b>
6	Hydr.	nicht vorgesehen	-

**Tab. 2.3: Modelle für die Untersuchungen im Rückdeichungsbereich**

Die Arbeiten im Bereich der Erosionsstrecke wurden mit der WSV und dem Staatlichen Amt für Umweltschutz (StAU) Dessau/Wittenberg sowie der Biosphärenreservatsverwaltung „Mittlere Elbe“ und weiteren kommunalen Behörden, im Bereich der Rückdeichung Lenzen mit der Naturparkverwaltung „Elbtalau“ bzw. mit der Projektleitung des Fördervorhabens der Landesanstalt für Großschutzgebiete (LAGS) Brandenburg (FKZ 0339571) abgestimmt.

Im Vergleich mit den Arbeits- und Zeitplanungen im Forschungsantrag treten Verschiebungen in der Reihenfolge der Modellbearbeitung auf, die keine Auswirkung auf die Realisierung des Gesamtprojektes haben. Die Finanzierung umfaßt die Personalkosten für die zwei für das Projekt eingestellten Bearbeiter:

Dipl.-Ing. Boris Glander, 3 Jahre, 01/97-12/99 (Höherer Dienst),

Dipl.-Ing. Martin Gocht, 2 Jahre, 08/97-07/99 (gehobener Dienst),

sowie Mittel für studentische Hilfskräfte und Verbrauchsmaterial. Der finanzielle Zwischenachweis ist Anl. 1 zu entnehmen.

### **3 Allgemeine Fragestellungen**

#### **3.1 Vergleich von ausufenden Durchflussereignissen in den unterschiedlichen Untersuchungsräumen**

Im Kap. 3.2 [BAW, 1998c] wurden einige prinzipielle Überlegungen zu untersuchungsrelevanten Durchflüssen und Besonderheiten der Untersuchungsräume dargelegt, die hier vervollständigt werden sollen. Es muss darauf hingewiesen werden, dass die hydrologischen Basisdaten auf derzeitigen Angaben hauptsächlich der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) basieren. Innerhalb der „Elbeökologie – Forschung“ beschäftigt man sich u.a. im Projekt „Morphodynamik der Elbe „ (FKZ 0339566) mit Untersuchungen zur Hydrologie. Durch Korrekturen der Basisdatensätze und andere Verfahren sind im Ergebnis dieser Untersuchungen bessere Grundlagendaten zu erwarten, die dann auch in die Bewertung der Untersuchungen dieses Projektes einfließen. Grundsätzliche Änderungen der Aussagen der hydraulisch-morphologischen Untersuchungen sind durch geänderte hydrologische Eingangsdaten nicht zu erwarten.

Q [m³/s]	Nov	Dez	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Wi	So	Jahr
<b>DAT</b>	1953	1953	1954	1954	1954	1974	1964	1954	1952	1952	1952	1992	1954	1952	1952
<b>NQ</b>	85,7	80,3	71	86,6	118	154	126	100	75,8	59,2	64	95,4	71	59,2	59,2
<b>MNQ</b>	205	229	267	289	324	368	270	220	177	164	167	179	189	138	<b>133</b>
<b>MQ</b>	264	357	413	439	507	540	394	324	294	245	217	235	420	285	<b>352</b>
<b>MHQ</b>	364	599	709	683	865	772	603	486	560	424	317	348	1150	928	<b>1321</b>
<b>HQ</b>	1180	2020	2560	1840	2310	2310	1970	2320	2470	1970	1210	1320	2560	2470	2560
<b>DAT</b>	1981	1974	1982	1967	1988	1988	1965	1965	1954	1977	1977	1981	1982	1954	1982

**Tab. 3.1: Hauptwerte der Jahresreihe 1951-95 für den Pegel Wittenberg (501420)<sup>1</sup>**

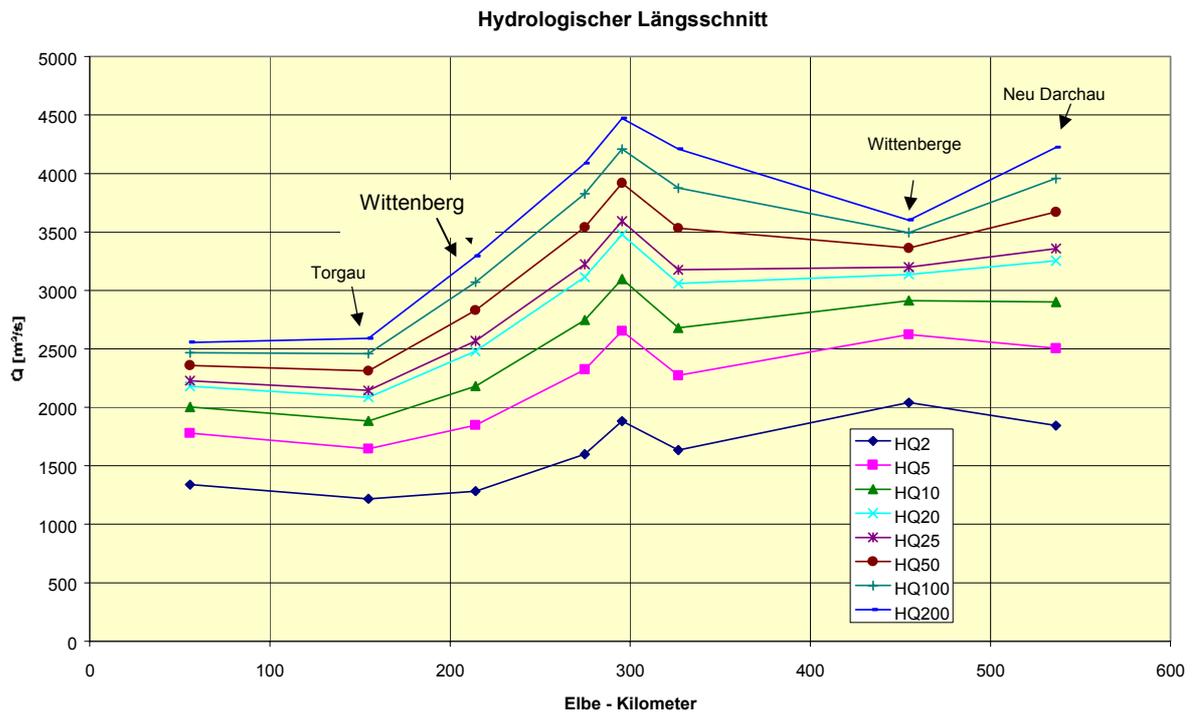
Q [m³/s]	Nov	Dez	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Wi	So	Jahr
<b>DAT</b>	1951	1953	1954	1963	1963	1974	1993	1964	1964	1952	1952	1953	1954	1952	1952
<b>NQ</b>	212	217	200	240	230	375	295	228	164	157	167	210	200	157	157
<b>MNQ</b>	451	504	611	669	710	812	598	488	384	360	365	389	420	308	<b>300</b>
<b>MQ</b>	553	699	859	911	993	1109	808	641	558	487	445	475	854	569	<b>711</b>
<b>MHQ</b>	705	985	1237	1205	1417	1397	1091	835	856	705	568	636	1791	1349	<b>1914</b>
<b>HQ</b>	1730	3040	2920	2360	3280	3250	2470	2460	3180	2090	1792	1690	3280	3180	3280
<b>DAT</b>	1981	1974	1975	1967	1981	1988	1970	1965	1954	1980	1977	1981	1981	1954	1981

**Tab. 3.2: Hauptwerte der Jahresreihe 1951-95 für den Pegel Wittenberge (5030500)<sup>1</sup>**

Q [m³/s]	HQ <sub>2</sub>	HQ <sub>5</sub>	HQ <sub>10</sub>	HQ <sub>20</sub>	HQ <sub>25</sub>	HQ <sub>50</sub>	HQ <sub>100</sub>	HQ <sub>200</sub>
<b>DRESDEN</b>	1339	1780	2004	2180	2228	2360	2468	2556
<b>TORGAU</b>	1219	1645	1884	2086	2145	2312	2460	2590
<b>WITTENBERG</b>	<b>1284</b>	<b>1847</b>	<b>2182</b>	<b>2479</b>	<b>2569</b>	<b>2830</b>	<b>3071</b>	<b>3292</b>
<b>AKEN</b>	1600	2324	2747	3114	3224	3540	3826	4086
<b>BARBY</b>	1883	2653	3097	3479	3592	3918	4209	4471
<b>MAGDEBURG-S.</b>	1635	2273	2680	3058	3176	3532	3876	4209
<b>WITTENBERGE</b>	<b>2040</b>	<b>2623</b>	<b>2913</b>	<b>3137</b>	<b>3198</b>	<b>3362</b>	<b>3495</b>	<b>3601</b>
<b>NEU DARCHAU</b>	1843	2505	2901	3253	3359	3670	3956	4222

**Tab. 3.3: Durchflüsse bestimmter Jährlichkeiten für die Jahresreihe 1951/90<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Angaben der BfG, Außenstelle Berlin, AB1



**Abb. 3.1: Hydrologischer Längsschnitt der Elbe (Jahresreihe 1951/90)<sup>1</sup>**

Die Benennung von ausfendenden Durchflüssen wird an dieser Stelle zum besseren Vergleich der Untersuchungsräume auf MHQ normiert. Bei diesen Betrachtungen war für Wittenberg vom MHQ 1951/90 = 1350 m<sup>3</sup>/s und für Wittenberge vom MHQ 1931/90 = 1910 m<sup>3</sup>/s ausgegangen worden. In beiden Untersuchungsräumen entspricht das MHQ etwa dem zweijährlichen, das 1,5fache MHQ etwa einem 10 jährlichen, das zweifache MHQ etwa einem 25 bis 50jährigen Hochwasser des hydrologischen Abflussjahres. Die Werte bei Wittenberge fallen bei Betrachtung des hydrologischen Längsschnittes (s. Abb. 3.1) heraus, was einerseits auf Speicherkapazitäten im Nahbereich des Pegels (z.B. Havelniederung) aber andererseits auch auf mangelhafte Schlüsselkurven<sup>A2</sup> im Durchflussbereich größerer Hochwasser zurückzuführen ist. Für die Annahme fehlerhafter Wasserstands-Durchflussbeziehungen im Bereich seltener Ereignisse (keine Durchflussmessungen vorhanden) spricht die Tatsache, dass trotz geringer Einzel- und Gebietszuflüsse zwischen Wittenberge und Neu Darchau, für Durchflüsse größer HQ<sub>50</sub> zwischen Wittenberge und Neu Darchau ein starker Durchflussanstieg zu verzeichnen ist.

<sup>2</sup> Erläuterungen der Endnoten finden sich am Ende des Berichtes im Glossar

Durchflussanteile beider Vorländer für Erosionsstrecke und Lenzen normiert auf MHQ

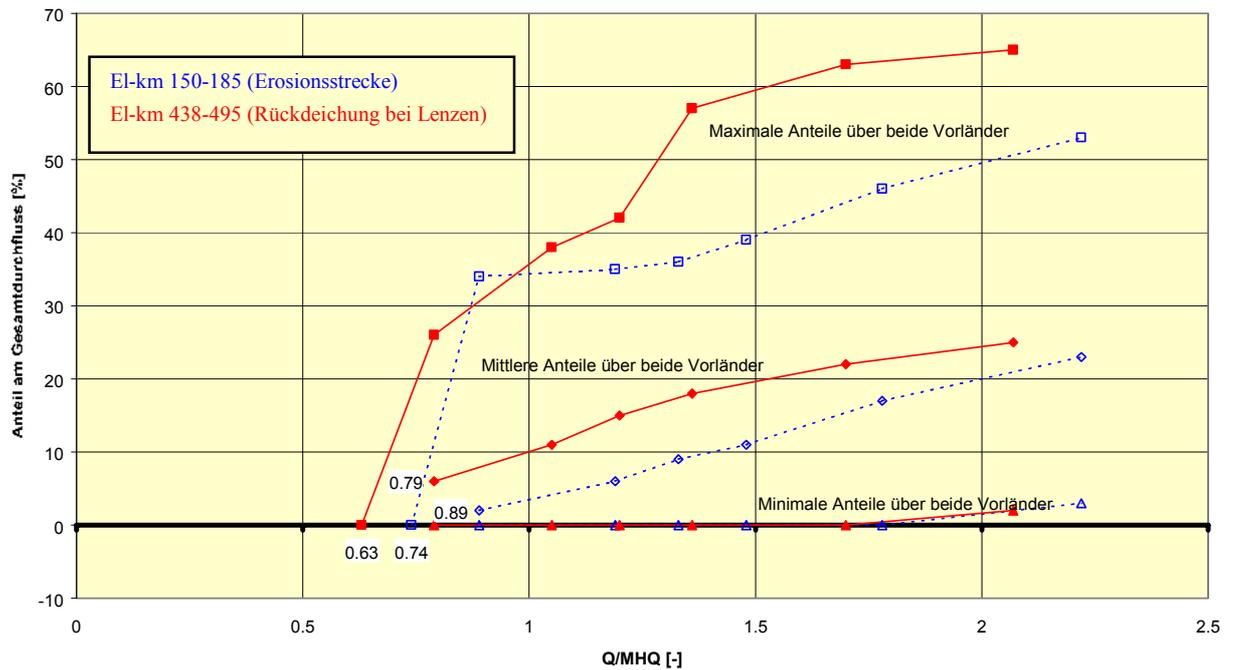


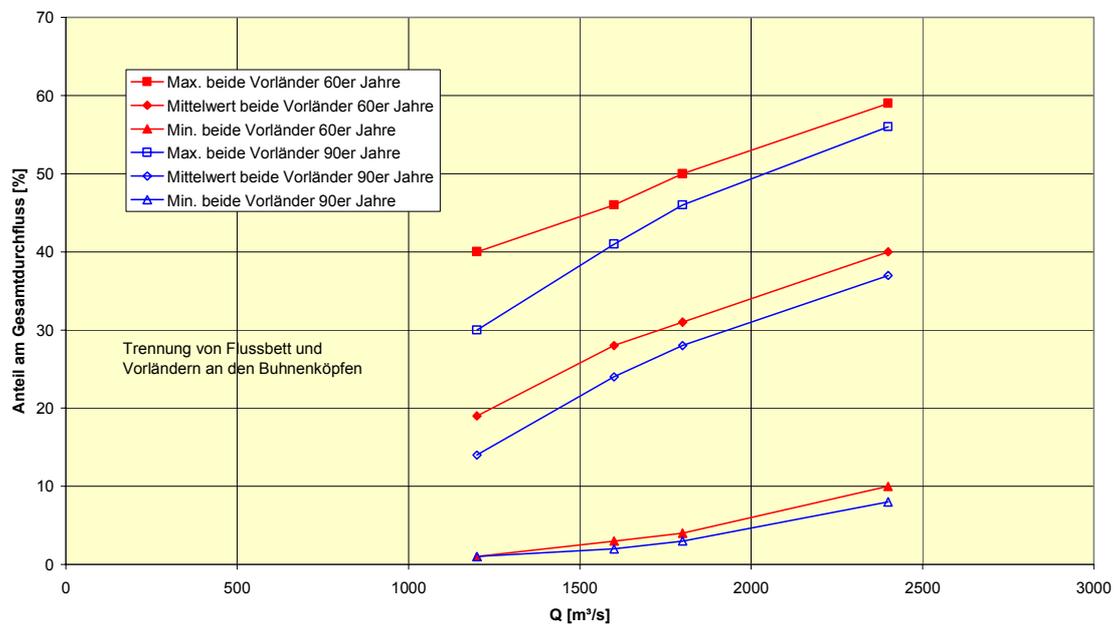
Abb. 3.2: Vergleich der Anteile der Vorländer am Gesamtdurchfluss im Querschnitt

Für die Vergleiche der über die Vorländer abgeführten Durchflussanteile in beiden Untersuchungsräumen (s. Abb. 3.2) wurde die Trennung zwischen Flussbett und Vorländern im Bereich der Ufer des Mittelwasserbettes<sup>B</sup> vorgenommen. Die Angaben entstammen Neuberechnungen mit bestehenden eindimensionalen hydronumerischen Modellen ([BONNY, 1997], [HACK, 1996], [SINGH, 1996]).

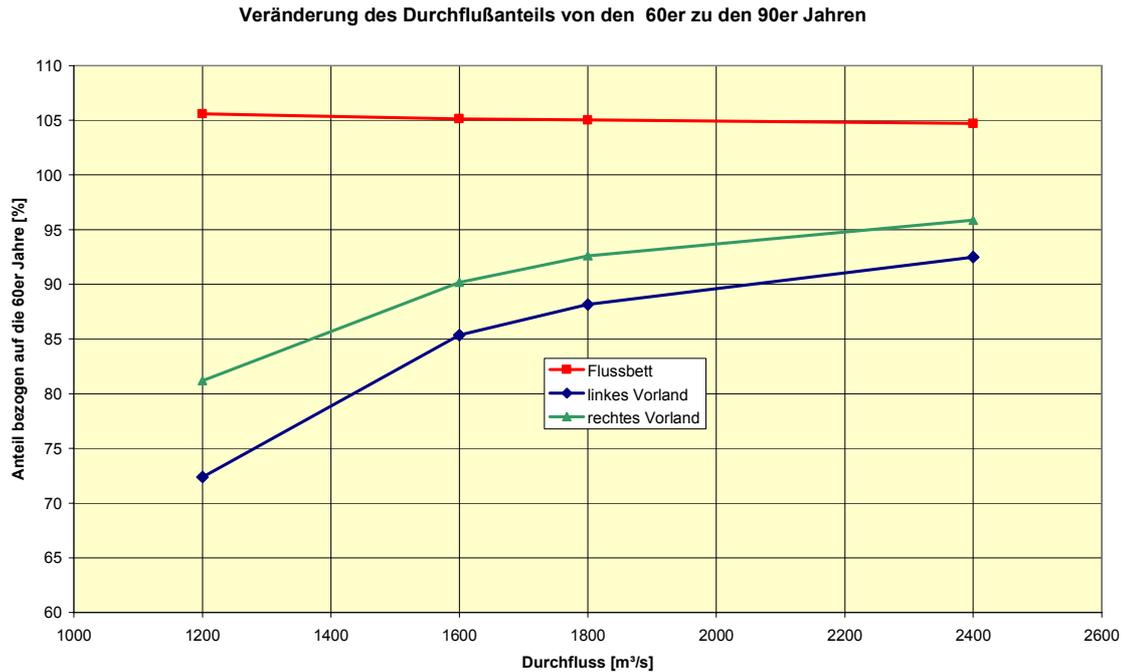
Es ist festzustellen, dass in beiden Untersuchungsräumen Bereiche ohne Vorländer (scharf liegende Deiche) auftreten. Allerdings sind in der Erosionsstrecke die Durchflussanteile der Vorländer geringer als in der Strecke um Lenzen. So werden bei dem 1,5-fachen MHQ in der Erosionsstrecke im Mittel etwa 10% (maximal 40%) und bei Lenzen im Mittel etwa 20% (maximal 60%) des Gesamtabflusses über die Vorländer abgeführt. Das lässt darauf schließen, dass in der Erosionsstrecke die fortschreitende Eintiefung der Sohle im Mittelwasserbett bei stationärer Betrachtung (trotz gleichbleibender Charakteristik der in das Gebiet einlaufenden Wellen) zu einer deutlichen Veränderung der Abflussverhältnisse auch bei Hochwasser geführt hat. Angaben zur Sohleneintiefung seit den 60er Jahren finden sich in Abb. 9 [BAW, 1998c] (s. auch [FAULHABER, 1998a]). Die Sohle hat sich im Abschnitt des Modells El-km 163 bis 197 in 30 Jahren im Mittel 40-60 cm eingetieft.

Die Tatsache, dass durch die Eintiefung der Flusssohle größere Durchflussanteile im Bett zusammengefasst werden und es immer später zur Ausuferung kommt, wird auch durch einen Vergleich der Strömungsverhältnisse für die 60er und 90er Jahren in der Erosionsstrecke belegt (s. Abb. 3.3 und Abb. 3.4). In den Modellen werden die Vorlandgeometrien für

beide Zeiträume als konstant angenommen (keine Berücksichtigung z.B. ggf. auftretender Auflandungen oder Nutzungsänderungen), während die Flusssohle im Bereich der beweglichen Sohle entsprechend der ermittelten Sohlenveränderungen modifiziert wurde. Im vorliegenden Vergleich innerhalb der Erosionsstrecke wurde die Trennung zwischen Vorland und Flussbett an der Streichlinie<sup>C</sup> (Bühnenköpfe) vorgenommen. Die so ermittelten Vorlandanteile am Gesamtdurchfluss haben in den 90er Jahren um 10 bis 30% gegenüber den 60er Jahren abgenommen. Die größten Veränderungen sind dabei für die biologisch relevanten Hochwasserdurchflüsse mit geringerer Jährlichkeit zu verzeichnen. So betrug in den 60er Jahren der (ab Bühnenkopf und damit ohne Einzelausweisung der Anteile von tatsächlichem Vorland und Bereich über Bühnenrücken ermittelte) Vorlandanteil am Gesamtdurchfluss im Mittel 19 bis 40% (maximal 40-59%) während er in den 90er Jahren auf 14 bis 37% im Mittel (maximal 30-56%) abgesunken ist.



**Abb. 3.3: Veränderung der Vorlandanteile am Gesamtdurchfluss zwischen 60er und 90er Jahren (El-km 163-197)**



**Abb. 3.4: Veränderung der mittleren Durchflussanteile für El-km 163 bis 197 von Flussbett und Vorländern zwischen 60er und 90er Jahren (60er Jahre = 100%)**

Die Verringerung der Durchflussanteile der Vorländer geht einher mit einer Verringerung der Wasserspiegelhöhen für konstante Durchflüsse. Der Wasserspiegel folgt bei kleinen Durchflüssen nahezu der Sohle, d.h. Sohleintiefungen wirken sich bei geringen Durchflüssen am stärksten aus. Die Wirkung der Sohleintiefung nimmt mit steigendem Durchfluss ab, führt aber bei biologisch relevanten kleinen Hochwassern noch zur Verringerung der Wassertiefe um 1 bis 2 dm (s. Tab. 3.4) in 30 Jahren.

Die Verringerung der Durchflussanteile der Vorländer ist einerseits unter biologischen Aspekten von Nachteil, andererseits hat sie auch zur Folge, dass der Strömungsangriff auf die Sohle im Mittelwasserbett verstärkt wird. So erhöhte sich die mittlere Geschwindigkeit im Flussbett (innerhalb der Streichlinie) bei  $Q = 1200 \text{ m}^3/\text{s}$  in den 90er Jahren um 3% gegenüber den 60er Jahren (s. Tab. 3.4).

Q [m³/s]	1200	1600	1800	2400
Wasserspiegel 90er – 60er Jahre [cm]				
Mittel	-16	-10	-9	-7
Minimum	-12	-7	-7	0
Maximum	-28	-15	-12	-10
Mittlere Geschwindigkeiten 90erJahre/60er Jahre [%]				
Mittel	103	102	102	101
Minimum	97	98	98	99
Maximum	121	110	106	104

**Tab. 3.4: Vergleich von Wasserspiegel und mittleren Geschwindigkeiten im Flussbett**

### 3.2 Bettbildende Durchflüsse

In verschiedensten Untersuchungen entlang der Elbe wurden wiederholt Angaben zum Durchfluss bei Geschiebebewegungsbeginn und darüber hinaus zu den für die Bettbildung relevanten Durchflussereignissen abgeleitet.

Beispielhaft wird hier für die Kennzeichnung des Geschiebebewegungsbeginnes eine Darstellung von GLAZIK in [BAW, 1996c] angeführt. Nach dieser Darstellung ergibt sich für Torgau (El-km 154) nach SCHOCKLITSCH<sup>3</sup> ein  $Q_0 = 315 \text{ m}^3/\text{s}$  und für Wittenberg (hier El-km 222,5) ein  $Q_0 = 42 \text{ m}^3/\text{s}$ . Zum Vergleich wurde in Tab. 3.5 für die Untersuchungsräume an Hand von Mittelwerten der Durchfluss bei Geschiebebewegungsbeginn nach SCHOCKLITSCH<sup>3</sup> (als maßgebender Korndurchmesser wurde  $d_{50}$  eingesetzt) ermittelt. In den im Forschungsprojekt genutzten Feststofftransportmodellen (HEC-6) werden die Parameter zum Geschiebebewegungsbeginn für jede Kornfraktion exakt mit speziell implementierten Verfahren ermittelt. Die hier angeführten überschlägigen Werte sollen lediglich die bekannte Tatsache verdeutlichen, dass am Beginn der Erosionsstrecke hauptsächlich eine grobkornangereicherte bis abgeplasterte Sohle ansteht (s. [BfG, 1994]), wodurch erst ab Durchflüssen deutlich über MQ (s. Tab. 3.1 und Tab. 3.2) mit einem nennenswerten Geschiebetransport des anstehenden Materials zu rechnen ist. Am Ende der Erosionsstrecke ist selbst bei niedrigen Durchflüssen die Sohle in Bewegung, was auch auf den Abschnitt bei Wittenberge (Rückdeichung Lenzen) zutrifft.

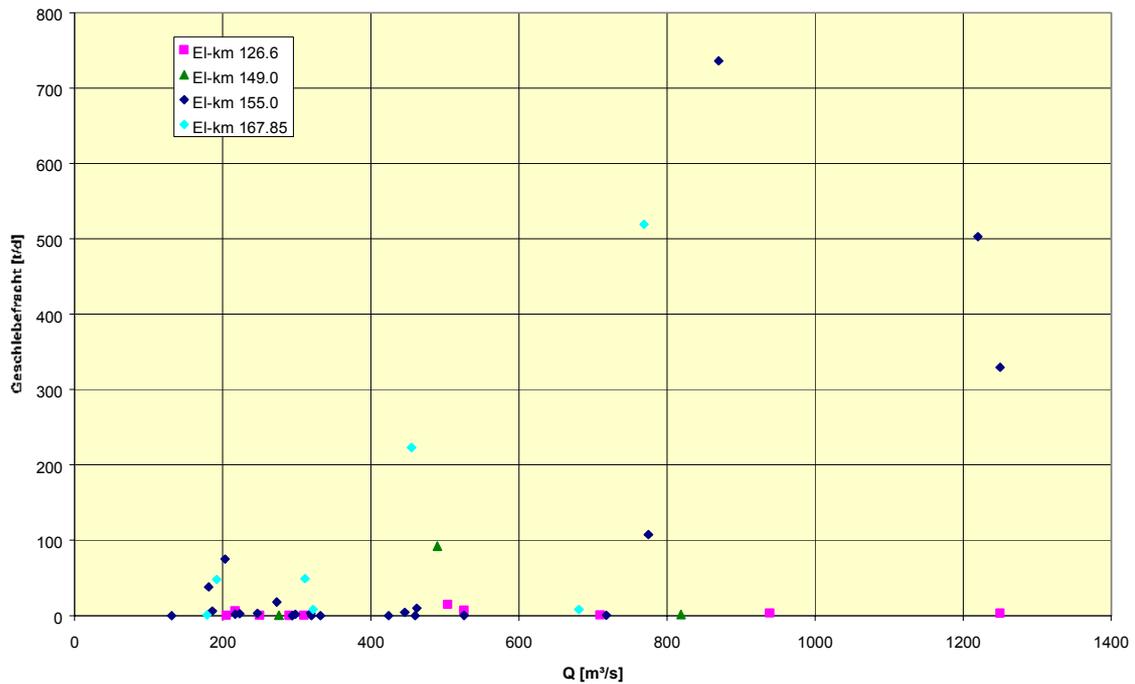
<sup>3</sup> Formel von SCHOCKLITSCH in Fassung von 1943 [BOLLRICH, 1989] mit Dichte des Geschiebes  $\rho_s = 2650 \text{ kg/m}^3$ :  $Q_0 = q_0 \cdot b$   $q_0 = 0,6 \cdot d_{40}^{3/2} / I^{7/6}$ ,  $q_0$  ...spezifischer Abfluss bei Beginn der Geschiebebewegung, b...geschiebeführende Sohlenbreite, d...maßgebender Korndurchmesser, I...Gefälle.

El-km	$d_{50}$ [mm]	$I$ [Y]	$B_S$ [m]	$q_0$ [m <sup>3</sup> /(s m)]	$Q_0$ [m <sup>3</sup> /s]
126	15	0,30	60	14	852
154,5	10	0,2-0,40	60	6-12,4	332-744
160	10	0,22	70	11	777
190	7	0,19	80	8	617
214	3	0,22	90	2	164
230	2	0,20	90	1	100
450-490	0,8	0,13	190	0,46	88

**Tab. 3.5: Durchfluss bei Geschiebebewegungsbeginn in den Untersuchungsräumen**

Bei der Betrachtung morphologischer Prozesse an Flüssen wird oftmals von einem sog. „bettbildender Durchfluss“ ausgegangen, der bei der Bewertung hilfreich sein soll. Betrachtet man das gesamte vorkommende Durchflussspektrum, so treten die kleineren Durchflüsse häufig auf, tragen aber relativ wenig zum Gesamttransport bei, da die Geschiebefrachten gering sind. Somit sind bei den kleineren, häufigen Durchflüssen die Sohlenumformungen gering. In den oberen Abschnitten der Erosionsstrecke der Elbe kann man – wie oben erwähnt - sogar feststellen, daß der Geschiebetransport erst oberhalb eines Durchflusses  $Q_0$  beginnt. Im Vergleich mit den Angaben in Tab. 3.5 ist auch aus den Naturgeschiebemesungen bei Torgau (s. Abb. 3.5) ein  $Q_0$  ableitbar ( $Q_0$  je nach Ausgleich im Bereich von 200 bis 700 m<sup>3</sup>/s), wenn man davon ausgeht, dass das bei Torgau gemessene Material in der Strecke zwischen Mühlberg und Torgau aus der Gewässerberandung aufgenommen wurde (kaum Geschiebetrieb bei Mühlberg und kein nennenswerter Eintrag aus dem Einzugsgebiet). Der Durchfluss bei Beginn der Geschiebebewegung  $Q_0$  kann jeweils nur mit Bezug auf das verfügbare Kornspektrum der anstehenden Sohle definiert werden und charakterisiert somit den Durchfluss bei kritischer Schubspannung für konkrete hydraulische und sedimentologische Verhältnisse.

Bei Hochwasserereignissen bewegt sich zwar viel Geschiebe, diese Durchflüsse halten aber nur kurz an. Zwischen diesen beiden äußersten geschiebefördernden Durchflüssen gibt es nun einen, der die ausgiebigsten Veränderungen im Bett hervorbringt. Dieser Durchfluss wird „bettbildender Durchfluss“ genannt (z.B. siehe [SCHOCKLITSCH, 1930]). Von SCHOCKLITSCH wurde seinerzeit das Maximum des wirksamen Durchflusses  $(Q-Q_0) \cdot t$  aufgetragen über dem Durchfluss  $Q$  über das Jahr als bettbildender Durchfluss  $Q_b$  definiert.



**Abb. 3.5: Geschiebemessungen im Umfeld von Torgau (EI-km 154)**

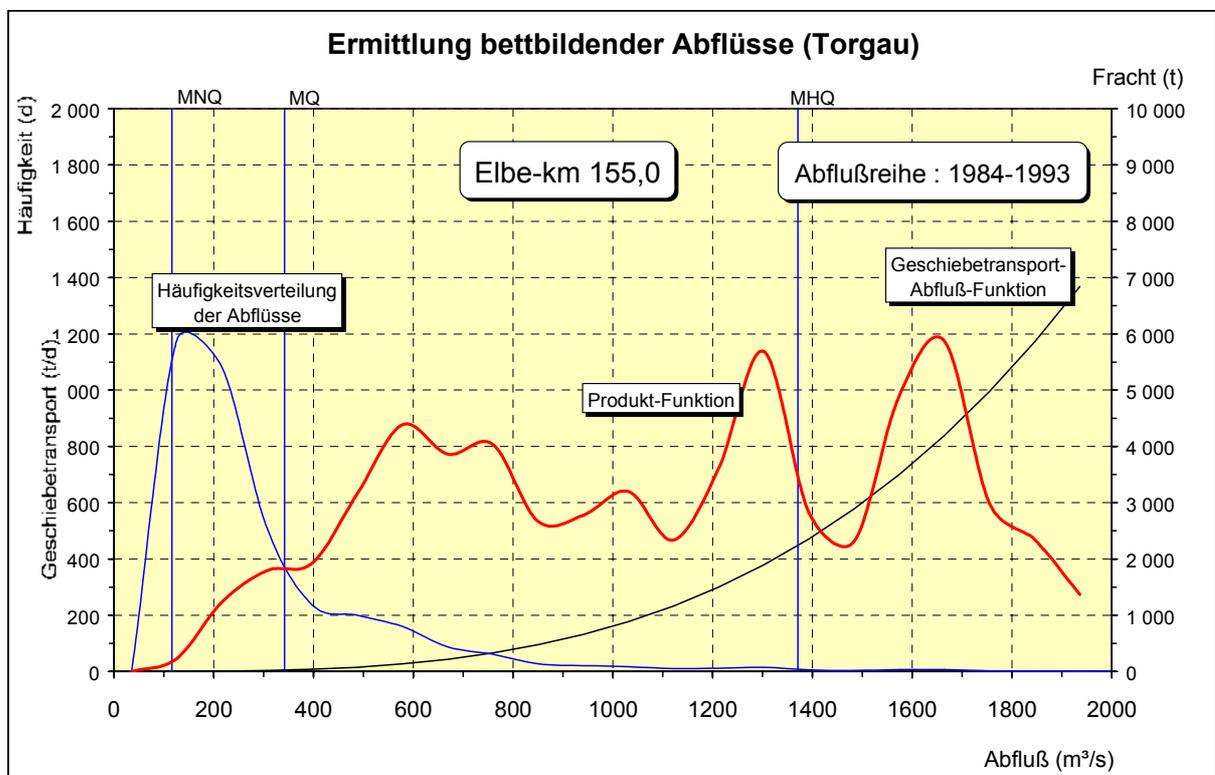
An der Elbe werden seit Anfang der 90er Jahre u.a. regelmäßig Messungen der Geschiebe- und Schwebstofffrachten vorgenommen. Diese Daten dienen für die Untersuchungen der BAW als Eingangsdaten für verschiedene Modellverfahren. Für die Bewertung der Auswirkung von wasserbaulichen Maßnahmen auf das Feststofftransportverhalten ist es neben der Kenntnis umfangreicher Einzelparameter (Topographie, Hydrologie, Sedimentologie, Hydraulik...) hilfreich, Summenparameter abzuleiten. Deshalb wurde versucht, den Begriff des „bettbildenden Durchflusses“ einzusetzen, um die beiden Untersuchungsräume des Forschungsprojektes zu charakterisieren.

Es wurde davon ausgegangen, dass der Durchfluss gesucht wird, der die gleiche Jahresfeststofffracht bewirkt, wie das Abflussspektrum einer aus einer langjährigen Reihe ermittelten Jahres – Durchfluss – Ganglinie. Mit diesem Ziel wurde die mittlere Geschiebefracht  $M_G$  (in Analogie zum  $M_Q$  als hydrologischem Hauptwert – arithmetisches Mittel) berechnet. Untersuchungen der BAW mit eindimensionalen Feststofftransportmodellen haben gezeigt, dass die Sohlenentwicklung unter bestimmten Umständen (z.B. kein wesentlicher Auf- und Abbau von Deckschichten) etwa gleich ist für den Ablauf einer natürlichen Ganglinie und für einen über die gleiche Zeit ablaufenden „bettbildenden Durchfluss“  $Q_{MG}$ , wenn man jeweils den gleichen Ausbauzustand betrachtet.

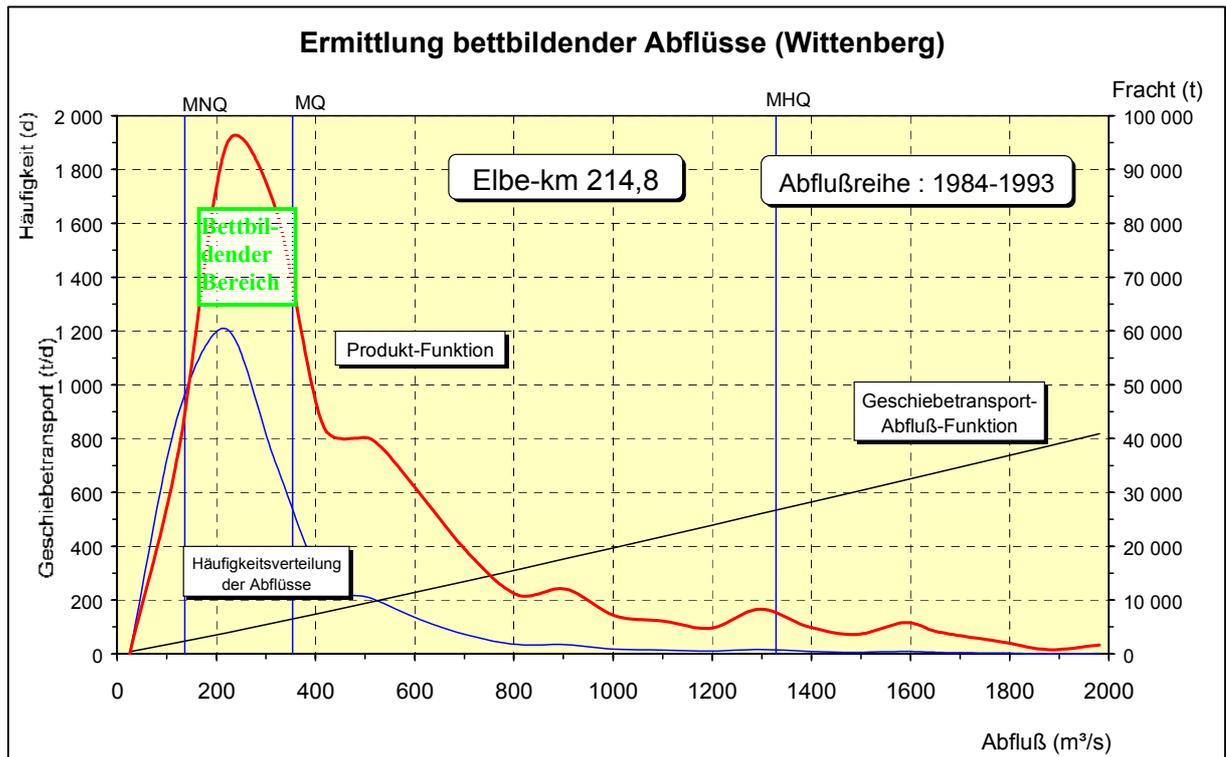
Die Berechnung des so definierten „bettbildenden Durchflusses“  $Q_{MG}$  erfolgte ausgehend von einer Häufigkeits – (bzw. Dauer-) Linie basierend auf einer langjährigen Ganglinie von Tagesmittelwerten der Durchflüsse an einem Bezugspegel und einer Durchfluss – Geschiebefracht – Beziehung für den Pegelstandort. Aus diesen Eingangsdaten wurde eine Häufigkeits- (bzw. Dauer-) Verteilung der Geschiebefrachten ermittelt, aus der wiederum die mittlere

re tägliche Geschiebefracht MG errechnet wurde. Für diesen MG wurde der entsprechende Durchfluss  $Q_{MG}$  aus der Geschiebefracht – Durchfluss – Beziehung ermittelt.

Zur Charakterisierung des „bettbildenden Durchflusses“ kann ein einzelner Kennwert, wie der hier erwähnte  $Q_{MG}$  natürlich nur mit Berücksichtigung der damit einhergehenden starken Abstraktion dienen. Eigentlich ist es ein gewisser Durchflussbereich, der die stärksten Bettumformungen hervorruft (s. Abb. 3.7). Dieser Durchflussbereich kann in grafischen Auftragsungen der Produktfunktion aus Durchflughäufigkeit und Durchfluss-Geschiebefracht-Beziehung dargestellt werden. Diese Produktfunktion muss nicht zwangsläufig ein deutliches Maximum aufweisen (s. Abb. 3.6). Bei der Bewertung von charakteristischen Größen für einen „bettbildenden Durchfluss“ muss die Unschärfe der eingehenden Geschiebefracht – Durchfluss - Beziehungen berücksichtigt werden.

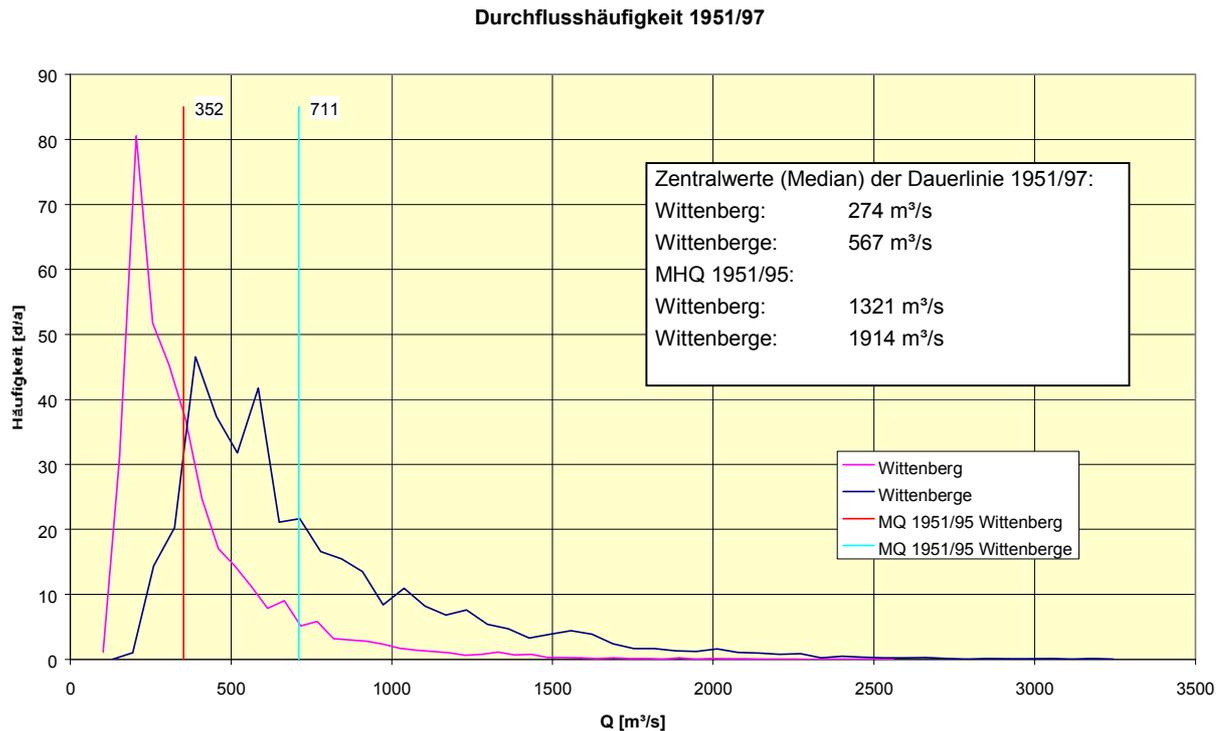


**Abb. 3.6:** Ermittlung des „bettbildenden Durchflusses“ für Torgau (BfG, Außenstelle Berlin)



**Abb. 3.7: Ermittlung des „bettbildenden Durchflusses“ für Wittenberg (BfG, Außenstelle Berlin)**

Die folgenden Betrachtungen wurden für den Beginn der Erosionsstrecke (Geschiebemessstelle Mühlberg, El-km 126,6; Durchflussmessstelle Pegel Torgau, El-km 154,2) das Ende der Erosionsstrecke (Pegel Wittenberg, El-km 214,14) und den Pegel Wittenberge (El-km 453,92, Untersuchungsraum bei Lenzen) zum Vergleich angestellt. Die Berechnungen erfolgten mit Hilfe des Programmes HASE der BAW, das zur Vor- und Nachbereitung von HEC-6-Berechnungen entwickelt wurde. Aus diesem Grunde sind im Programm HASE Anpassungen der Verfahren der hydrologischen und sedimentologischen Statistik auf die Bedürfnisse des Programmes HEC-6 vorgenommen worden. Zur überschläglichen Bewertung der Daten mit Blick auf die Charakterisierung eines „bettbildenden Abflusses“ schien die Nutzung dieser angepassten Hilfsmittel zulässig.

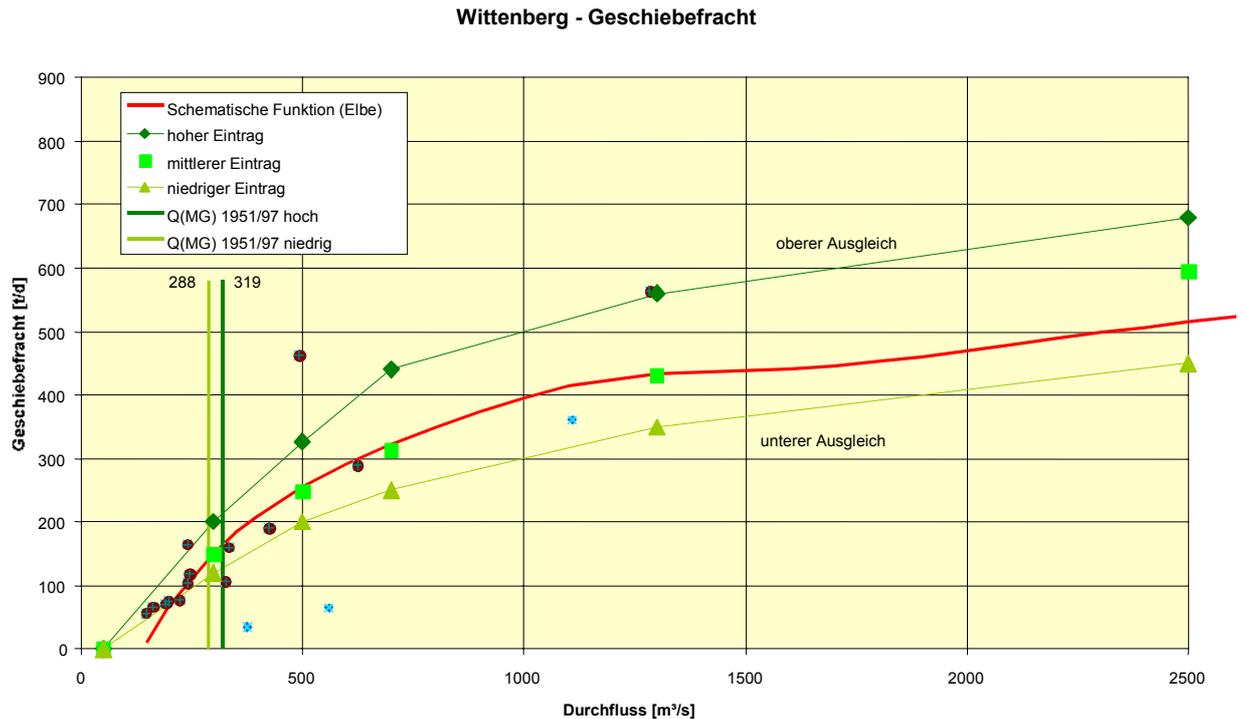


**Abb. 3.8: Abflusshäufigkeit und MQ1951/95 für Wittenberg und Wittenberge**

Als hydrologischer Bezugszeitraum wurde die Jahresreihe 1951/97 (Hauptwerte der BfG nur für die Jahresreihe 1951/95 zum Vergleich verfügbar) gewählt. In Abb. 3.8 sind einige hydrologische Kennwerte eingetragen. Dargestellt werden im Weiteren nur Angaben zum „bettbildenden Durchfluss“ aus mittlerer jährlicher Geschiebefracht. In die Betrachtungen sollte nach Auswertung der Erkenntnisse zum bettbildenden Anteil des suspendierten Sandes (Teilprojekt der BfG in FKZ 0339566) auch dieser bettbildende Anteil des suspendierten Sandes der Geschiebefracht zugeschlagen und somit berücksichtigt werden.

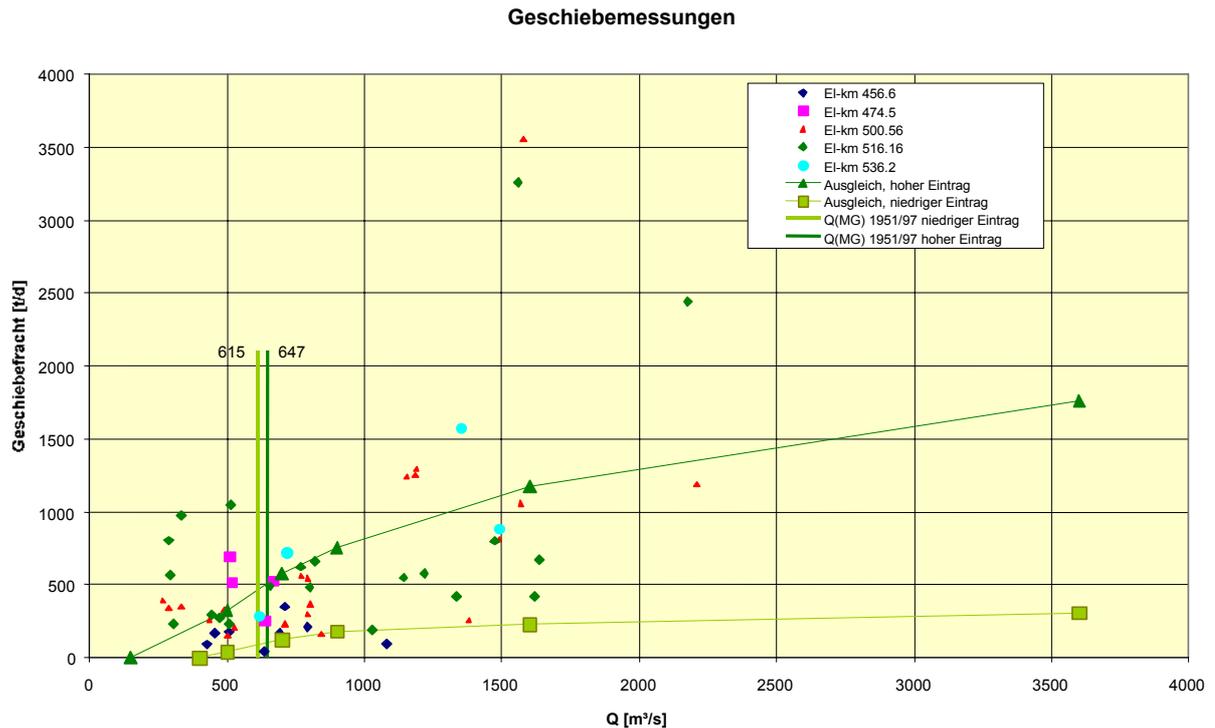
Da die Schwankungsbreite der Geschiebefracht-Messwerte sehr groß ist, wurde jeweils eine hohe und eine niedrige Geschiebefracht – Durchfluss - Funktion (keine Einhüllenden) aus dem Datenkollektiv abgeleitet. Für die Geschiebefrachtmessungen bei Wittenberg sind die Streuungen der Messwerte (kleine Symbole) in Abb. 3.9 dargestellt.

Im Programm HASE wird die Feststofffracht – Durchfluss – Beziehung nicht über eine Funktion sondern durch 6 Wertepaare charakterisiert. Die hier aufgezeigten Annahmen für die Einträge sind stark vereinfacht. Demgegenüber führen die topographischen Gegebenheiten an der Elbe dazu, dass die Geschiebefracht tatsächlich mit steigendem Durchfluss nur so lange wächst, wie der Abfluss im Hauptgerinne (Mittelwasserbett) verbleibt. Kurz nach der Ausuferung steigt die Geschiebefracht nicht mehr in gleichem Maße wie es dem Durchflussanstieg entspräche (teilweise sinkt sie sogar ab) bis die Vorländer deutlich überströmt werden (schematische Funktion in Abb. 3.9). Die für die Auswertung in Tab. 3.7 genutzten Wertepaare sind in Abb. 3.9 (hell- und dunkelgrün) eingetragen.



**Abb. 3.9: Messwerte und Geschiebefracht-Durchfluss-Funktion für den Pegel Wittenberg**

Am Beispiel des Pegels Wittenberge kann aufgezeigt werden, wie sich die Unschärfe in der Kenntnis der Geschiebefracht – Durchfluss - Beziehung (zu wenig Naturmesswerte, starke Streuung) auf die Ermittlung des „bettbildenden Durchflusses“ auswirkt. In Abb. 3.10 sind die Geschiebemessungen im Umfeld von Wittenberge aufgetragen. Die Funktion, die man nur aus den Messwerten bei Wittenberge (hier El-km 456,6) ableiten kann (hellgrüne Linie in Abb. 3.10), führt zu deutlich geringeren jährlichen Geschiebefrachten als eine Funktion, die davon ausgeht, dass sich das Geschieberegime zwischen Wittenberge und Neu Darchau (Messstelle km 536,2) nicht wesentlich ändert (dunkelgrüne Linie in Abb. 3.10). Die Unterschiede beim  $Q_{MG}$  betragen allerdings nur  $30 \text{ m}^3/\text{s}$  (s.Tab. 3.7).



**Abb. 3.10:** Messwerte und Geschiebefracht-Durchfluss-Funktion für den Pegel Wittenberge

Die  $Q_{MG}$  lagen bei Berücksichtigung nur der Geschiebefracht in beiden Untersuchungsgebieten bei Durchflüssen leicht unter dem MQ1951/97. Bei vergleichswisen Abschätzungen basierend auf der Gesamtfeststofffracht (Geschiebe- und gesamte Schwebstofffracht) lagen die  $Q_{MG}$  leicht darüber. Trotz der starken Variation, die gerade für die Gesamtfeststofffracht – Durchfluss- Beziehung nur im Bereich hoher Durchflüsse für eine hohe resp. niedrige Annahme vorgenommen wurde (wegen der Unkenntnis der dort anzusetzenden Feststofftransportraten), ergeben sich bei der eingesetzten Methode annähernd gleiche Werte für  $Q_{MG}$  (s. Tab. 3.6 und Tab. 3.7).

Am Beginn der Erosionsstrecke bei Mühlberg kann aus den Naturmessungen des Geschiebetransportes (kein Geschiebetransport bei km 126,6 gemessen, s. Abb. 3.5) kein „bettbildender Durchflussbereich“ ermittelt werden, da das anstehende Material nicht transportiert wird (abgeplasterte Sohle) und somit das Bett aktuell nicht mehr umgebildet wird.

	NQ	MQ	HQ		
	[m³/s]				
<b>Q-Ganglinie 1951/97</b>	82	353	2560	Wittenberg	
	NG	MG	HG	G <sub>Jahresfracht</sub>	Q <sub>MG</sub>
	[t/d]			[t/a]	[m³/s]
<b>Geschiebefracht, niedriger Eintrag</b>	19	142	450	51723	<b>288</b>
<b>Geschiebefracht, hoher Eintrag</b>	25	212	680	77389	<b>319</b>
<b>Gesamtfeststoffeintrag, niedriger Eintrag</b>	218	1057	19584	386177	399
<b>Gesamtfeststoffeintrag, hoher Eintrag</b>	218	1288	42598	470532	444

**Tab. 3.6: Kennwerte für Wittenberg**

	NQ	MQ	HQ		
	[m³/s]				
<b>Q-Ganglinie 1951/97</b>	192	708	3245	Wittenberge	
	NG	MG	HG	G <sub>Jahresfracht</sub>	Q <sub>MG</sub>
	[t/d]			[t/a]	[m³/s]
<b>Geschiebefracht, niedriger Eintrag (nur Messwerte von Wittenberge)</b>	0	91	294	33380	<b>615</b>
<b>Geschiebefrachtganglinie, hohe Kurve (alle Messwerte zwischen Wittenberge und Neu Darchau)</b>	39	507	1658	185146	<b>647</b>
<b>Gesamtfeststoffeintrag, niedrige Kurve</b>	1007	2420	5878	883938	690
<b>Gesamtfeststoffeintrag, hohe Kurve</b>	1007	3573	24765	1304903	754

**Tab. 3.7: Kennwerte für Wittenberge**

Für die beiden Untersuchungsgebiete bei Wittenberg (Ende der Erosionsstrecke) und Wittenberge (Rückdeichung Lenzen) kann kein signifikanter Unterschied in der Größe des „bettbildenden Durchflusses“ festgestellt werden. Für beide Gebiete ist er im Bereich des langjährigen mittleren Durchflusses anzusetzen. Aus den Betrachtungen zum „bettbildenden Durchfluß“ kann geschlussfolgert werden:

- Zur Betrachtung der Auswirkungen auf die Bettumbildung kann für Maßnahmen im Vorland kein generell zutreffender, stationärer, morphologisch relevanter Durchfluß angegeben werden. Grundsätzlich ist der Durchfluß, bei dem die langjährige mittlere tägliche Geschiebefracht ( $Q_{MG}$ ) transportiert wird, geeignet, um mit einem „bettbildenden Durchfluß“ Maßnahmewirkungen abzuleiten. Dies gilt allerdings nur dann, wenn die Eingriffe in Querschnittsbereichen durchgeführt werden, die beim ermittelten „bettbildenden Durchfluß“ strömungswirksam sind. Im Bereich der unteren Erosionsstrecke (unterhalb Torgau bis unterhalb Wittenberg) und im Umfeld der Deichrückverlegung bei Lenzen ist davon auszugehen, daß die langjährige mittlere tägliche Geschiebefracht bei Durchflüssen um den langjährigen mittleren Durchfluß (MQ) transportiert wird. Der obere Abschnitt der Erosionsstrecke (Mühlberg bis etwa kurz unterhalb Torgau) ist durch grobkornangereicherte bis abgepflasterte Sohle gekennzeichnet. Am Beginn bei Mühlberg ist für die bisher vermessenen Durchflüsse (bis MHQ) nahezu kein Geschiebetransport festgestellt worden. Im weiteren Verlauf der Strecke beginnt die Sohlumbildung erst bei Durchflüssen von etwa  $2 \cdot MQ$ .
- Es ist davon auszugehen, daß extreme Hochwasserereignisse mit starkem Geschiebetransport auf Grund ihrer Seltenheit nur geringen Einfluß auf die langjährige mittlere Bettgestaltung haben. Lokal und kurzfristig können solche Extremereignisse große Wirkung zeigen. Eingriffe auf hochliegenden Vorlandbereichen können aber bei der Untersuchung von Langfristwirkungen auf die mittleren Sohlenhöhen vernachlässigt werden. Maßnahmen, die keine Veränderung des Ausuferungsverhaltens bewirken (an der Elbe etwa Ausuferung um MHQ), haben langfristig i. Allg. nur geringen Einfluß auf die morphologischen Prozesse im Flußbett. Maßnahmen im Ausuferungsbereich ( $MW < H < MHW$ ) bewirken aus hydraulisch-morphologischer und auch aus ökologischer Sicht die größten Veränderungen.

Für den Modellbetrieb lassen sich folgende Schlußfolgerungen ableiten:

- Bei der Nutzung eindimensionaler Feststofftransportmodelle mit quasistationärer Abbildung der Durchflußganglinie kann mit diskreten  $\Delta Q$ -Schritten gearbeitet werden, die in der Größe etwas über dem langjährigen MNQ liegen, da bei diesen Ereignissen nur wenig Geschiebe transportiert wird, auch wenn sie relativ häufig auftreten.
- Die Tatsache, daß die Feststofffracht – Durchfluß - Beziehung für hohe Durchflüsse ( $>MHQ$ ) nicht zuverlässig bekannt ist und daß Kalibriermöglichkeiten bei Hochwasser fehlen (kaum Wasserspiegelfixierungen, keine Kenntnis über die Abflußverteilung Flußschlauch-Vorland...) führt nicht zwangsläufig zu ungenauen Aussagen bei der Untersuchung der langfristigen hydraulisch-morphologischen Auswirkungen von wasser-

baulichen Maßnahmen. Prägend für die langfristige Sohlenentwicklung sind Durchflüsse zwischen langjährigem MQ und MHQ.

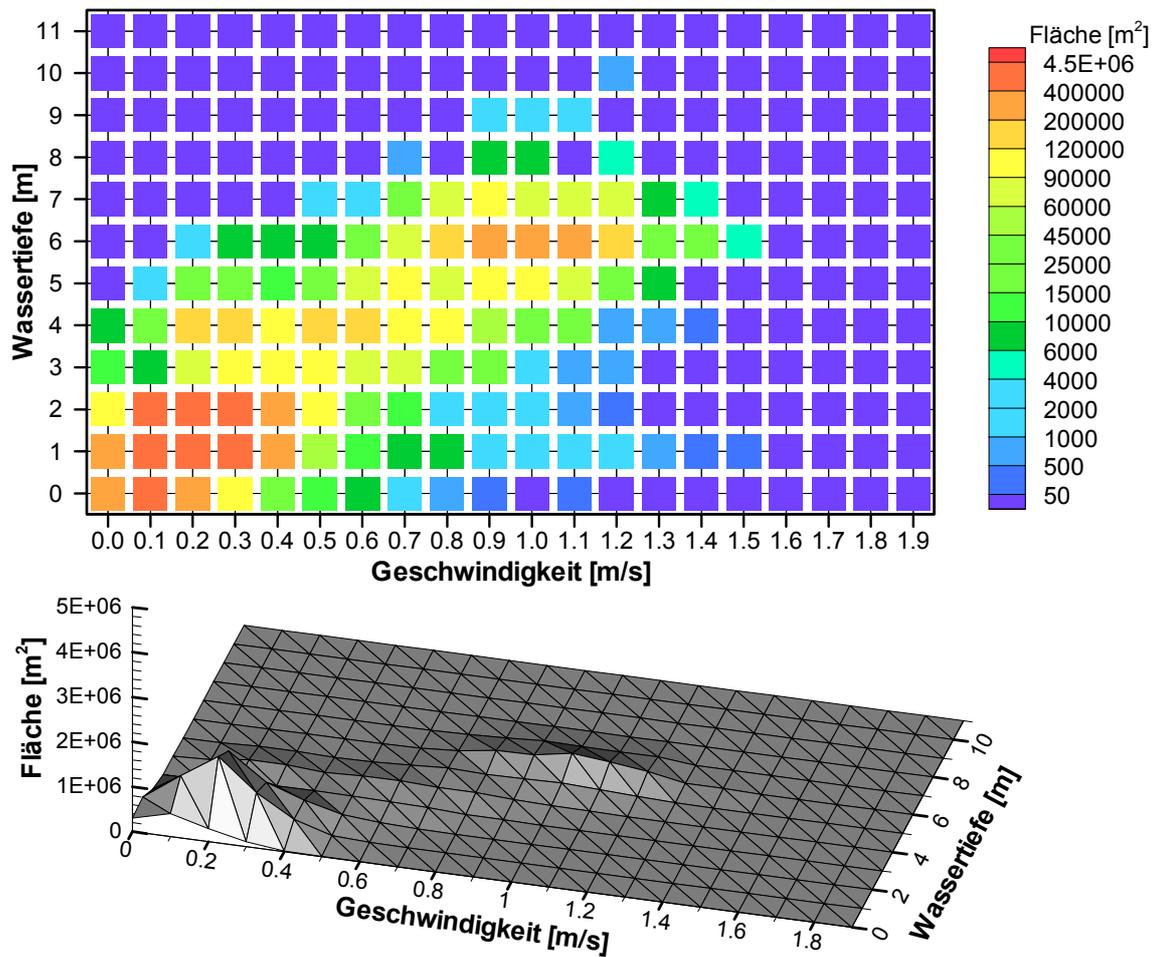
- Veränderungen auf den Vorländern (z.B. Deichrückverlegungen, Auwaldentwicklung) ohne Verringerung des ausufernden Durchflusses haben langfristig i. Allg. nur geringen Einfluss auf die morphologischen Prozesse im Flussbett. Zu beachten ist ihre lokale, kurzfristige Wirkung auf die Flusssohle (z.B. Anlandung von Material in der Schiffahrtsrinne) und die Wasserspiegelhöhe (Hochwasserneutralität).
- Die interessierenden Veränderungen der Ausuferungsverhältnisse können für kleine bis mittlere Flußabschnitte durch zweidimensionale hydronumerische oder gegenständliche Modelle untersucht werden. Alle Modellarten stoßen bei geringen Überströmungstiefen an Grenzen der numerischen Modellierbarkeit, der Ähnlichkeit und der Meßtechnik. In gegenständlichen Modellen (hydraulisch und aerodynamisch) können bei den realisierbaren Maßstäben für Vorlanduntersuchungen (große Modellflächen) Naturwassertiefen unter 1 m kaum untersucht werden.
- Kurzzeitige, lokale Veränderungen (instationäre Ereignisse) sind in Modellen nur schwer zu quantifizieren, da meist geeignete Naturdaten zur Modellkalibrierung fehlen. Für die Variantenoptimierung ist oft ein qualitativer Vergleich der Szenarien ausreichend.

Diese grundsätzlichen Überlegungen zeigen einerseits, dass Summenparameter wie z.B. der Durchfluss bei Geschiebebewegungsbeginn  $Q_0$  oder der „bettbildende Durchfluss“ bei der groben Vorauswahl von geeigneten Maßnahmen zur Problemlösung in somit charakterisierten Flussstrecken hilfreich sind, dass andererseits erst mit lokalen Untersuchungen an speziellen Modellen der betreffenden Flussabschnitte die tatsächlichen Maßnahmewirkungen annähernd quantifiziert werden können.

### **3.3 Alternative Formen der Ergebnisdarstellung**

Alternativ zu den bisher verwendeten Darstellungen wie z.B. Diagrammen und Farbflächendarstellungen (s. Kap. 5) wurde für die vorliegenden Ergebnisse der Berechnungen des 2D-Modells Lenzen (Kap. 5.2) eine weitere Darstellungsform verwendet. Sie soll Auskunft über den Strömungscharakter des Untersuchungsgebietes oder eines Ausschnittes davon geben. In Abb. 3.11 ist eine solche Auswertung als zwei- bzw. dreidimensionale Darstellung zu sehen.

### Statistik der mit definierter Geschwindigkeit und Wassertiefe überströmten Flächen Variante 33 $Q=2300\text{m}^3/\text{s}$



i33a23-sc-q.lay

**Abb. 3.11:** Beispielhafte Darstellung des Strömungscharakters eines Gebietes: Summe der Teilflächen im Untersuchungsgebiet, die bei definierter Wassertiefe mit einer bestimmten Geschwindigkeit überström werden)

Jedem Knoten des 2D-Modellnetzes wird eine Teilfläche zugewiesen, die abhängig von der Größe der umliegenden Elemente ist. Alle Teilflächen werden entsprechend der am jeweiligen Knoten vorliegenden Fließgeschwindigkeit und Wassertiefe in Kategorien eingeteilt. Eine Kategorie erfasst alle Flächen, in denen für das berechnete Ereignis der Wasserspiegel und die Fließgeschwindigkeit innerhalb einer gewissen Bandbreite liegen. Zum Beispiel werden alle Flächen zusammengefasst, in denen bei einer Fließtiefe zwischen 1,0 m und 1,99 m die Fließgeschwindigkeit zwischen 0,30 m/s und 0,39 m/s liegt (diese Kategorie ist in Tab. 3.8 hervorgehoben). Dargestellt wird dann die Summe aller Teilflächen, die der jeweiligen Kategorie zugeordnet ist. In der zweidimensionalen Darstellung sind die zugeordneten Flächen über entsprechende Farben kenntlich gemacht, während sie in der dreidimensionalen Darstellung durch die Höhe der Peaks abgebildet sind. Dadurch ist z.B. erkennbar, wie groß der Anteil flacher Gewässer mit geringer Fließgeschwindigkeit bzw. wie groß der Anteil

tiefer Bereiche mit großer Fließgeschwindigkeit im Untersuchungsgebiet ist. In Tab. 3.8 sind die Daten aufgelistet, auf denen die Darstellungen in Abb. 3.11 basieren.

In diesem Beispiel wurde die Variante 33 bei einem Abfluß von 2300 m<sup>3</sup>/s betrachtet. Durch die in dieser Variante bereits realisierte Deichrückverlegung tritt ein Flächenpeak für Teilflächen mit geringer Wassertiefe und langsamer Strömung auf. Das Hauptgerinne wird durch den weiten Bereich mit großem Flächenanteil mit großer Fließtiefe bei schneller Strömung gekennzeichnet. Flache Bereiche mit schneller Strömung und tiefe Bereiche mit langsamer Strömung fehlen. Dabei muß angemerkt werden, daß in dem den Berechnungen zugrundeliegenden Modell Buhnen in der Modelltopographie nicht abgebildet werden, da ihre hydraulische Wirkung über entsprechende Rauheitsbeiwerte abgebildet wird (siehe Kapitel 5.2.2).

Flächenanteil [m <sup>2</sup> ]	Fließgeschwindigkeit [m/s]														
	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4
0	2,5	4,2	2,4	0,9	0,1	0,1	0,1	-	-	-	-	-	-	-	-
1	2,9	7,7	12,0	<b>6,4</b>	2,5	0,4	0,1	0,1	0,1	-	-	-	-	-	-
2	0,9	3,8	9,6	4,9	2,6	0,8	0,3	0,1	-	-	-	-	-	-	-
3	0,1	0,1	0,7	0,9	0,9	0,8	0,7	0,6	0,2	0,2	-	-	-	-	-
4	0,1	0,4	1,2	1,3	0,8	1,0	1,1	0,8	0,8	0,4	0,2	0,1	-	-	-
5	-	-	0,3	0,3	0,1	0,2	0,5	0,9	0,7	0,8	0,9	0,6	0,3	0,1	-
6	-	-	-	0,1	0,1	0,1	0,2	0,6	1,6	1,7	2,9	2,3	1,5	0,2	0,2
7	-	-	-	-	-	-	-	0,2	0,5	0,9	0,7	0,7	0,7	0,1	-
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,1	0,1	-	-	-	-

**Tab. 3.8:** Liste der jeweiligen Anteile an der Gesamtfläche (12,3 km<sup>2</sup>), die bei definierter Fließtiefe mit bestimmter Geschwindigkeit überströmt werden

Diese Darstellungen dienen zu einer Beschreibung der Verteilung der Strömung anhand der Wassertiefen. Beim Variantenvergleich können vor allem großräumige Veränderungen beobachtet werden. Zudem wird bei dieser Art der Darstellung beschrieben, wie groß die Vielfalt der im Gebiet vorhandenen unterschiedlichen Strömungsbereiche ist, die wiederum Rückschlüsse darauf zuläßt, wie groß die Vielfalt der Habitate unterschiedlicher Spezies ist. Die Darstellungen wurden angeregt durch Klassifizierungen von Fließgewässern bei z.B. Gewässerstrukturgütekartierungen (s. [DVWK, 1997]). Inwiefern solche Darstellungen abiotischer Parameter für die Bewertung biotischer Fragestellungen geeignet sind, muß in der interdisziplinären Fachdiskussion noch geklärt werden. Anregungen werden gerne aufgenommen.

## **4 Eindimensionale Modelle und Modellvergleich**

### **4.1 Feststofftransportmodelle der Erosionsstrecke der Elbe**

#### **4.1.1 Allgemeines**

Derzeit wird ein Feststofftransportmodell für die gesamte Erosionsstrecke El-km 120-235 erstellt. Für Teiluntersuchungen stehen bereits in ausgewählten Abschnitten eindimensionale Feststofftransportmodelle (FTM) zur Verfügung. Im Auftrag der WSV wurden im Abschnitt El-km 140-163 Untersuchungen zur Geschiebezugabe und zu wasserbaulichen Maßnahmen im Flussschlauch durchgeführt ([BAW, 1997b], [BAW, 1998b], [ALEXY, 1998]). Begleitend zu den Untersuchungen am hydraulischen Modell El-km 160-164 wird ein FTM El-km 154-173 betrieben, das im Bericht 1999 vorgestellt wird. Für den Teilabschnitt der Erosionsstrecke, in dem eine Rückdeichung im 2D-HN-Modell (s. Kap. 5.1) und im Luftmodell (s. Kap. 6) untersucht wird, wurde ein eindimensionales FTM erstellt (El-km 163-197). Die Modellierung der hydraulischen und morphologischen Entwicklung des Flußabschnittes erfolgt mit dem Programm HEC-6, „Scour and Deposition in Rivers and Reservoirs“. Die detaillierte Beschreibung des Modellaufbaus sowie der hydraulischen und sedimentologischen Eichung sind der Diplomarbeit [BONNY, 1997] zu entnehmen. Ergebnisse der Modelluntersuchungen El-km 163-197 werden im Bericht 1999 gemeinsam mit anderen Feststofftransportmodellen vorgestellt. An dieser Stelle wird eine Kurzbeschreibung des FTM El-km 163-197 geliefert.

#### **4.1.2 Modellaufbau**

Die Querprofilaten stützen sich auf eine Peilung in den 90er Jahren. Bei der Modellerstellung wird zur Verkürzung der Rechenzeiten aus der vorliegenden Geometrie eine Auswahl von 165 Querprofilen getroffen. Hierbei wurde darauf geachtet, daß der Querprofilabstand sinnvoll gestaffelt und somit der Kern der Modellstrecke El-km 185 bis 192, der auch im 2D-HN-Modell und im Luftmodell untersucht wird, durch einen geringen Querprofilabstand von 100 m möglichst detailliert nachgebildet wird. Zwischen Modellbeginn und El-km 182,8 variiert der Abstand zwischen 300 und 400 m, in den übrigen Bereichen beträgt er 200 m. Bühnen gehen in Form von Bühnenschatten in die Querprofilgeometrie ein, auf den Vorländern liegende hydraulisch unwirksame Rinnen und Mulden werden in der Geometrie „eingeebnet“.

Die morphologischen Randbedingungen im untersuchten Streckenabschnitt sind aus Messungen der WSV (Auswertungen durch die Bundesanstalt für Gewässerkunde) gut erfaßt. Es liegen Meßwerte zur Sohlkornverteilung im Kilometerabstand vor, Geschiebe- und Schwebstofftransport werden an verschiedenen Stellen gemessen und in Form von Siebli-nien ausgewertet bzw. in Feinschweb und suspendierten Sand aufgeschlüsselt.

### 4.1.3 Modellkalibrierung

Sowohl für die hydraulische als auch für die sedimentologische Kalibrierung<sup>D</sup> des FTM ist eine ausreichende Datengrundlage vorhanden. Die hydraulische Kalibrierung (Variation der Rauheitswerte im Modell, so lange bis Naturwasserspiegel im Modell gut nachgerechnet werden können,) wird anhand von vier Wasserspiegelfixierungen<sup>E</sup> aus den 90er Jahren durchgeführt, die das Abflußspektrum von MNQ (135 m<sup>3</sup>/s) bis MHQ (1220 m<sup>3</sup>/s) abdecken. Weitere Naturfixierungen, historische wie aktuelle, können zur Validierung<sup>F</sup> des Modells herangezogen werden.

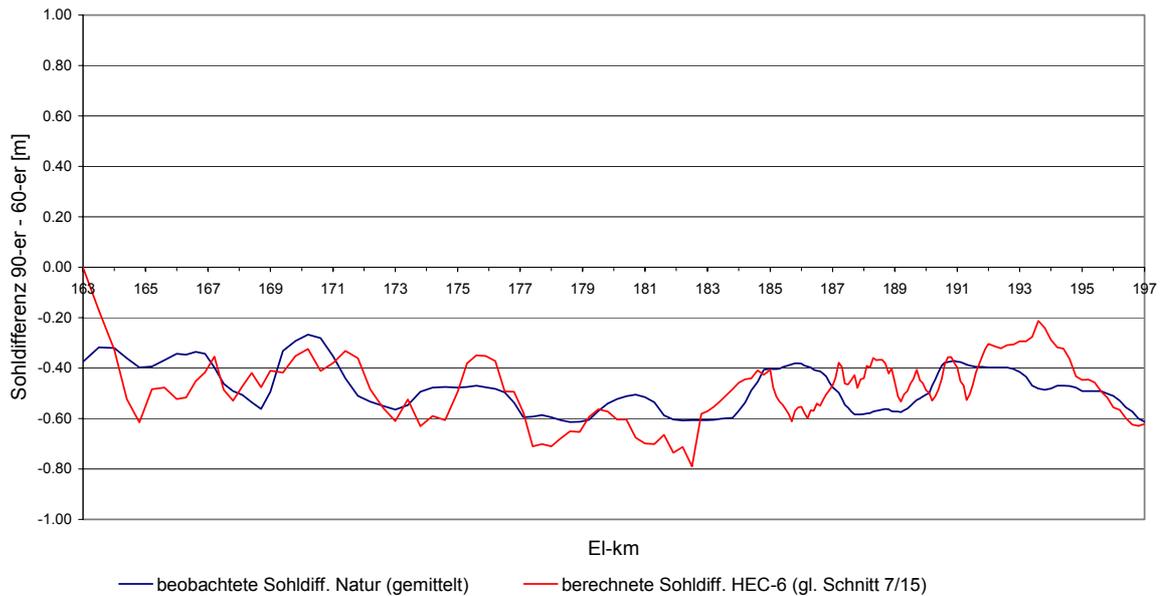
Da für die gesamte Erosionsstrecke auch eine verwertbare Querprofilpeilung (meist nur zwischen den Streichlinien<sup>C</sup>) aus den 60er Jahren vorliegt, ist die Erstellung einer historischen Querprofilgeometrie, unter Zuhilfenahme der aktuellen Geometrie, möglich. Zur Komplettierung des historischen Datensatzes werden die Kalibrierungswerte aus der hydraulischen Eichung des aktuellen Zustandes sowie die in den 90er Jahren gemessenen morphologischen Daten für den Ausgangszustand 60er Jahre übernommen. Die am Pegel Torgau aufgezeichnete Ganglinie gibt, in Zeitschritte ähnlichen Abflusses diskretisiert, die hydrologischen Randbedingungen für die Zeitspanne vor. Baumaßnahmen, die die Sohlentwicklung wesentlich beeinflußt hätten, wurden im betrachteten Zeitraum nicht durchgeführt. Durch ein Nachrechnen der Sohlentwicklung in der Zeit zwischen den beiden Peilungen kann das FTM sedimentologisch kalibriert werden.

Die hydraulische Kalibrierung erfolgte im ersten Schritt für den Zustand der 90er und der 60er Jahre jeweils auch für HEC-2 Modelle, so dass hiermit auch diese eindimensionalen stationären hydronumerischen Modelle mit fester Sohle für Vergleichsrechnungen zur Verfügung stehen (s. Kap. 3.1).

Die hydraulische Kalibrierung kann für weitere aktuelle Niedrigwasserfixierungen verifiziert werden. Abweichungen zwischen berechneten Wasserspiegellagen und Fixierungen bewegen sich im Bereich von  $\pm 5$  cm. Allerdings fehlen durchgehende Fixierungen zwischen Bühnenrücken und Ufersaum sowie Hochwasserstände  $>$  MHW, so daß die Eichparameter nicht für alle Bereiche des Abflußspektrums kontrolliert werden konnten. Die beiden historischen Fixierungen werden zu niedrig nachgerechnet. Gründe sind entweder modelltechnischer Natur (z.B.  $Q \approx 520$  m<sup>3</sup>/s: Bühnenrauheit mangelhaft erfaßt bzw. unzutreffende Annahme des Durchflusses) oder ein in den 60er Jahren streckenweise rauherer Flußschlauch. Die hydraulischen Eichparameter werden dennoch beibehalten (mangelnde Alternative angesichts der wenigen historischen Daten).

HEC-6 bietet zur Berechnung des Geschiebetransportes mehrere Transportformeln an. Mit Hilfe der Geschiebetransportformel nach Ackers-White (1973) und Variation der Annahmen zur Kornzusammensetzung der Elbsohle kann die mittlere Erosion des Flußabschnittes gut nachgerechnet werden. Zwischen El-km 185 und 195 jedoch ist die berechnete Sohlentwicklung gegenläufig zur beobachteten. Diese Tendenz hatte sich auch bei Berechnungen mit anderen Geschiebeformeln abgezeichnet und bleibt trotz Veränderung verschiedener System- und sedimentologischer Parameter stabil (Erhöhung der Systemsensitivität, Variation

des Gesamtfeststoffeintrags sowie der beweglichen Sohlbreite und –tiefe). Die folgende Abbildung zeigt die mit dem kalibrierten Modell berechnete Sohlveränderung als Differenz zwischen 90er und 60er Sohlniveau und stellt sie der beobachteten gegenüber. Die berechneten Werte sind bis EI-km 182,8 (lichtere Profilverfolgung) aus einem gleitenden Schnitt über sieben Profile hervorgegangen, in der zweiten Modellhälfte wurde ein Schnitt über fünfzehn Profile geführt. Für die in der Natur beobachtete Sohldifferenz wurden die Meßwerte über bis zu 10 km gemittelt, um die Tendenz der Sohlentwicklung zu erfassen und den Einfluß von Meßungenauigkeiten, vor allem bei der historischen Peilung, zu verringern.



**Abb. 4.1:** Sohlentiefung im kalibrierten Modell am Ende des Berechnungszeitraums und beobachtete Eintiefung in der Natur (gleitende Schnitte)

## 4.2 Vergleich von Modellen im Bereich der Rückdeichung Lenzen

Im Bereich der Rückdeichung Lenzen werden mehrere Modellarten eingesetzt (s. Tab. 2.3). Die verschiedenen Modelle sind erforderlich, da sie auf Grund der unterschiedlichen Abstraktionsgrade zur Beantwortung abweichender Fragestellungen geeignet sind. Im Rahmen der Untersuchungen werden die Parameter verglichen, für die in allen Modellen Ergebnisse erzielt werden. Die Bezeichnung der Deichrückverlegungen (A-C) bezieht sich auf [BAW, 1998c].

Varianten	Erläuterung	Modellart	Bemerkungen
0	Nullzustand	alle	unterschiedliche Abstraktionsgrade entsprechend Modellart
<b>Nur Rückdeichung A</b>			
1-5 2,4 2	Alter Deich vollständig entfernt	1D FTM AD	verschiedene Annahmen zur Durchströmung und zur Rauheit in 1D-HN-Modellen
6	Alter Deich vollständig entfernt, Leitdeich bis EI-km 478	1D	Vorlandrauheit $k_{St}= 20-28 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ für Var. 6 Vorlandrauheit $k_{St}= 10 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ für Var. 6a nichtdurchströmte Bereiche definiert
9	UTAG-Variante ohne Schlitzung, alter Deich als Uferrehne (niedrig)	2D	ohne Leitdeich
10, 12	UTAG-Variante mit Schlitzung, alter Deich als Uferrehne (niedrig)	2D	ohne und mit Leitdeich in voller Höhe bis EI-km 477,5
14	UTAG-Variante mit Schlitzung, Einlaufbereich modifiziert, alter Deich als Uferrehne (niedrig)	AD	niedrige Uferrehne bis EI-km 477,4 im Anschluß Schlitz 1a, ab Schlitz 2 wie UTAG-Entwurf, Vorland ohne aufgebrachte Rauheit
15, 16	UTAG-Variante mit Schlitzung, Einlaufbereich modifiziert, alter Deich als Uferrehne (niedrig)	AD	Leitdeich in voller Höhe bis EI-km 477,35 Schlitz 1a umfasst teilweise auch Schlitz 2, ab 477,8 wie UTAG-Entwurf, Var. 16 mit höherer Vorlandrauheit und Leitdeichrundung
<b>17, 18</b>	<b>Wie Variante 16, Deich zwischen den Schlitzten in alter Höhe (HW-frei)</b>	<b>AD</b>	<b>bei Variante 18 erst ab Schlitz 3 Schlitzte geöffnet</b>
19, 22, 24, 26, 27, 28	wie Variante 12, alter Deich als Uferrehne (hoch)	2D	Leitdeich- und Schlitzmodifikationen im Einlaufbereich 19 - Vorlandrauheit Wald <b>19a - Vorlandrauheit Wald in Pflanzflächen</b> <b>19b - Vorlandrauheit Grünland</b>
20, 21, 23	wie Variante 12, alter Deich als Uferrehne (niedrig)	2D	Leitdeich- und Schlitzmodifikationen im Einlaufbereich
<b>29</b>	<b>Wie Variante 19, Deich zwischen den Schlitzten HW-frei</b>	<b>2D</b>	<b>Vorlandrauheit Wald</b>
11, 13, 25	Nicht belegt		
30	Ausgehend vom UTAG-Entwurf (s. Varianten 10,	HW	Deichverlauf und Schlitzung entsprechend UTAG-Entwurf (Schlitzung den Modellmög-

Varianten	Erläuterung	Modellart	Bemerkungen
	12, 15)		lichkeiten angepasst), alter Deich in voller Höhe belassen
31	wie Variante 30, nur ein Schlitz	HW	keine Durchströmung des zukünftigen Vorlandes
<b>33</b>	<i>Mittlere Deichvariante, Uferrehne (hoch) mit Schlitz 1a, 4,5,6,8,9; neue Vorlandtopographie</i>	<b>2D</b>	<i>Verfeinertes Netz im Vorlandbereich, Höhen aus Stereobefliegung, Einbau von Flutmulden, Vorlandbewuchs differenziert entsprechend Prognosen der LAGS</i>
<b>Rückdeichung A kombiniert mit Rückdeichung B und C</b>			
7	Variante 2 mit Rückdeichung B kombiniert	1D FTM	Vorlandrauheit $k_{St}= 20-28 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ für Var. 7, Vorlandrauheit $k_{St}= 10 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ für Var. 7a im kurzen 1D-HN-Modell, Vorlandrauheit $23 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ im langen Modell
8	Variante 7 mit Rückdeichung C kombiniert	1D	Vorlandrauheit durchgängig $k_{St} = 23 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ (nur langes Modell)

**Tab. 4.1: Übersicht aller bisher untersuchter Varianten<sup>4</sup>**

Die Untersuchungen begannen im Rahmen der Vorleistungen mit einem stationären eindimensionalen hydronumerischen (1D-HN) Modell mit fester Sohle im Nahbereich der Deichrückverlegung bei Lenzen (Rückverlegung A bei km 471,5-485). Da sich in den Untersuchungen zeigte, daß die Maßnahmewirkungen am oberstromigen Modellrand nicht abgeklungen waren und auch zusätzlich weitere Deichrückverlegungen (B und C s. [BAW, 1998c]) untersucht werden sollten, wurde das Modell bis km 438 und bis km 495 verlängert. Die Deichrückverlegungen wurden mit Sensitivitätsbetrachtungen (verschiedenen Annahmen zu durchströmten Bereichen und Rauheiten) für das gesamte Durchflußspektrum untersucht. Das lange 1D-HN-Modell diente sowohl als Grundlage für ein eindimensionales Feststofftransportmodell als auch für ein Wellenablaufmodell, so daß zwei weitere Phänomene berücksichtigt werden konnten. Das aerodynamische Modell (km 474,2-484,1) ermöglichte räumliche Untersuchungen im Bereich der Rückdeichung Lenzen für HQ<sub>2-3</sub>. Mit diesem Modell wurde die Strömungsausbreitung im neuen Vorland untersucht und die Vorauswahl für die Gestaltung des verbleibenden Altdeiches vorgenommen. Die Güte der ursprünglich für die 1D-HN-Modelle getroffenen Annahmen zu nicht durchströmten Bereichen konnte mit dem aerodynamischen Modell als ausreichend bestätigt werden.

Bis zu diesem Stadium standen Probleme des Hochwasserschutzes, der langfristigen Entwicklung der mittleren Sohlenhöhen, der hydraulisch erforderlichen Strömungsführung und der zu erwartenden Größe der abiotischen Parameter im neuen Vorland (Wassertiefe, Geschwindigkeit, Strömungsrichtung) im Vordergrund. Mit dem stationären zweidimensionalen (2D-HN) Modell mit fester Sohle wurde der verbleibende Altdeich unter Berücksichtigung der Durchflüsse HQ<sub>1</sub>, HQ<sub>2-3</sub> und HQ<sub>20-25</sub> optimiert.

<sup>4</sup> Alle kursiv gekennzeichneten Varianten wurden im Forschungsprojekt untersucht, die rot gekennzeichnete Variante neu seit dem Zwischenbericht 1997 [BAW, 1998c], die anderen Varianten sind als Vorleistung untersucht worden [BAW, 1997a].

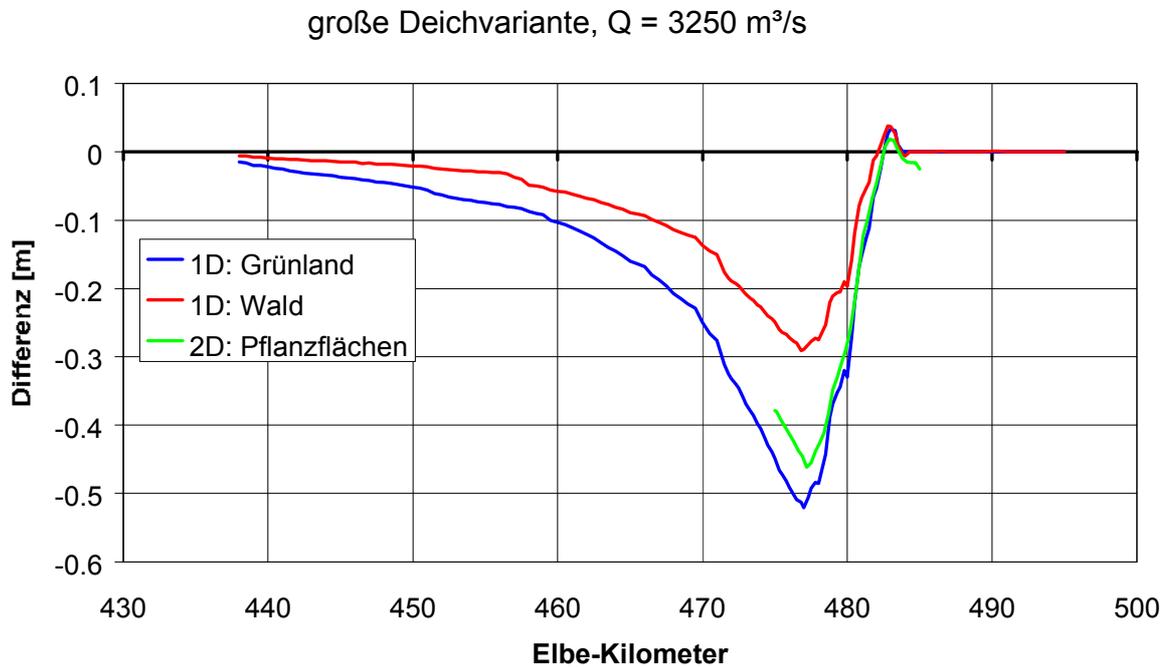
Soweit basierten alle Untersuchungen auf der gleichen Datengrundlage und betrachteten die große Deichvariante (s. [BAW, 1998c] bzw. Anlage 5.2.1). Im 2D-HN-Modell wurden dann aktuelle topographische Daten für das zukünftige Vorland und eine mittlere Deichvariante für weitere Untersuchungen mit verstärkter Ausrichtung auf aus ökologischen Gründen benötigten Daten (auch Flutungsverhalten im instationären Betrieb) berücksichtigt (s. Kap. 5.2).

### **Veränderungen der Wasserspiegelhöhen durch die Deichrückverlegung**

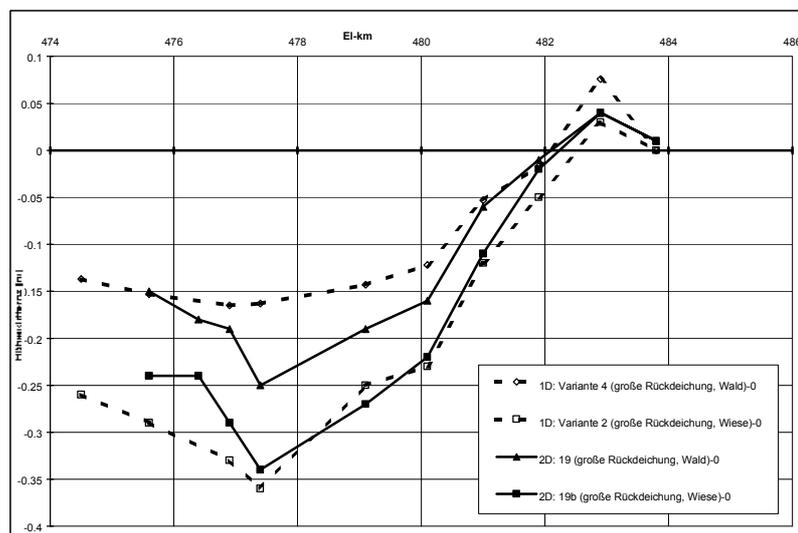
Am Beispiel der Veränderung der Wasserspiegel und der Durchflussanteile wird ein Einblick in den Vergleich der verschiedenen Modellarten gegeben (s. auch [BAW, 1998c]):

Obwohl in den Abb. 4.2 und Abb. 4.3 die Ergebnisse verschiedener Modelle verglichen werden, ordnen sich die entsprechenden Darstellungen gut im Diagramm ein. Mit den 1D-Modellen wurden die ersten, abschätzenden Untersuchungen als Grenzwertbetrachtung durchgeführt, da diese Modelle wegen der geringeren Modellauflösung längere Untersuchungsabschnitte abdecken können.

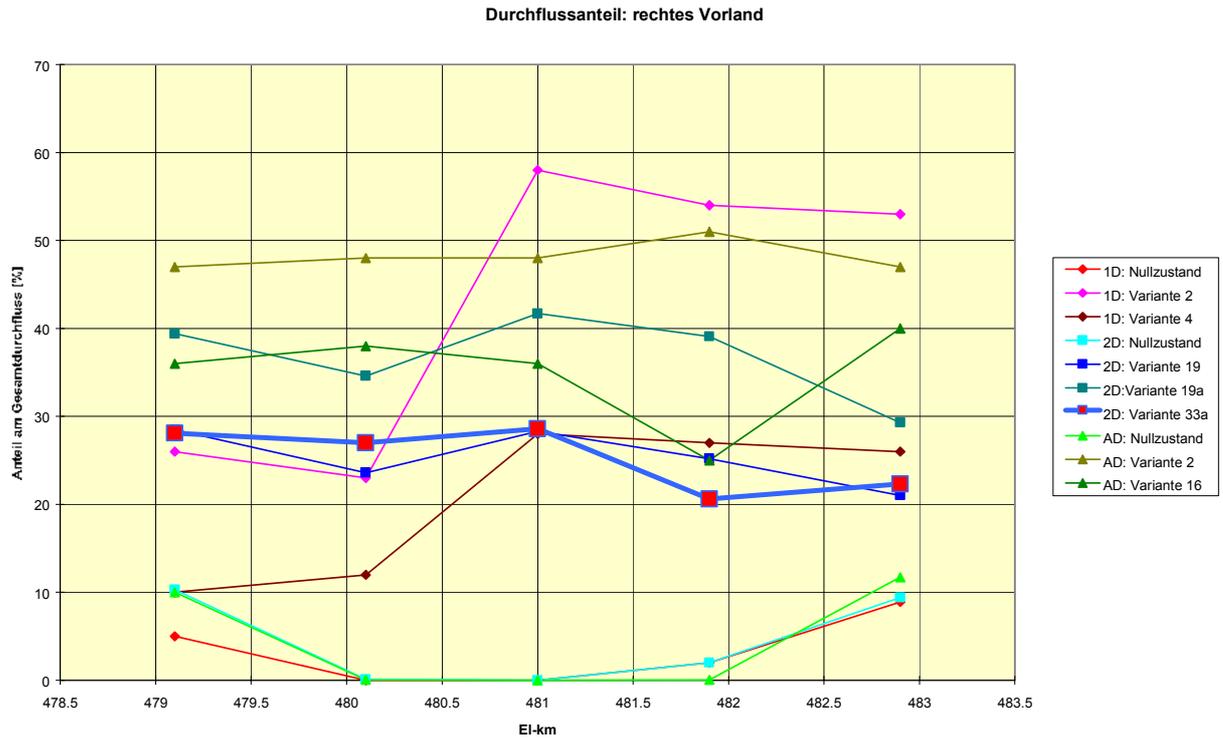
Die vergleichende Betrachtung der Durchflussanteile (s. Abb. 4.4 und Abb. 4.5) und der Schlüsselkurven (s. Abb. 4.6) weist größere Unterschiede besonders im Bereich der gerade ausufernden Durchflüsse auf. In diesem Durchflussbereich unterscheiden sich die verschiedenen Modellarten am stärksten in ihren Abstraktionsgraden und damit in der detaillierten Strömungsbildung.



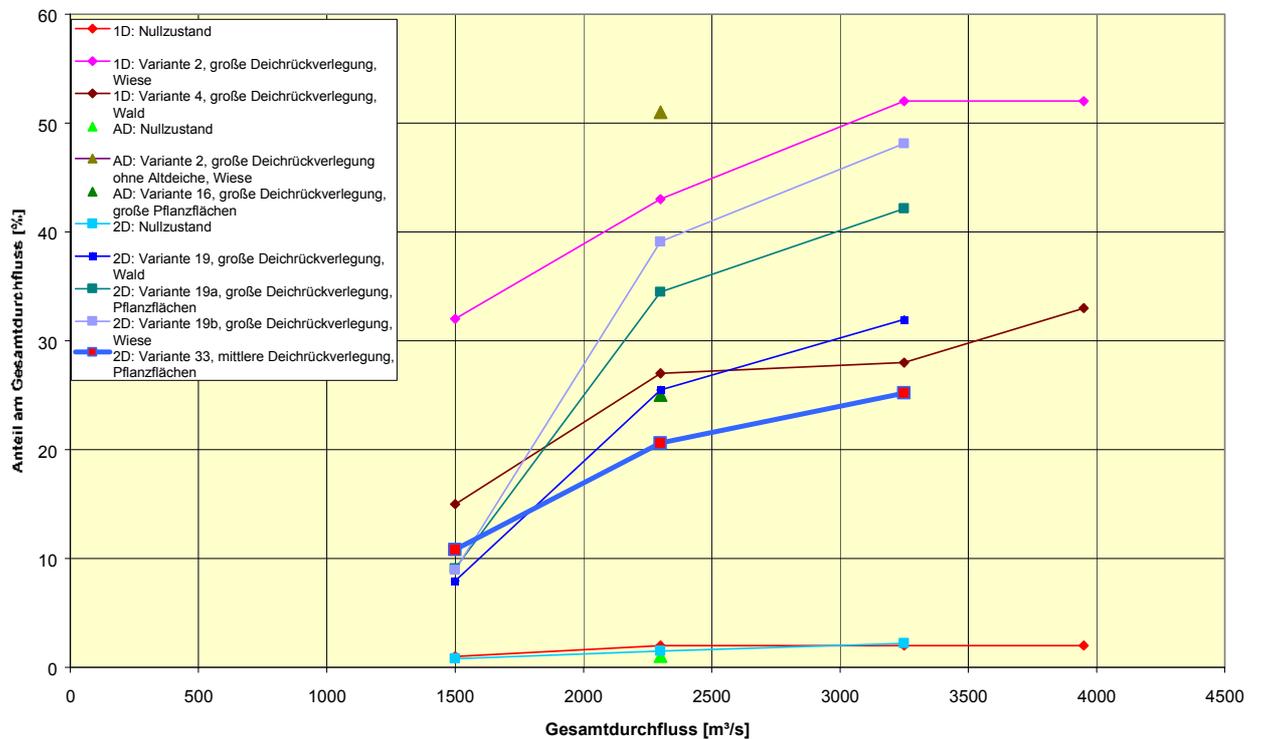
**Abb. 4.2:** Wasserspiegeldifferenzen im Flussbett zwischen großer Deichvariante und Nullzustand aus langen 1D- und 2D-HN-Modellen bei  $HQ_{20-25}$



**Abb. 4.3:** Wasserspiegeldifferenzen im Flussbett zwischen großer Deichvariante und Nullzustand bei  $HQ_{2-3}$  ( $2300 \text{ m}^3/\text{s}$ ) für 1D- und 2D-HN-Modelle nur im Rückdeichungsnahbereich für gleiche Querprofile

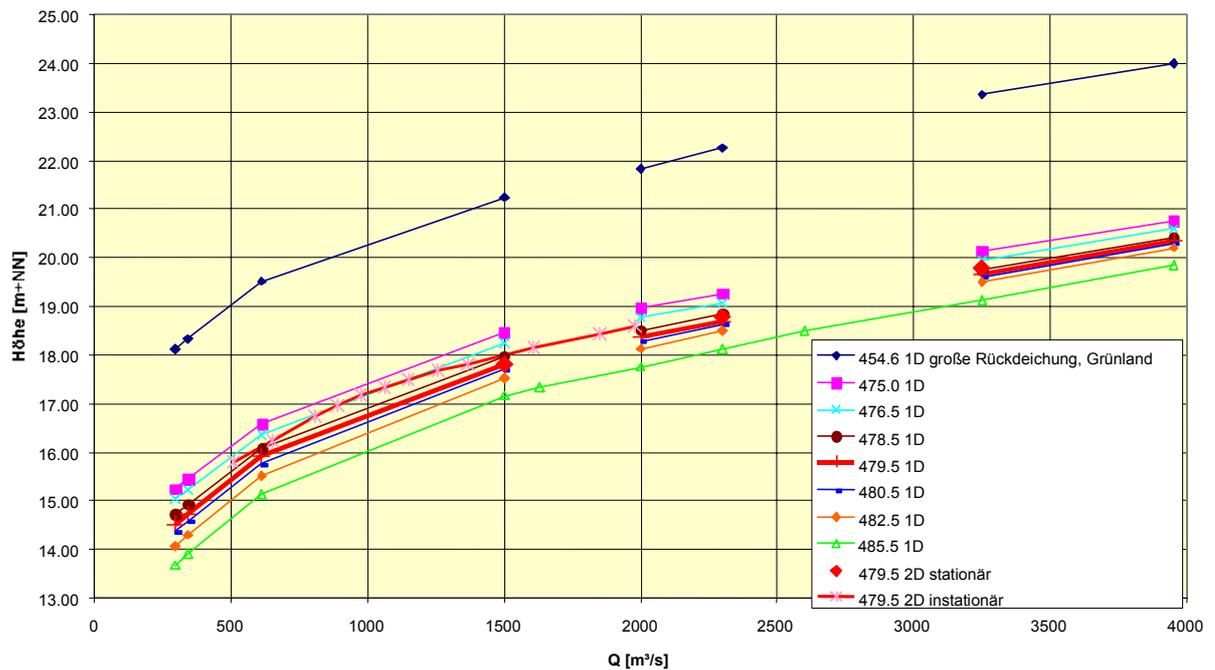


**Abb. 4.4:** Vergleich der Durchflussanteile über dem rechten Vorland bei HQ<sub>2-3</sub> (2300 m<sup>3</sup>/s) für verschiedene Modelle und Varianten



**Abb. 4.5:** Anteile des rechten Vorlandes am Gesamtdurchfluss für El-km 481,9 im Vergleich verschiedener Modelle und Varianten

Aus den 1D-HN-Modellen wurden für verschiedene Stationen im Flussbett sowohl für den Nullzustand als auch für die große Deichvariante (Vorlanddrauheit: Grünland) die Wasserstands-Durchfluss-Beziehungen aufgestellt. Aus dem 2D-HN-Modell konnten diese Beziehungen im Vergleich von stationärer (zeitlich konstante Durchflüsse) und instationärer (Hochwasserwellen) Betrachtung sowohl für die Flussachse als auch für die Vorlandbereiche abgeleitet werden. In Abb. 4.6 sind beispielhaft diese Beziehungen aus den 2D-Berechnungen für die Variante 33 (mittlere Deichvariante, Pflanzflächen) in der Flussachse eingetragen.



**Abb. 4.6: Vergleich der Schlüsselkurven für ausgewählte Stationen aus 1D- und 2D-HN-Modellen für verschiedene Varianten**

Der Bericht 1999 wird sich intensiv dem Modellvergleich widmen. Zusammenfassend ist vorerst festzustellen:

- Die Ergebnisse der ersten, stärker abstrahierenden Modelle konnten durch die feiner auflösenden Modelle bestätigt und ergänzt werden (s. Abb. 4.2 bis Abb. 4.6).
- Bei den Untersuchungen zur Deichrückverlegung führten ein- und mehrdimensionale numerische und gegenständliche Modelle zu übereinstimmenden Ergebnissen hinsichtlich der Veränderungen der Wasserspiegel in der Flußachse (s. Abb. 4.2, Abb. 4.3 und Abb. 4.6). Somit sind die eindimensionalen Modelle für die Planungsvorbereitung (Hochwasserschutz, Mittelwerte für z.B. biotische Betrachtungen) als ausreichend anzusehen.

- Mehrdimensionale numerische und gegenständliche Modelle sind erforderlich, wenn über Mittelwerte hinaus z.B. Strömungsrichtung, -geschwindigkeit, lokale Verteilung der Wassertiefen, Angaben zum lokalen Feststofftransportverhalten benötigt werden (Ausführungsplanung und detaillierte biotische Betrachtungen).
- Die Aussagen aller Modelle werden unter der Einschränkung getroffen, daß für die Kalibrierung der Modelle keine Daten zur Abflußverteilung zwischen Vorland und Flußschlauch vorlagen.
- Die Untersuchungen zur langfristigen Entwicklung der Sohlenhöhen sind nur möglich, da im Elbeabschnitt derzeit von einem annähernden morphologischen Gleichgewicht ausgegangen werden kann. Es fehlen historischen Geometriedaten und ausreichende Feststofftransportmessungen zur Modellkalibrierung.
- Eine Optimierung der Varianten erfolgte hinsichtlich hydraulisch-morphologischer Randbedingungen. Für die „ökologischen“ Untersuchungen wurde für die Grundvarianten der Strömungszustand prognostiziert, es fehlten „ökologische“ Optimierungskriterien da eine solche Optimierung nicht angestrebt wurde.
- Wegen der oft mangelhaften Datengrundlage im Hochwasserbereich sind Absolutwerte von Wasserspiegelhöhen in allen Modellarten unsicher (Dezimeter-Bereich), Differenzen von Nullzustand und Variante können mit ausreichender Genauigkeit ermittelt werden (Zentimeter-Bereich).
- Naturuntersuchungen im Vorfeld, begleitend und nach der Maßnahme sind unbedingt erforderlich und für den Erkenntniszuwachs von größtem Wert. Erst ausreichende Naturdaten gewährleisten auch die Qualität der Modellversuche. Naturuntersuchungen sind durch Modellversuche, die für die Planung der Maßnahmen und die Abschätzung der Eingriffsfolgen notwendig sind, nicht zu ersetzen und müssen auch für Parameter des oberflächigen Abflusses umgehend abgestimmt und organisiert werden.
- Da sich kurzzeitig und lokal auftretende Veränderungen (im Ablauf von Hochwasserwellen) der hydraulischen und morphologischen Parameter (z.B. Anlandungen im Bereich der Einleitung eines Teilabflusses ins Vorland) nur mit großem Aufwand quantifizieren lassen, ist die Abschätzung der Schadenspotentiale und ein Vergleich der ggf. auftretenden Kosten bei Schadensbeseitigung und vorsorgender Optimierung durch entsprechende Untersuchungen sinnvoll, um zu vermeiden, daß durch zu hohen Untersuchungsaufwand (hinsichtlich Zeit und Kosten) die Realisierung der Maßnahmen nahezu ausgeschlossen wird. Solche Abschätzungen müssen beauftragt werden.
- Für biotische Betrachtungen sind mitunter digitale Geländemodelle gekoppelt mit den prognostizierten Wasserspiegelhöhen aus 1D-HN-Modellen zur Darstellung der Veränderung abiotischer Parameter (z.B. Wassertiefen) ausreichend, so daß ggf. auf den Einsatz aufwendigerer, mehrdimensionaler numerischer oder gegenständlicher Modelle verzichtet werden kann. Hier ist eine sorgfältige Analyse der für biotische Betrachtungen erforderlichen abiotischen Parameter und deren Genauigkeitsgrenzen zur Auswahl der geeigneten Verfahren (so genau wie nötig bei geringstmöglichem Aufwand) erforderlich.

## **5 Zweidimensionale Modelle**

### **5.1 Modell in der Erosionsstrecke bei Klöden El-km 182 – 194**

#### **5.1.1 Einführung**

Für die Untersuchungen verschiedener Vorlandmaßnahmen innerhalb der "Erosionsstrecke" anhand eines zweidimensionalen HN-Modells wurde der Abschnitt El-km 182 - 194 bei Klöden (s. Anlage 5.1.1) ausgewählt. Dieser Abschnitt liegt im Bereich der aktuell stärksten Erosion (ca. 2 cm pro Jahr) und enthält all die Merkmale, die für die Untersuchung diverser Maßnahmen in den Vorländern notwendig sind.

- relativ eng anliegende HW-Deiche,
- weite Vorländer,
- einen Elbe-Altarm,
- Uferrehnen,
- für die Elbe typische Flußkrümmungen

Der Abschnitt wurde so gewählt, daß die numerisch erforderliche Anströmzone vor dem eigentlichen Untersuchungsgebiet ausreichend lang ist. Ab El-km 193,8 ist das Modell mit einem künstlichen Auslauf versehen. Dieser ist notwendig um im Bereich des Modellendes eine Rückströmung, die aus numerischen Gründe ungünstig wäre, zu vermeiden.

Folgende Vorlandmaßnahmen sollen mit diesem Modell untersucht werden:

- Deichrückverlegung,
- Vorlandabgrabung im Uferbereich,
- Wiederanschluß eines Altarms mittels einer Flutrinne,

#### **Allgemeine Zielsetzung der Vorlandmaßnahmen**

Die Vorländer sollen häufiger durch Hochwasserabflüsse überflutet werden, wobei, nicht wie bisher, ein ausschließliches Auffüllen von Unterstrom statt finden soll, sondern eine Überströmung angestrebt wird. Gleichzeitig soll es im Hauptgerinne zu Verringerung der Sohlenerosion kommen.

#### **5.1.2 Modellaufbau**

##### **5.1.2.1 Hydrodynamisch-numerisches (HN-)Modell**

Bei dem hier eingesetzten Verfahren FAST2D-DA handelt es sich um ein „Finite Volumen“-Verfahren, das zur Simulation stationärer Strömungen in Gerinnen mit komplexen Geomet-

rien eingesetzt werden kann. Die Bezeichnung FAST2D-DA steht als Akronym für Flow Analysis Simulation Tool of 2 Dimensions - Depth Averaged. FAST2D-DA berechnet für jedes Kontrollvolumen im Zentrumspunkt des aus Viereckselementen aufgebauten numerischen Gitternetzes den Vektor der über die Wassertiefe integrierten zeitlich gemittelten horizontalen Geschwindigkeitskomponenten, den Wasserstand sowie optional die Turbulenzparameter des an tiefengemittelte Strömungsberechnungen angepaßten Standard-k- $\epsilon$ -Modells.

Zur Diskretisierung des Strömungsgebiets wurde ein krummliniges Berechnungsgitter verwendet, das eine flexible Anpassung an Uferlinien und markante Geometrien erlaubt.

### **5.1.2.2 Erstellung des Geländemodells**

Für die Vorländer wurden die Höhendaten aus folgenden Topographischen Karten, Maßstab 1:10000, 1.Ausgabe 1993 des Landesvermessungsamt Sachsen Anhalt, entnommen:

M-33-2-D-a-3 Trebitz

M-33-2-D-a-4 Klöden

M-33-2-D-c-1 Pretzsch(Elbe)

M-33-2-D-c-2 Kleindröben

M-33-2-D-c-3 Bad-Schmiedeberg-Patzschwig

M-33-2-D-c-4 Priesitz

Die Höhenlinien wurden mittels eines Digitalisiertabletts digitalisiert und als 2D-Polylinien mit entsprechender Höhenangabe abgespeichert. Für den Flußschlauch lagen Profile basierend auf Peilungen von 1995 im Abstand von 100 Metern vor. Mit dem Triangulationsmodul von PREFAST [Prefast, 1997] wurde aus diesen Daten (s. Anlage 5.1.2) unter Beibehalt der Linieninformationen das Geländemodell in Form eines Dreieckgitters generiert. Auf den Einbau von Buhnen wurde verzichtet. Sie werden bei der Strömungsberechnung in Form von lokal erhöhten Rauheitswerten berücksichtigt.

### 5.1.2.3 Erstellung des Rechengitters

Für die Strömungsberechnung muß das Berechnungsgebiet durch ein strukturiertes Gitter beschrieben werden. Der Nachteil dieser Gitterart besteht darin, daß die Anzahl der Gitterelemente in I- und J-Index-Richtung für das ganze Gebiet konstant sein muß. Es können also nicht, um lokal die Informationsdichte zu erhöhen, zusätzliche Gitterzellen eingefügt werden. Um markante Geländestrukturen (Leitdeiche, Flußverlauf, ect.), die sich im Inneren des Berechnungsgebietes befinden, in einem strukturierten Gitter gut wiederzugeben, bietet das Gittergenerierungsprogramm PREFAST [PREFAST, 1997] die Möglichkeit, das Rechengitter aus mehreren Teilgittern, deren Ränder den Verlauf z.B. eines Leitdeiches haben, zusammensetzen. Das hier beschriebene Rechengitter wurde aus 11 separaten Gittern zusammengesetzt.

Zahlen zum Rechengitter:

Anzahl der Gitterzellen: 2452 x 206 = 505112	(126278) <sup>5</sup>
Zelle mit größter Fläche: 63 m x 24,5 m = 1543,5 m <sup>2</sup>	(6174 m <sup>2</sup> ) <sup>5</sup>
Zelle mit kleinster Fläche: 4,9 m x 0,5 m = 2,45 m <sup>2</sup>	(9,8 m <sup>2</sup> ) <sup>5</sup>

Die Topographie des Untersuchungsgebietes wurde mit INTPOL [PREFAST, 1997] von dem Geländemodell auf das Rechengitter übertragen (s. Anlage 5.1.3).

### 5.1.3 Modellkalibrierung

#### 5.1.3.1 Allgemeines

Eine 2D-HN-Modellierung mittels FAST2D wird durch diverse Parameter, welche hier in die Gruppen der Numerik- und Modellparameter aufgeteilt werden, geprägt. Die Numerikparameter (Relaxationsfaktoren, Abbruchkriterien, Diskretisierungsschema,...) bestimmen in erster Linie das Laufverhalten der Rechnung. Die Modellparameter spiegeln die physikalischen Gegebenheiten wieder.

Wesentliche Modellparameter:

- a) Abfluß
- b) Wasserspiegellage am Modelleinlaß
- c) Wasserspiegellage am Modellauslaß
- d) Rauheitsbeiwerte

---

<sup>5</sup> Die Werte in Klammern beziehen sich auf ein nachträglich ausgedünntes Gitter. Da erste Rechenläufe mit dem ursprünglichen feinen Gitter zu viel Rechenzeit benötigten, mußte für die Berechnungen durch Ausdünnen ein grobes Gitter erstellt werden.

Die Parameter a, c und d bleiben während der Rechnung unverändert, wohingegen der Wasserspiegel am Einlaß nur zur programminternen Generierung der Anfangsbedingung dient aber letztendlich ein Ergebnis der Rechnung darstellt. Die Wasserspiegellagen wurden aus Schlüsselkurven, die für den Modellein- und -auslaß erstellt wurden entnommen.

Zur Kalibrierung des Modells wurden die Rauheitsbeiwerte lokal und/oder global so variiert, daß die berechneten Wasserspiegelverläufe mit den entsprechenden Fixierungen bzw. 1D-Berechnungen übereinstimmen [Bonny, 1997]. Der zum Vergleich herangezogene Wasserspiegel wurde aus dem Ergebnisdatensatz entlang des Talweges extrahiert. Da schon die Fixierungen eine Ungenauigkeit bis zu  $\pm 0,1$  m enthalten, ist eine Differenz von 0,1 m zwischen berechnetem und gemessenem Wasserspiegel akzeptabel. Das Modell wurde für die Abflüsse  $Q=328$  m<sup>3</sup>/s (MQ) und  $Q=1220$  m<sup>3</sup>/s (MHQ) geeicht. Die maximalen Abweichungen zur entsprechenden Fixierung war in beiden Fällen kleiner als 0,1 m. Da es sich um ein Modell für Hochwasserereignisse handelt, wäre es wünschenswert gewesen auch für Abflüsse größer MHQ zu kalibrieren, was aber mangels aktueller Fixierungen für solche Ereignisse nicht möglich war.

### 5.1.3.2 Schlüsselkurvenerstellung für Modelleinlaß EI-km 182,0 und Modellauslaß EI-km 193,8

Aus vorhandenen Wasserspiegelfixierungen und den dazu gehörenden Abflüssen (in diesem Fall am Pegel Torgau) wurden Stützstellen für die Schlüsselkurve entnommen.

Folgende Fixierungen wurden verwendet:

1896	Q = 3300 m <sup>3</sup> /s	a.P.Torgau (*)	
31.01.1995	Q = 1220 m <sup>3</sup> /s	a.P.Torgau (**)	(MHQ-Bereich)
18.03.1997	Q = 580 m <sup>3</sup> /s	a.P.Torgau (**)	etwa in Höhe der Bühnenköpfe
9.05.1994	Q = 328 m <sup>3</sup> /s	a.P.Torgau (**)	(MQ-Bereich)
21.11.1994	Q = 206 m <sup>3</sup> /s	a.P.Torgau (**)	
23.08.1995	Q = 164 m <sup>3</sup> /s	a.P.Torgau	

(\*) Die Fixierung aus dem Jahre 1886 ist nur sehr eingeschränkt zu gebrauchen, da sie immerhin über 100 Jahre alt ist. In der Zwischenzeit ist es im Modellbereich zu erheblichen Baumaßnahmen und Tiefenerosion gekommen.

(\*\*) Mit diesen Fixierungen wurde das 1D-Modell geeicht.

Zusätzlich wurden mittels 1-D Berechnungen weitere Stützstellen generiert, die in ihrer Qualität von der Güte des verwendeten 1-D Modells abhängen. Das hier verwendete Modell von Bonny (s. Kap. 4.1) erstreckt sich von EI-km 163,0 bis EI-km 197,0. Die Schlüsselkurve aus welcher die Auslaßrandbedingungen für das 1-D Modell entnommen wurden, wurde für das Profil 197,0 generiert. Ungenauigkeiten die in dieser Schlüsselkurve enthalten sind, werden aufgrund der geringen Entfernung zum EI-km 193,8 (Auslaß des 2D-Modells) auf die dort generierte Schlüsselkurve übertragen. Eine weitere Unsicherheit entsteht für Abflüsse, die stark von jenen abweichen, für welche das 1-D Modell geeicht wurde.

Um die Güte der 1-D Berechnungen zu beurteilen, wurde eine Schlüsselkurve (s. Anlage 5.1.4.) für den im Modellgebiet liegenden Pegel Pretzsch/Mauken (Pegel ohne Durchflußmessung bei El-km 184,4) generiert. Da hier nur die Wasserstände bekannt sind, wurde zur Stützstellengenerierung folgendes Verfahren angewendet:

Abflußereignisse, die am Pegel Torgau (Pegel mit Durchflußmessung bei El-km 154,2) über 2 Tage annähernd stationär waren, wurden mit den Wasserständen am Pegel Mauken in Beziehung gebracht. Da die Fließzeit zwischen Torgau und Mauken mit 12 Stunden angenommen wurde, wurde das Abfluß - Wasserstands - Wertepaar aus dem Abfluß - Wert in Torgau am Tag n und dem Mittelwert aus den Wasserständen in Mauken am Tag n und n+1 gebildet. Die so gebildeten Werte belegen eine hinreichende Genauigkeit der Schlüsselkurve für Abflüsse bis zu 1500 m<sup>3</sup>/s.

Die untersuchten Durchflußereignisse lassen sich an Hand von Tab. 3.1 und Tab. 3.3 in die Hauptzahlen und Angaben zur Jährlichkeit einordnen. Im weiteren Text werden zur Abkürzung die untersuchten Durchflüsse mit folgenden Kürzeln bezeichnet:

$$Q = 1220 \text{ m}^3/\text{s}: \text{MHQ} \quad Q = 1800 \text{ m}^3/\text{s}: \text{HQ}_5 (\text{HQ5})$$

### 5.1.3.3 Rauheitsbeiwerte

Das Berechnungsgebiet wird in die drei Rauheitszonen Vorland, Hauptgerinne, und Bühnenbereich unterteilt. In der Literatur (z.B.: [NAUDASCHER, 1992]) werden folgende Rauheitsbeiwerte nach Gauckler/Manning/Stricklerwerte  $k_{St}$  angegeben:

- Vorland: Es besteht aus beweideten Wiesen mit spärlich verteilten kleinen Baum- bzw. Buschgruppen. Für ein "unebenes bewachsenes Vorland" wird ein Rauheitsbeiwert von 15 bis 25 m<sup>1/3</sup>/s<sup>2</sup> angegeben.
- Hauptgerinne: Für den Flußabschnitt wird ein maßgeblicher Korndurchmesser von  $d_m = 9,1$  bis 11,9 mm angegeben [Bfg, 1994]. Der Gauckler/Manning/Stricklerwert für "Natürliche Flußbetten mit starkem Geschiebetrieb" wird mit 28, der für "Natürliche Flußbetten mit mäßigem Geschiebetrieb" wird mit 33 bis 35 m<sup>1/3</sup>/s<sup>2</sup> angenommen.
- Bühnenbereich: Hier liegen die Bühnen dicht hintereinander (100m Abstände in Fließrichtung), so daß sich in den Bühnenfeldern im Falle der Bühnenumströmung Totwasserzonen bilden. Da die Bühnen nicht durch die Modellgeometrie abgebildet werden (das Modell dient der Untersuchung von Vorlandmaßnahmen), müssen sie durch eine erhöhte Rauheit modelliert werden. Die Bühnenköpfe werden bei MHQ mit 2 Meter Wassertiefe überströmt. Für MHQ wurde in den Bühnenbereichen ein Gauckler/Manning/Stricklerwert von 18 m<sup>1/3</sup>/s<sup>2</sup>, für HQ<sub>5</sub> und HQ<sub>50</sub> wurde ein Rauheitsbeiwert von 20 m<sup>1/3</sup>/s<sup>2</sup> angenommen.

## **Prinzipielle Wirkung von Buhnen und Ausuferung bezüglich des Rauheitsbeiwertes:**

### Umströmte Buhnen:

In den Feldern zwischen den Buhnen bilden sich Totwasserzonen. Zwischen den Buhnenfeldern und dem Hauptgerinne entsteht zwischen den Teilströmen unterschiedlicher Geschwindigkeit eine Scherschicht, in der durch Instabilität energiereiche und relativ großräumige Wirbel erzeugt werden, welche einen intensiven Impulstransport zwischen den Teilströmen verursachen. Dieser Effekt führt dazu, daß, verglichen mit einer gedachten rauhen Trennwand, welche die Buhnenköpfe miteinander verbindet, die bremsende Wirkung der Buhnen weiter über die Streichlinie hinaus geht als im Falle der Trennwand.

Bei ausufernden Wasserständen entsteht eine solche Scherschicht auch zwischen dem Vorlandbereich und dem Hauptgerinne, was den Effekt hat, daß der Gauckler-Manning-Strickler-Wert im Flußbett ggf. beim Ausuferen trotz größerer Wassertiefe wieder kleiner werden kann.

### Überströmte Buhnen:

In diesem Fall ist der Gauckler-Manning-Strickler-Wert stark vom Wasserspiegel abhängig. Mit sinkendem Wasserspiegel nimmt der Rauheitsbeiwert stark ab, da die unregelmäßigen Konturen bei absinkendem Wasserstand mehr und mehr bloßgelegt werden und damit stärker zur Wirkung kommen.

#### **5.1.4 Null-Zustand (V0)**

Da die Untersuchungen Veränderungen im Vorland betrachten, werden in den weiteren Ausführungen nur ausufernde Durchflußereignisse erörtert.

#### **Strömung über den Vorländern bei MHQ (1220 m<sup>3</sup>/s)**

Von El-km 182 bis 187 verlaufen die Hochwasser (HW)-Deiche mit Ausnahme der Bucht bei Pretzsch beidseitig relativ nahe am Flußschlauch. Die ufernahen Vorlandbereiche liegen in diesem Abschnitt so hoch, daß sie bei MHQ nicht überströmt werden (s. Anlage 5.1.3 und 5.1.7a). Zwischen El-km 184 und 185 wird dadurch die Bucht bei Pretzsch vom aktiven Strömungsgeschehen so abgeriegelt, daß sie nur von Unterstrom aufgefüllt wird. Ab El-km 187 tritt der rechte HW-Deich zurück und bildet von El-km 187 bis 190 ein bis zu 780 m breites Vorland. Dieses wird bei MHQ von Unterstrom aufgefüllt, da das hohe ufernahe Vorland zwischen El-km 187 und 188,5 ein Einströmen von Oberstrom in das Vorland verhindert. Auf der linken Seite tritt der HW-Deich ab El-km 187,5 zurück. Das bis zu 2300 m breite Vorland wird von einem Leitdeich und anschließend von hochgelegenen Vorland, welches sich bis El-km 192,7 erstreckt, weitgehend abgeriegelt. Die beiden Einströmbereiche in das Vorland, der eine beim Leitdeichende (LDE) mit einer mittleren Wassertiefe von 0,25 m und der andere bei El-km 191 mit einer mittleren Wassertiefe von ca. 0,3 m tragen

nur minimal zu einer Durchströmung des linken Vorlandes bei. Ein Auffüllen findet auch hier größtenteils von Unterstrom statt.

### **Strömung und Wasserspiegellage im Hauptgerinne bei MHQ**

Bei km 190, wo sich ein Krümmungskolk befindet, liegt die Schlüsselstelle des Untersuchungsgebietes. In dieser Krümmung liegt eine hochwasserrelevante Engstelle, die linksseitig durch das hohe Vorland und rechtsseitig durch den wieder an den Flußschlauch angenäherten HW-Deich gebildet wird (s. Anlage 5.1.3 und 5.1.7a). Der Wasserspiegel fällt im Vorfeld dieser Engstelle verglichen zum restlichen Gebiet zunehmend stärker ab (mittleres Gefälle im Untersuchungsgebiet  $0,22\lambda$ , Starkgefälle vor der Engstelle  $0,4\lambda$ ) (s. Anlage 5.1.9a). Die Strömungsgeschwindigkeit erreicht in der Engstelle ein lokales Maximum (s. Anlage 5.1.9c).

### **Strömung über den Vorländern bei HQ<sub>5</sub> (1800m<sup>3</sup>/s)**

Die Vorländer werden weitestgehend von Oberstrom überströmt (s. Anlage 5.1.14a). Bereiche, die bei MHQ noch trocken lagen, werden nun mit einer Wassertiefe von 0,25 bis 0,5 m überströmt. Die Vorländer werden nicht mehr durch die erhöhte Uferbereiche abgeschirmt. Der HW-Deich auf der rechten Seite hat damit im Vergleich zu MHQ einen stärkeren Einfluß auf das Strömungsgeschehen.

### **Strömung und Wasserspiegellage im Hauptgerinne bei HQ<sub>5</sub>**

Da der Verlauf des rechten HW-Deiches einen stärkeren Einfluß als bei MHQ hat, ist die Auswirkung der Hauptgerinne-Engstelle (EI-km 190) auf den Wasserspiegelverlauf und die Strömungsgeschwindigkeiten stärker ausgeprägt. Zwischen EI-km 188 und 189 ist ein durch die Stauwirkung der Engstelle bedingter flacher Wasserspiegelverlauf zu erkennen. Zwischen EI-km 189 und 190 nimmt das Wasserspiegelgefälle mit zunehmender Verjüngung zu (s. Anlage 5.1.15a). Entsprechend verhält sich die Strömungsgeschwindigkeit. Im Bereich des flachen Wasserspiegelverlaufes nimmt die Strömungsgeschwindigkeit ab, um dann zwischen km 189 und 190 im Bereich der Verjüngung auf ein Maximum anzusteigen (s. Anlage 5.1.15c).

### 5.1.5 Variante Flutrinne links (VF)

Um das linksseitige Vorland im Bereich von Bösewig stärker und früher zu überfluten und gleichzeitig das Hauptgerinne im Bereich Klöden (EI-km 189 bis 192) zu entlasten, bietet es sich an, den Bösewiger Elbe-Altarm von Oberstrom durch eine Flutrinne wieder an das Hauptgerinne anzuschließen (s. Anlage 5.1.1).

Da die Schutzwirkung des Leitdeiches bei EI-km 188 bei Abflußereignissen, die deutlich über MHQ liegen, erhalten bleiben soll, muß die Flutrinne den Leitdeich in ihrem Verlauf umgehen. Die Flutmulde hat ihren Einlauf bei EI-km 188,2 und geht nach 2380 m in den Altarm über (s. Anlage 5.1.6). Sie wurde modelltechnisch als Trapezgerinne mit einer Breite von 70 m und einem Gefälle von 1:2000 gestaltet. Die Steigung der Flanken beträgt 1:3. Damit sie bei einem Abfluß von ca. 570 m<sup>3</sup>/s bzw. bei einem Wasserstand von MW+1 m anspringt, wurde die Einlaufkante der Flutmulde auf 71,3 m+NN gelegt. Die Abgrabtiefe des Vorlandes beträgt im Mittel 1,3 m und maximal 2,15 m (s. Anlage 5.1.10c).

Durch die Flutmulde werden zwei durchflußbehindernde Höhenrücken im Vorland durchstoßen. Der erste befindet sich bei Flutmulden-km 1,0 zwischen dem Ende des Leitdeiches und dem hochgelegenen Vorland, der zweite befindet sich bei Flutmulden-km 1,8 (s. Anlage 5.1.10ac).

#### 5.1.5.1 Zusammenfassung der Auswirkungen der Flutrinne

**MHQ:** Mit der Flutmulde konnte ein deutliches Anheben des Wasserspiegels und ein verstärktes Überströmen des gesamten linken Vorlandes bei EI-km 188 bis 194 erreicht werden (s. Anlagen 5.1.7abc und 5.1.10c). Gleichzeitig kam es im Hauptgerinne unterhalb EI-km 188 (Einlauf in die Flutmulde) zu einer Verringerung des Abflusses und der Strömungsgeschwindigkeit (s. Anlagen 5.1.8abc und 5.1.9c). Der Wasserspiegelverlauf entlang des Hauptgerinnes zeigt, daß der Einfluß der Engstelle bei EI-km 190 durch den Einbau der Flutmulde abgenommen hat. Das starke Wasserspiegelgefälle im Hauptgerinne zwischen EI-km 189 und 190 wurde durch die Flutmulde von  $0,4\lambda$  bei V0 auf  $0,33\lambda$  bei VF verringert (s. Anlage 5.1.9a).

**HQ<sub>5</sub>:** Die Auswirkung der Flutrinne auf den Wasserspiegel über dem linken Vorland ist verglichen zu MHQ deutlich geringer (s. Anlagen 5.1.13abc und 5.1.16c), wohingegen die Auswirkung auf den Wasserspiegelverlauf im Flußschlauch etwas stärker ist.

Die das Hauptgerinne entlastende Wirkung der Flutmulde liegt in einer ähnlichen Größenordnung wie bei MHQ (s. Tabelle 5.1.1). Die Strömungsgeschwindigkeit und das Wasserspiegelgefälle im Bereich der Hauptgerinne-Engstelle bei EI-km 190 haben deutlich abgenommen (s. Anlage 5.1.14abc und 5.1.15abc). Das starke Wasserspiegelgefälle zwischen EI-km 189 und 190 wurde von  $0,55\lambda$  bei V0 auf  $0,44\lambda$  bei VF verringert.

### 5.1.5.2 Abfüsse und Abflußflächen am Referenzprofil Leitdeichende - Klödener Kolk

Um die Veränderungen quantitativ zu erfassen, wurden entlang einer Referenzlinie (s. Anlage 5.1.11a) die Strömungsgeschwindigkeiten, der Abfluß und die Sohlschubspannungsgeschwindigkeiten aus den Ergebnisdatensätzen entnommen und in 1D-Diagrammen sowohl für die Null-Variante (V0) als auch für die Variante mit Flutrinne (VF) aufgetragen (s. Anlage 5.1.11bcd und 5.1.17bcd). Die Referenzlinie beginnt am Ende des Leitdeiches und schneidet das Hauptgerinne im Bereich des Klödener Kolkes (EI-km 190).

Bereich	Abflußanteil [ %]		Differenz [ %]	
	MHQ	HQ <sub>5</sub>	MHQ	HQ <sub>5</sub>
Hauptgerinne V0	96,93	85,10	-11,36	-12,34
Hauptgerinne VF	85,91	74,60		
Vorland beim Leitdeichende V0	3,06	14,90	+360,4	+70,57
Vorland beim Leitdeichende VF	14,09	25,40		

**Tab. 5.1: Umverteilung des Abflusses quer zur Referenzlinie**

Bereich	Abflußfläche [m <sup>2</sup> ]		Differenz [ %]	
	MHQ	HQ <sub>5</sub>	MHQ	HQ <sub>5</sub>
Hauptgerinne V0	804,2	843,6	-2,8	-1,6
Hauptgerinne VF	781,7	830,1		
Vorland beim Leitdeichende V0	77,8	138,7	+210,3	+122,4
Vorland beim Leitdeichende VF	241,4	308,3		

**Tab. 5.2: Abflußflächen entlang der Referenzlinie**

**MHQ:**

In Anlage 5.1.11bcd fällt auf, daß im Bereich des Leitdeiches (Flutmulden-km 1,0) zwar der Abfluß bei VF stark zunimmt, die Maximalwerte der Strömungsgeschwindigkeit und der Sohlschubspannungsgeschwindigkeit sich aber nur gering verändern. Anhand der Anlage 5.1.10c und 5.1.6b ist ersichtlich, daß dieser Bereich eine Engstelle zwischen dem Leitdeichende und dem hochgelegenen Vorland bildet. Hier staut sich das Wasser auf, bis es trotz geringer Wassertiefe (s. Anlage 5.1.6b) mit hoher Geschwindigkeit in Verbindung mit einem sprunghaften Abfall des Wasserspiegels (s. Anlage 5.1.10.c) die Engstelle durchströmt.

**Veränderungen im Referenzprofil im Bereich Flutmulde/Leitdeichende**

Auf Grund des geringen Abflußquerschnittes (77,8m<sup>2</sup>) in der LDE-Engstelle werden in diesem Bereich bei der Nullvariante bei MHQ nur 3,06% des Gesamtabflusses abgeführt. Durch den Einbau der Flutmulde wird der Abflußquerschnitt um 216% auf 246,1m<sup>2</sup> erweitert, was zu einer Vergrößerung des Abflusses in diesem Bereich um 360,4% führt (s. Anlage 5.1.6b und 5.1.11d).

Die deutlich überproportionale Vergrößerung des Abflusses gegenüber der Abflußfläche ist in erster Linie damit zu begründen, daß sich im betrachteten Querschnitt das Verhältnis aus Abflußfläche und benetztem Umfang vergrößert hat. (hydraulischer Radius:  $R_{V0} = 0,57 \text{ m}$  ,  $R_{VF} = 1,22 \text{ m}$  ). Die Schubspannungsgeschwindigkeit, welche proportional zur Sohlschubspannung ist, verhält sich bis auf zwei Stellen, was später noch erläutert wird, äquivalent zur Strömungsgeschwindigkeit.

### **Veränderungen im Referenzprofil im Bereich des Hauptgerinnes**

Entsprechend der gestiegenen Abflußmenge im Bereich des Leitdeichendes hat sich der Abfluß im Hauptgerinne um 11% von 97% auf 86% verringert. Hier ist zum einen die maximale Strömungsgeschwindigkeit um 8,9% von 2,1m/s auf 1,9m/s gesunken, und zum anderen ist der Wasserspiegel 0,08 m gesunken. Dem gesunkenen Wasserspiegel entsprechend hat sich die Abflußfläche um 2,8% verringert (s. Anlage 5.1.6b). Die Schubspannungsgeschwindigkeit sankt in der Mitte des Hauptgerinnes um 8,7%. Die Spitze im Verlauf der Schubspannungsgeschwindigkeit bei 1070 m Distanz zum Leitdeichende (s. Anlage 5.1.11d) entsteht durch die Bühnen, die sich in der Krümmung bei El-km 190 befinden und im Modell als Bereich erhöhter Sohlrauheit erscheinen. Da bei der Berechnung der Schubspannungsgeschwindigkeit die Sohlrauheit eingeht, vergrößerten sich dort die Werte der Schubspannungsgeschwindigkeit entsprechend.

### **Veränderungen im gesamten Referenzprofil**

Durch den Einbau der Flutmulde hat sich die Abflußfläche des gesamten Profils für MHQ von 882 m<sup>2</sup> auf 1027,8 m<sup>2</sup> um 16,5% vergrößert.

#### **HQ<sub>5</sub>:**

Das Vorland entlang des Referenzprofils wird bei HQ<sub>5</sub> bei V0 und VF deutlich überströmt (s. Anlage 5.1.12b). Ähnlich wie bei MHQ fällt an der Engstelle beim Leitdeichende der Wasserspiegel sprunghaft um 0,5 m (vergleiche für MHQ bei V0 Anlage 5.1.16ac). Durch die Flutmulde wird dieser Sprung zwar entschärft, ein deutliches Anheben des Wasserspiegels (wie bei MHQ) im dahinter liegenden Vorland ist jedoch nicht zu verzeichnen (s. Anlage 5.1.16ac).

### **Veränderungen im Referenzprofil Bereich Flutmulde/Leitdeichende**

Der Abflußanteil im Bereich des Leitdeichendes vergrößert sich durch die Flutmulde um 70,6% von 268m<sup>3</sup>/s auf 457m<sup>3</sup>/s (s. Tabelle 5.1.1 und Anlage 5.1.17c). Strömungsgeschwindigkeit und Schubspannungsgeschwindigkeit nehmen dort, obwohl der Abfluß gestiegen ist, durch die Entschärfung der Leitdeichende-Engstelle bei HQ<sub>5</sub> ab (s. Anlage 5.1.17ad). Die Abflußfläche in der Engstelle hat um 122% von 138,7 m<sup>2</sup> auf 308,3 m<sup>2</sup> zugenommen.

### **Veränderungen im Referenzprofil Bereich Hauptgerinne**

Die Abflußmenge im Bereich des Hauptgerinnes hat sich von 1532 m<sup>3</sup>/s um 12,3% auf 1343 m<sup>3</sup>/s verringert. Die Abflußfläche hat sich durch das Absinkende Wasserspiegels um 0,07 m hier um 1,6% von 843,6 m<sup>2</sup> auf 830,3 m<sup>2</sup> verringert. Das Strömungsgeschwindigkeitsmaximum ist um 10,4% von 2,31 m/s auf 2,07 m/s gesunken.

### **Veränderungen im gesamten Referenzprofil**

Durch den Einbau der Flutmulde hat sich die Abflußfläche des gesamten Profils für  $HQ_5$  von 1332 m<sup>2</sup> auf 1370 m<sup>2</sup> um 2,5% vergrößert.

#### **5.1.5.3 Veränderungen im Wasserspiegel- und Strömungsgeschwindigkeitsverlauf entlang der Flußachse**

Aus den 1D-Voranalysen für den Nullzustand ist ersichtlich, daß für Abflüsse  $\geq$  MHQ bei EI-km 190 ein Abflußflächenminimum vorliegt. Die Elbe staut sich an dieser Engstelle auf, was Oberstrom zu einem flacheren Wasserspiegelverlauf führt. Im Bereich vor der Engstelle bildet sich eine Starkgefällestrecke aus, die bei EI-km 190 endet. Durch den Einbau der Flutrinne wird der Gesamtabflußquerschnitt zwischen dem Leitdeichende und dem rechten HW-Deich bei EI-km 190 vergrößert, wodurch die Stauwirkung verringert wird.

**MHQ:** Der Wasserspiegel hat sich zwischen der Hauptgerinne-Engstelle (EI-km 190) und dem Modellbeginn (EI-km 182) um durchschnittlich 0,12 m gesenkt. Die maximale Wasserspiegelabsenkung von 0,17 m erhält man im Bereich des Flutmuldeneinlaufes bei EI-km 188,2 (s. Anlage 5.1.9ab). Das große Wasserspiegelgefälle zwischen EI-km 189 und 190 ist von 0,4Y bei V0 auf 0,33Y bei VF verringert worden.

In Anlage 5.1.9c ist ersichtlich, daß die Strömungsgeschwindigkeit im Hauptgerinne von EI-km 182 bis zum Einlauf der Flutmulde bei EI-km 188,2 für VF zugenommen und ab der Flutmulde abgenommen hat. Genau in der Engstelle erhält man eine Abnahme der Geschwindigkeit um 0,18 m/s von 2,07 m/s auf 1,89 m/s. Die Zunahme vor EI-km 188,2 ist mit dem geringeren Einstau durch die Engstelle im Hauptgerinne, die durch die Flutmulde entlastet wurde, zu erklären. Im Vorfeld der Flutmulde wird die gleiche Abflußmenge jetzt bei niedrigerem Wasserspiegel abgeführt. Die Strömungsgeschwindigkeit unterhalb des Flutmuldeneinlaufes ist geringer geworden, da ein deutlich größerer Teil des Gesamtabflusses jetzt durch die Flutmulde und den Elbe-Altarm abgeführt wird.

**HQ<sub>5</sub>:** Für  $HQ_5$  ergibt sich prinzipiell das gleiche Bild wie für MHQ, nur daß die Auswirkungen der Flutrinne auf die Wasserspiegellage und Strömungsgeschwindigkeit im Hauptgerinne stärker sind (s. Anlage 5.1.18ab). Die durchschnittliche Wasserspiegelabsenkung zwischen EI-km 182 und EI-km 190 beträgt 0,11 m, das Maximum bei EI-km 188,2 beträgt 0,19 m. Die maximale Abnahme der Geschwindigkeit von 2,31 m/s auf 2,06 m/s beträgt bei  $HQ_5$  0,25 m/s (s. Anlage 5.1.15ab).

#### 5.1.5.4 Veränderungen in den Vorländern

##### **Vorland Bösewig/Elbe-Altarm:**

**MHQ:** Das linke Vorland ist bei V0 von Unterstrom und in sehr geringem Maß durch die Leitdeichende - Engstelle von Oberstrom an das Hauptgerinne angeschlossen. Auf Grund des sehr geringen Zuflusses durch die Leitdeichende-Engstelle bildet sich über dem Vorland ein sehr geringes Wasserspiegelgefälle (s. Anlage 5.1.7a und 5.1.10c). Die beiden Engstellen im Bereich des Leitdeichendes werden durch die Flutmulde eliminiert und es kommt dort nicht mehr zu einem Aufstau. Durch den Einbau der Flutmulde wird der Altarm und das Vorland von Oberstrom aufgefüllt und durchströmt (s. Anlage 5.1.8b). Die Strömungsgeschwindigkeit im Elbe-Altarm hat sich von 0,15 m/s auf 0,3 m/s verdoppelt. Über dem Vorland bildet sich nun ein Wasserspiegelgefälle. Der Wasserspiegel ist durch die Flutmulde vor den Engstellen um maximal 0,27 m gesunken und nach den Engstellen um 0,23 m gestiegen (s. Anlage 5.1.7c und 5.1.10c).

**HQ<sub>5</sub>:** Da bei HQ<sub>5</sub> das Vorland bei Bösewig schon bei V0 oberstromigen Anschluß an das Hauptgerinne hat und eine Überströmung stattfindet, kommt es durch die Flutmulde zu keiner prinzipiellen Änderungen des Strömungsszenariums in diesem Gebiet. Die Veränderungen durch die Flutmulde fallen im Vergleich zu MHQ gering aus. Der Wasserspiegel wird nur minimal (um 0,07 m) angehoben (s. Anlage 5.1.16c). Die Strömungsgeschwindigkeit im Elbe-Altarm ist durch die Maßnahme um 35% von 0,24 m/s auf 0,32 m/s gestiegen.

##### **Vorland rechts EI-km 187 bis 190 und EI-km 190,5 bis 193,5**

##### **MHQ:**

Vorländer, welche von Unterstrom aufgefüllt werden, haben im Falle des stationären Abflusses die Wasserspiegelhöhe des Hauptgerinneabschnittes mit dem sie in Verbindung stehen.

**Vorland rechts EI-km 187 bis 190:** Das rechte Vorland bei EI-km 187 bis 190 wird von Unterstrom aufgefüllt. Entsprechend der Wasserspiegelabsenkung des Elbeabschnittes EI-km 188,5 bis 190 mit welchem das Vorland in Verbindung steht, hat sich durch den Einbau der Flutmulde der Wasserspiegel über dem Vorland im Vergleich zum Nullzustand um 0,15 m gesenkt (s. Anlage 5.1.7c)

**Vorland rechts EI-km 190,5 bis 193,5:** Da sich der Wasserspiegel im Bereich des Hauptgerinnes, mit welchem das Vorland zwischen Klöden und Schützberg in Verbindung steht, durch die Flutmulde kaum verändert hat, ist auch keine nennenswerte Wasserspiegelveränderung über dem rechten Vorland zu beobachten. Die Strömungsgeschwindigkeiten haben sich hier großräumig geringfügig verringert, da ein Teil der Abflußmenge durch die Flutmulde auf die linke Seite des Hauptgerinnes verlagert wurde (s. Anlage 5.1.8c)

##### **HQ<sub>5</sub>:**

**Vorland rechts EI-km 187 bis 190:** Das Vorland wird bei V0 und VF von Oberstrom überströmt. Entsprechend der Wasserspiegelabsenkung im Hauptgerinne in Bereich EI-km 187 bis 188 stellt sich ein um 0,18 m abgesenkter Wasserspiegel über dem Vorland ein.

**Vorland rechts EI-km 190,5 bis 193,5:** Wie auch bei MHQ gibt es in diesem Vorland keine nennenswerten Veränderungen bezüglich des Wasserspiegels. Die Strömungsgeschwindigkeiten haben sich auch hier großräumig geringfügig verringert.

### **5.1.6 Variante Rückdeichung (VR) bei MHQ**

Vom Staatlichen Amt für Umweltschutz Dessau/Wittenberg [StAU DESSAU, 1994] wurde das Gebiet zwischen Mauken, Kleindröben und Klöden unter dem Gesichtspunkt des Zugeswinnes an Renaturierungsraum entlang der Elbe als mögliche Rückdeichungsfläche vorgeschlagen. Diese Rückdeichung wird zwischen Mauken und Kleindröben durch die Regionalstraße 4(5)A und zwischen Kleindröben und Klöden durch das Kleindröbener Riß, welches nicht eingedeicht werden soll, begrenzt (s. Anlage 5.1.1). Durch die vorgeschlagene Rückdeichung werden 248 ha Überflutungsfläche gewonnen.

In der hier gerechneten Variante wurde der alte HW-Deich im Modell vollständig entfernt.

#### **5.1.6.1 Zusammenfassung der Auswirkungen der Deich-Rückverlegung**

**MHQ:** Mit der Rückdeichung wurde im Hauptgerinne oberhalb der Rückdeichung und im Bereich der Rückdeichung eine Wasserspiegelabsenkung erreicht. In der Engstelle bei EI-km 190 ist keine nennenswerte Strömungsentlastung im Hauptgerinne zu verzeichnen. Das rechte Vorland bei EI-km 188 hat durch die Rückdeichung einen oberstromigen Anschluß zum Hauptgerinne erhalten und wird nun überströmt. Hier kam es auch zu einer Anhebung des Wasserspiegels. Die Verhältnisse über dem linken Vorland haben sich nicht verändert.

#### **5.1.6.2 Abflüsse, Strömungsgeschwindigkeit und Wasserspiegellagen am Referenzprofil Leitdeichende – Klödener Kolk**

Entlang einer Referenzlinie b (s. Anlage 5.1.19), die am Ende des Leitdeiches beginnt und das Hauptgerinne im Bereich des Klödener Kolkes (EI-km 190) schneidet, wurden die Strömungsgrößen aus den Ergebnisdatensätzen entnommen und in 1D-Diagrammen sowohl für die Null-Variante (V0) als auch für die Variante mit Rückdeichung (VR) aufgetragen.

Im Bereich der Engstelle bei EI-km 190 nähert sich der rückverlegte HW-Deich wieder dem Hauptgerinne an und trifft dann weiter stromabwärts auf den alten HW-Deich (s. Anlage 5.1.19a). Der Abflußquerschnitt entlang der Referenzlinie wird dadurch rechts des Hauptgerinnes erweitert (s. Anlage 5.1.19c).

**MHQ:** Wasserspiegel und Strömungsgeschwindigkeit haben sich bei EI-km 190 durch die Rückdeichung nicht nennenswert verändert. Das linke Vorland wird wie bei V0 im wesentli-

chen von Unterstrom aufgefüllt. Der Abflußanteil, welcher durch die Engstelle beim Leitdeiche in das linke Vorland einströmt, beträgt 3% des Gesamtabflusses (s. Anlage 5.1.26). Somit werden wie bei V0 97% des Abflusses durch die Engstelle im Hauptgerinne und über das rechte Vorland bei EI-km 190 abgeführt. Daß es durch die Rückdeichung trotz der Vergrößerung des Abflußquerschnittes (s. Anlage 5.1.19b) nur zu einer sehr geringen Entlastung ( $\Delta Q_{\text{Hauptgerinne}} = -2\%$ ,  $\Delta U_{\text{max,Hauptgerinne}} = -2\%$ ) im Hauptgerinne kam, ist mit den besonderen Gelände- und Strömungsverhältnissen in diesem Bereich zu erklären (s. Anlage 5.1.22). Bei Variante V0 verläuft der Deich im Bereich von EI-km 190 parallel zum Hauptgerinne, wohingegen sich der rückverlegte Deich bei EI-km 190 dem Hauptgerinne annähert. Auf der Höhe von EI-km 190,25 beginnt rechtsseitig genau in der engsten Stelle zwischen rückverlegtem Deich und Hauptgerinne ein Höhenrücken, der eine Barriere für die vom Vorland kommende Strömung darstellt.

Die Barriere im Vorland und die Impulsumlenkung (durch den Verlauf des rückverlegten Deiches) der Strömung über dem rechten Vorland in Richtung Hauptgerinne führen dazu, daß der Abfluß aus dem rechten Vorland schon vor EI-km 190 in das Hauptgerinne gelenkt wird (s. Anlage 5.1.22b und 5.1.21b). Die durch die Rückdeichung hinzugewonnene Abflußfläche ist damit kaum abflußwirksam.

### **5.1.6.3 Abflüsse, Strömungsgeschwindigkeit und Wasserspiegellagen am Referenzprofil Leitdeich - EI-km 188,5 - Vorland**

Das Referenzprofil c wurde so gelegt, daß es das Hauptgerinne in einem Bereich schneidet, in welchem eine große Entlastung zu erwarten war. Außerdem sollte ein großer Bereich des Vorlandes, der nicht im Bereich der Vorlandeinströmung liegt, von dem Profil erfaßt werden (s. Anlage 5.1.19a).

**MHQ:** Durch die Rückdeichung wird der Abfluß im Hauptgerinne bei EL-km 188,5 von  $1085\text{m}^3/\text{s}$  auf  $888\text{m}^3/\text{s}$  reduziert, was einer Abnahme von 18% entspricht. Die maximale Strömungsgeschwindigkeit hat sich hier um 16% von  $1,65\text{m/s}$  auf  $1,37\text{m/s}$  verringert. Trotz des hochgelegenen, ufernahen, rechtsseitigen Vorlandes im Bereich EI-km 185 bis 186 und zwischen EI-km 187 bis 188,5 kommt es zu einer deutlichen Überströmung des gesamten rechten Vorlandes (s. Anlage 5.1.25). Der Wasserspiegel hat sich dort im Mittel um  $0,04\text{m}$  erhöht ( $\Delta WSP_{\text{max}}=0,09\text{m}$ ). Auf der linken Seite des Hauptgerinnes ist der Wasserspiegel im Mittel um ca.  $0,06\text{m}$  gesunken (s. Anlage 5.1.19c), die Strömungsgeschwindigkeit hat sich dort nur geringfügig verringert (s. Anlage 5.1.25).

#### **5.1.6.4 Veränderungen im Wasserspiegel- und Strömungsgeschwindigkeitsverlauf entlang der Flußachse**

Der Bereich zwischen EL-km 185 und 187 mit den nah am Hauptgerinne verlaufenden HW-Deichen bildet im Nullzustand eine lange Engstelle, die eine entsprechende stauende Wirkung hat. Durch die Rückdeichung kommt es bei EI-km 185 zu einer sprunghaften Erweiterung des Abflußquerschnittes, womit die Stauwirkung des unterhalb liegenden Abschnittes verloren geht. Demzufolge kommt es im Vorfeld der Rückdeichung zu einer deutlichen Wasserspiegelabsenkung und zu einer Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeit.

**MHQ:** Der Wasserspiegel sinkt im Bereich oberhalb der Rückdeichung um bis zu 0,17 m (s. Anlage 5.1.23ab). Die Strömungsgeschwindigkeit hat sich in diesem Bereich geringfügig erhöht (s. Anlage 5.1.23c), da dort der gesamten Abflußmenge durch den niedrigeren Wasserspiegel weniger Abflußquerschnitt zur Verfügung steht. Bei EI-km 186 beginnt die Strömungsgeschwindigkeit deutlich zu sinken, da es zwischen EI-km 186 und 187 aufgrund der Vorlandtopographie (s. Anlage 5.1.19a) zu einem verstärkten Einströmen in das rechte Vorland kommt. Zwischen EI-km 186,5 und 189,5 ist eine deutliche Entlastung des Hauptgerinnes zu beobachten. In dem Bereich EI-km 189 bis 190 strömt der über das Vorland abgeführte Abflußanteil wieder in das Hauptgerinne zurück und es stellen sich mit V0 übereinstimmende Wasserspiegellagen und Strömungsgeschwindigkeiten ein (s. Anlage 5.1.23).

#### **5.1.6.5 Veränderungen in den Vorländern**

##### **Vorland Bösewig/Elbe-Altarm:**

**MHQ:** Das linksseitige Vorland zwischen EI-km 189 und 193 wird bei VR nach wie vor von Unterstrom aufgefüllt. Die geringe Abflußmenge, die im Bereich des Leitdeichendes in das Vorland einströmt, entspricht der Abflußmenge bei V0 (s. Anlage 5.1.26a, 5.1.27). Die Strömungs- und Wasserspiegelverhältnisse werden im Bereich des Elbealtarmes durch die Rückdeichung nicht verändert (s. Anlage 5.1.20c, 5.1.21c). Die große Differenz der Wasserspiegellage hinter dem Leitdeich (blauer Bereich in Anlage 5.1.20c) kommt dadurch zustande, daß bei V0 die Startwasserspiegellage der Berechnung weitgehend unverändert bleibt, da über die sehr schmale Verbindung zum restlichen Vorland (s. Anlage 5.1.20a) kaum ein Austausch mit diesem stattfindet.

##### **Vorland rechts EI-km 187 bis 190**

**MHQ:** Das ursprüngliche Vorland rechts zwischen EI-km 187 und 190 wird in Folge der Rückdeichung von Oberstrom überströmt. Die mittlere Strömungsgeschwindigkeit hat sich in diesem Bereich um ca. 0,16 m/s erhöht (s. Anlage 5.1.21c). Der Wasserspiegel ist um maximal 0,2 m gestiegen (s. Anlage 5.1.20c), da dieser Bereich nun einen oberstromigen Anschluß hat.

## **Vorland rechts EI-km 190,5 bis 193,5**

**MHQ:** Über dem rechten Vorland zwischen EI-km 190,5 und 193,5 sind nur geringste Veränderungen zu beobachten (s. Anlage 5.1.20c, 5.1.21c), die mit den modifizierten An- bzw. Einströmverhältnissen rechts von EI-km 190,25 zusammenhängen (s. Anlage 5.1.22). Die Abflußmenge, die dort in das Vorland einströmt, hat sich erhöht, was im dahinterliegenden Vorland eine Wasserspiegelerhöhung bewirkt.

### **5.1.7 Ausblick**

Die Wirkung der Deichrückverlegung wird für HQ<sub>5</sub> noch ausgewertet und im Bericht 1999 erläutert. Gleichmaßen wird dort die Bewertung der Untersuchung von Uferabgrabungen und der Vergleich mit anderen Modellarten erfolgen.

Beide bisher untersuchte Maßnahmen (Flutrinne und Rückdeichung) bewirken (unter Annahme einer festen Sohle):

#### **Oberstrom der Maßnahme (oberhalb EI-km VF 188,2 , VR 185)**

Im Hauptgerinne:

- ein Absinken des Wasserspiegels,
- eine Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeit (stärkere Sohlbelastung).

#### **Im Bereich der Maßnahmen: (VF: 188,2 bis ca.193 , VR 185 bis 190,3)**

Im Hauptgerinne:

- ein Absinken des Wasserspiegels,
- eine Verringerung der Strömungsgeschwindigkeit (geringere Sohlbelastung).

Im Vorland, wo Maßnahme vorgenommen wird:

- einen Anstieg des Wasserspiegels und eine Überströmung.

## **5.2 Modell der Rückdeichung bei Lenzen El-km 475 – 485,5**

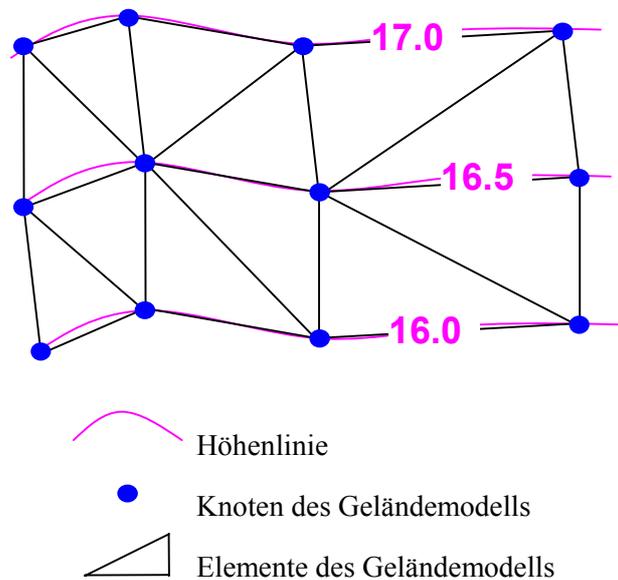
### **5.2.1 Topographische Daten des Rückdeichungsbereichs**

Das zweidimensionale hydrodynamisch-numerische Modell (2D-Modell) des Flußabschnittes im Bereich Lenzen wurde 1996 durch die BAW im Auftrag des Landesumweltamts Brandenburg erstellt [BAW, 1997a]. Im Rahmen des Forschungsprojektes Elbe-Ökologie wird es für weitere Untersuchungen genutzt und erweitert. Erste Ergebnisse der Zusatzuntersuchungen wurden im Zwischenbericht [BAW, 1998c] vorgestellt. Für das Forschungsprojekt wurden mittels Befliegungen neue Daten bezüglich Bewuchs und Topographie im geplanten Rückdeichungsbereich erhoben. An dieser Stelle folgt ein Vergleich der 1996 für die Erstellung des Modells genutzten topographischen Daten im Vorlandbereich mit den neuen topographischen Daten.

#### **5.2.1.1 Beschreibung der Datenarten**

##### **Topographische Karten 1:10000 :**

Zum Zeitpunkt der Erstellung des zweidimensionalen Modells standen als Informationen über die Topographie des geplanten Rückdeichungsbereichs ausschließlich topographische Karten des Landesvermessungsamtes Brandenburg im Maßstab 1:10000 (Stand 1989 bzw. 1985) zur Verfügung. Im Bereich Lenzen liegen in den topographischen Karten Höhenlinien im Abstand von 0,50 m bzw. 0,625 m vor. Da das Gelände bei Lenzen sehr flach ist, liegen die Höheninformationen nur in großen Abständen vor (teilweise sind benachbarte Höhenlinien bis zu 700 m voneinander entfernt). Zur Genauigkeit der Höhenangaben der topographischen Karten liegen keine Angaben vor. Die Höhenlinien wurden digitalisiert, um sie für das Geländemodell verfügbar zu machen. Das daraus erstellte Geländemodell besteht aus einem Dreiecksnetz, in dem die Bereiche zwischen benachbarten Höhenlinien mit Dreiecken vernetzt wurden (siehe Abb. 5.1). Das Gelände zwischen zwei Höhenlinien wird somit als eben angenommen, da keine weiteren Informationen vorhanden sind. Aus dem so entstandenen Geländemodell wurden dann die Höhen für das zweidimensionale Modell entnommen.



**Abb. 5.1: Aufbau des Geländemodells auf Basis digitalisierter Höhenlinien; prinzipielle Darstellung**

#### **Laser-Scan-Daten:**

Aus einer vom Landesvermessungsamt durchgeführten Laser-Scan-Befliegung (April 1997) stehen Höhendaten des Vorlandes im  $10\text{m} \times 10\text{m}$  Raster zur Verfügung. Dabei werden die während der Befliegung aufgenommenen Impulse mit Hilfe von Rechenalgorithmen ausgewertet, um die gesuchten Geländehöhen zu ermitteln. Die Höhengenaugigkeit der Daten liegt bei  $\pm 0,3\text{m}$ . In Bereichen mit Baumbestand kann die Geländehöhe ermittelt werden während es in Bereichen mit dichtem Gesträuch Probleme gibt, die Geländehöhe richtig zu erfassen. Das Buschwerk kann so dicht sein, daß der Scan-Strahl nicht bis auf den Boden durchdringen kann. Mit diesem Verfahren werden ausschließlich Punkte eines regelmäßigen Rasters erfaßt. Die Erfassung von Bruchkanten ist somit nur bei einem entsprechend kleinen Rasterabstand möglich. Auf Basis der Laser-Scan-Daten wurde ein Geländemodell erzeugt, in dem die  $10\text{m} \times 10\text{m}$  Rasterdaten die Eckpunkte der Dreiecke des Geländemodells bilden.

#### **Höhendaten aus Stereoluftbildern:**

Im Rahmen des Forschungsprojektes wurden Stereoluftbilder (16.11.96) aufgenommen aus denen die Lage und Höhe der Bruchkanten und Höhendaten im  $10\text{m} \times 10\text{m}$  Raster stammen. Mit Hilfe von optischen Geräten werden die Geländehöhen und Bruchkanteninformationen aus den während der Befliegung aufgenommenen Stereoluftbildern herausgelesen. Die Höhengenaugigkeit der Daten liegt bei  $\pm 0,2\text{m}$ . Das Geländemodell auf Basis der Daten aus den Stereoluftbildern beinhaltet sowohl die Raster- als auch die Bruchkanteninformationen.

### 5.2.1.2 Vergleich der Daten

Zum Vergleich des alten Geländemodells mit den neuen Daten wurden die Höhendifferenzen zwischen den verschiedenen Geländemodellen ermittelt. Als Vergleichsdaten wurden jeweils die Daten der Stereobefliegung herangezogen, da sie die beste Höhengenaugigkeit liefern und auch die Bruchkanten mit erfaßt sind.

In Abb. 5.2 ist der Vergleich zwischen Stereobefliegung und topographischen Karten (Maßstab 1:10000) dargestellt, während in Abb. 5.3 Laser-Scan-Daten mit den Daten der Stereobefliegung verglichen werden.

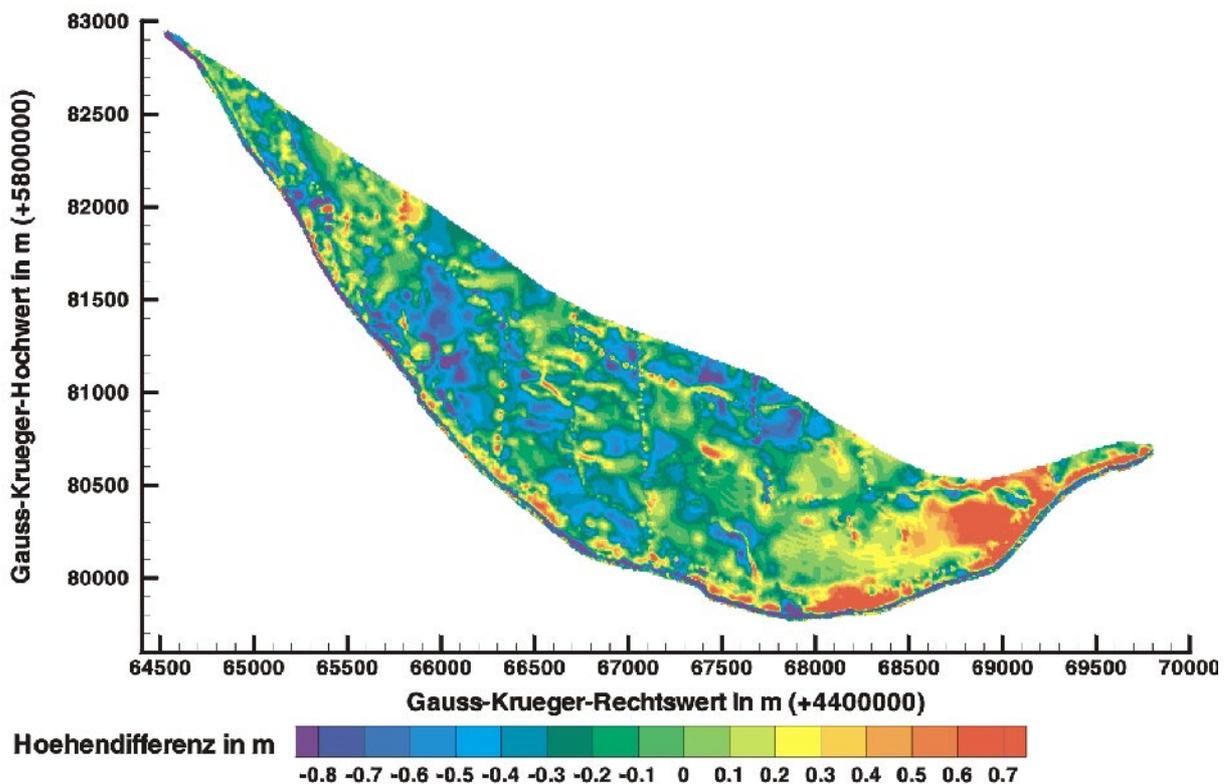
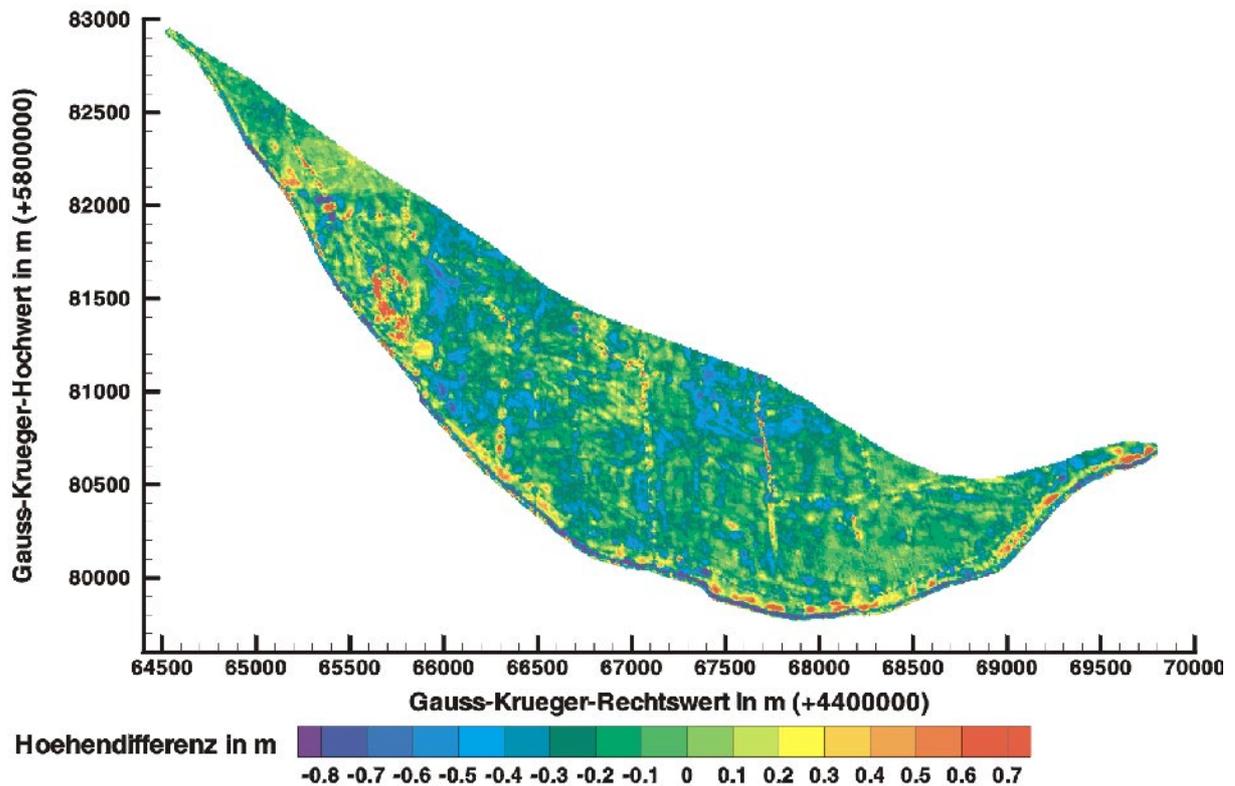


Abb. 5.2: Darstellung der Höhendifferenzen: digitalisierte Daten der topographischen Karte 1:10000 abzüglich der Daten der Stereobefliegung



**Abb. 5.3:** Darstellung der Höhendifferenzen: Laser-Scan-Daten abzüglich der Daten der Stereobefliegung

Die Daten aus den topographischen Karten liegen im östlichen Bereich bis zu 1,1m höher, als die Daten der Stereobefliegung. Im westlichen Bereich liegen sie bis zu 0,8m tiefer. Senken und Mulden sind in den Topographischen Karten nicht so ausgeprägt, zudem ist die Lage der Gräben nicht in das entsprechende Höhenmodell eingegangen, da keine Höhenangaben zu den Gräben vorlagen. Das Gelände ist an sich sehr flach, so daß die Beschreibung durch Höhenlinien im regelmäßigen Abstand nicht so viele Stützpunkte ergibt, wie in steilerem Gelände. Das Relief, das durch die Daten der Stereobefliegung abgebildet wird, ist wesentlich feiner, da die Datendichte größer ist.

Beim Vergleich mit den Laser-Scan-Daten fällt auf, daß die Unterschiede kleinräumiger als beim Vergleich mit den Topographischen Karten sind, was auf die größere Datendichte beider Datensätze zurückzuführen ist.

Entlang des Fährdamms (siehe Anl. 5.2.1) und im Bereich von Gräben und Bewuchszonen ergeben sich aus der Laser-Scan-Befliegung größere Höhen. Dieser Unterschied kann darauf zurückzuführen sein, daß das Laser-Scan-Verfahren Probleme hat, in Bereichen mit dichtem Gebüsch die Pflanzenoberfläche von der Geländeoberfläche zu unterscheiden. Außerdem sind in den Daten der Stereobefliegung zusätzliche Punkte außerhalb des Rasters enthalten, um die Bruchkanten ( z.B. Gräben) zu erfassen.

Die Daten der Stereobefliegung liefern die größte Höhengenaugigkeit und erfassen die Geländetopographie in Bereichen mit Bewuchs zuverlässiger als das Laser-Scan-Verfahren.

Die Datendichte ist größer als in den topographischen Karten und die Bruchkanten sind gesondert erfaßt. Aus diesen Gründen dienen die Daten der Stereobefliegung als Datengrundlage für die neue Topographie des Vorlandes.

### 5.2.2 Modellaufbau Variante 33

Für die Topographie des neuen Modells wurden die Daten der Stereoluftbilder verwendet. Das neue Modell wurde erstellt, um die aktuellen Höhendaten einzubringen, die detaillierter sind und in einem wesentlich feineren Raster vorliegen als die bisher verwendeten Höhendaten. Im Vorlandbereich wurde die Netzstruktur an die Bruchkanten angepaßt und verfeinert (mittlere Elementgröße des neuen Modells im Vorlandbereich: 20×25 m), um die durch die neuen Topographiedaten erfaßten feineren Geländestrukturen und die vorhandenen bzw. geplanten Bewuchsflächen in das Modell einzubringen. (Die anderen Modelle, die auf den topographischen Karten im Maßstab 1:10000 beruhen verfügen im Vorland über Elementgrößen von 35×40 m bis 75×85 m.) Die neuen Höheninformationen wurden nur auf den Rückdeichungsbereich übertragen.

Die Lage der Schlitze (siehe Anlage 5.2.1) und die Höhe der Rehen zwischen den Schlitzen entspricht Variante 19 (s. Tab. 4.1). Das Gelände im Nahbereich der Schlitze wurde, wenn es nötig war, um eine direkte Verbindung zum Flußschlauch zu ermöglichen, bis auf die Sohlhöhe der Schlitze abgetragen. Allerdings wurden die Schlitze 3 und 7 in Variante 33 geschlossen, da das binnenseitig angrenzende Gelände relativ hoch liegt und allenfalls bei größeren Hochwassern eine geringe Ein- bzw. Ausströmung in diesen Schlitzen zu erwarten ist.

In diesem Modell ist als Deichlinienführung die von der LAGS vorgegebene mittlere Variante verwirklicht, die zu einer Ausdeichung von 420 ha<sup>6</sup> bei einer maximalen Fließbreite von 1830 m bei überfluteten Vorländern führt. In den anderen bisher erstellten Modellen kam die große Deichlinie zum Tragen (Ausdeichung von 660 ha<sup>6</sup> bei einer maximalen Fließbreite von 2400 m).

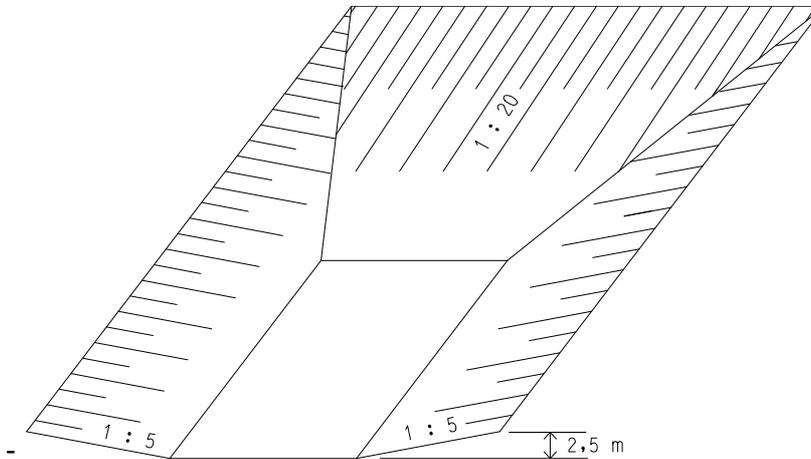
Die ca. 200 Buhnen im Untersuchungsraum wurden nicht in der Geometrie nachgebildet. Da eine beliebige Kombination von Elementen verschiedener Größe in enger Nachbarschaft numerisch problematisch ist, bei der geometrischen Abbildung der Buhnen aber sehr kleine Elemente erforderlich gewesen wären, wurde zur Einhaltung einer numerisch beherrschbaren Elementanzahl auf die geometrische Abbildung der Buhnen verzichtet. Da keine Untersuchungen von Baumaßnahmen im Mittelwasserbett vorgenommen werden sollten, ist diese Vorgehensweise zielführend. Die hydraulische Wirkung der Buhnen wurde durch eine eigene Rauheitsklasse berücksichtigt.

Im Vorlandbereich sind Flutmulden geplant, die zur Erhöhung der Strukturvielfalt des Rückdeichungsbereichs und zur Materialgewinnung für den neu zu errichtenden Deich dienen

---

<sup>6</sup> Deich und Rehen gehen in diese Fläche nicht ein

sollen. In Zusammenarbeit mit dem landwirtschaftlichen Nutzer des Rückdeichungsbereichs wurde die Form und Lage der Flutmulden (siehe Anl. 5.2.1) durch Mitglieder des Verbundprojekts, Auenregeneration durch Deichrückverlegung (FKZ0339571) abgestimmt. Die geplanten Flutmulden (Abb. 5.4) wurden in das neue Modell mit folgenden Randwerten eingebaut:



**Abb. 5.4:** Schema einer Flutmulde im 2D-Modell

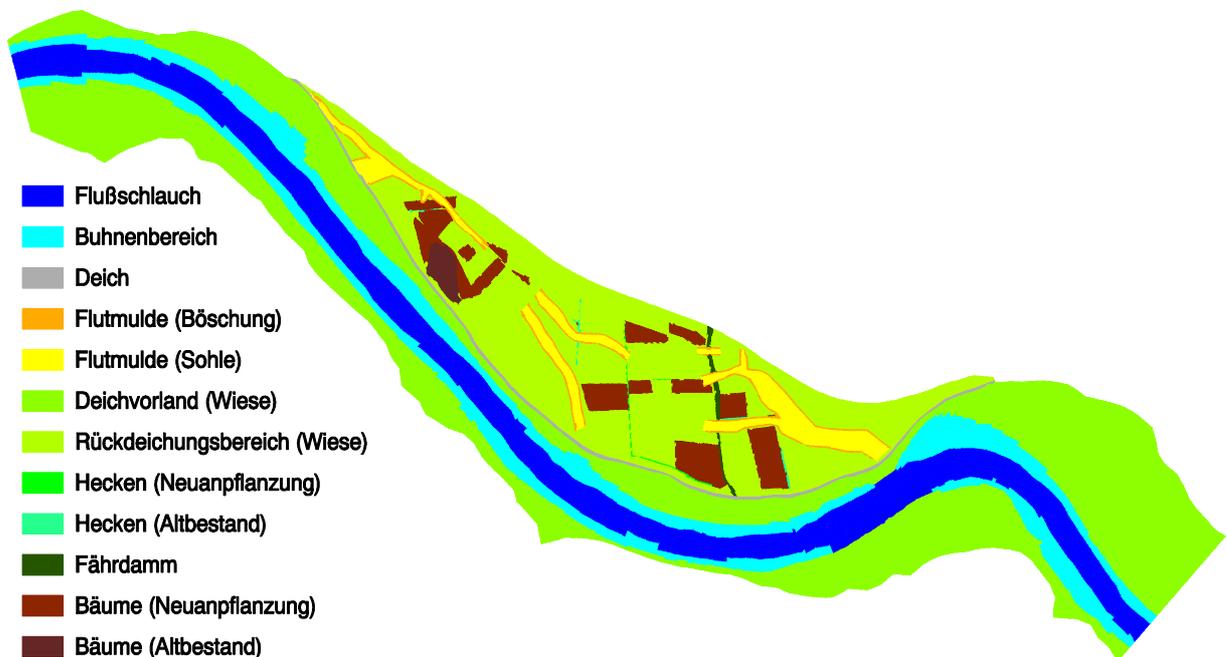
- trapezförmiges Querprofil
- im Mittel liegt die Sohle der Flutmulden 2,5 m unterhalb des umgebenden Geländes
- Sohlneigung entspricht der Sohlneigung im Flußbett (0,18 ‰)
- Böschungsneigung im Ein- und Auslaufbereich der Flutmulden 1:20
- Böschungsneigung an den Seiten 1:5

Auf Basis einer Bestandsaufnahme der bestehenden, neu gepflanzten bzw. geplanten Gehölzflächen wurde durch die Landesanstalt für Großschutzgebiete eine Prognose für den Zustand des Vorlandbewuchses in 5 bzw. 20 Jahren erstellt. In Variante 33 wurde der prognostizierte Bewuchszustand in 20 Jahren abgebildet (siehe Tab. 5.3). Im Verfahren nach Pasche, das für die Berechnungen dieser Variante verwendet wurde, wird der Fließwiderstand von Gehölzgruppen anhand des mittleren Durchmessers und des mittleren Abstands der Bäume bzw. Büsche charakterisiert.

In Abb. 5.5 ist die räumliche Zuordnung der Rauheitsklassen vereinfacht dargestellt. In den Flutmulden wurde die gleiche Rauheit angesetzt wie für das Vorland innerhalb der Deiche und die Wiesenbereiche im Rückdeichungsgebiet (Bewuchsannahme: hohes Gras, dichte Bestände krautiger Vegetation).

	Bewuchsdurchmesser [cm]	Bewuchsabstand [m]
Fährdamm	4	0,25
Lenzener Eichenwäldchen	4	0,25
bestehende Hecken	4	0,25
Kuhblankstücken	10	4,26
Schweineversuch Saat	7	5
Eichenpflanzung St. Lenzen N	12	2,5
Eichenpflanzung St. Lenzen S	13	2,5
Schweineversuch Ulmennester	10	6
Halbe Drift Dreieck	10	2,92
Schweineversuch Halbe Drift	10	4,88
Reheck	17	6
Kleine Gehölzgruppe	10	2,92
Große Rüsterdrift	10	2,92
Hecke Rüsterdrift Verlängerung	4	0,25
Hecke Rüsterdrift	4	0,25
Döelkenrohr	10	4,24
Kleine Rüsterdrift	10	4,22
Hecke Rüsterdrift - Fährdamm	4	0,25
Hecke Qualmgraben	4	0,25
Dölkenrohr Verlängerung	10	5
Am Fährdamm	10	4
Drei Eichen	10	3,5
Ackeraufforstung Oberholz	10	2,65
Hecke alter Melkstand	4	0,25
Oberholz	10	2,09

**Tab. 5.3:** Charakterisierung der Bewuchsf lächen im Lenzener Rückdeichungsbereich anhand des mittleren Abstands und Durchmessers der Pflanzen



**Abb. 5.5:** Einteilung der Bewuchszonen und Rauheitsbereiche in der Variante 33

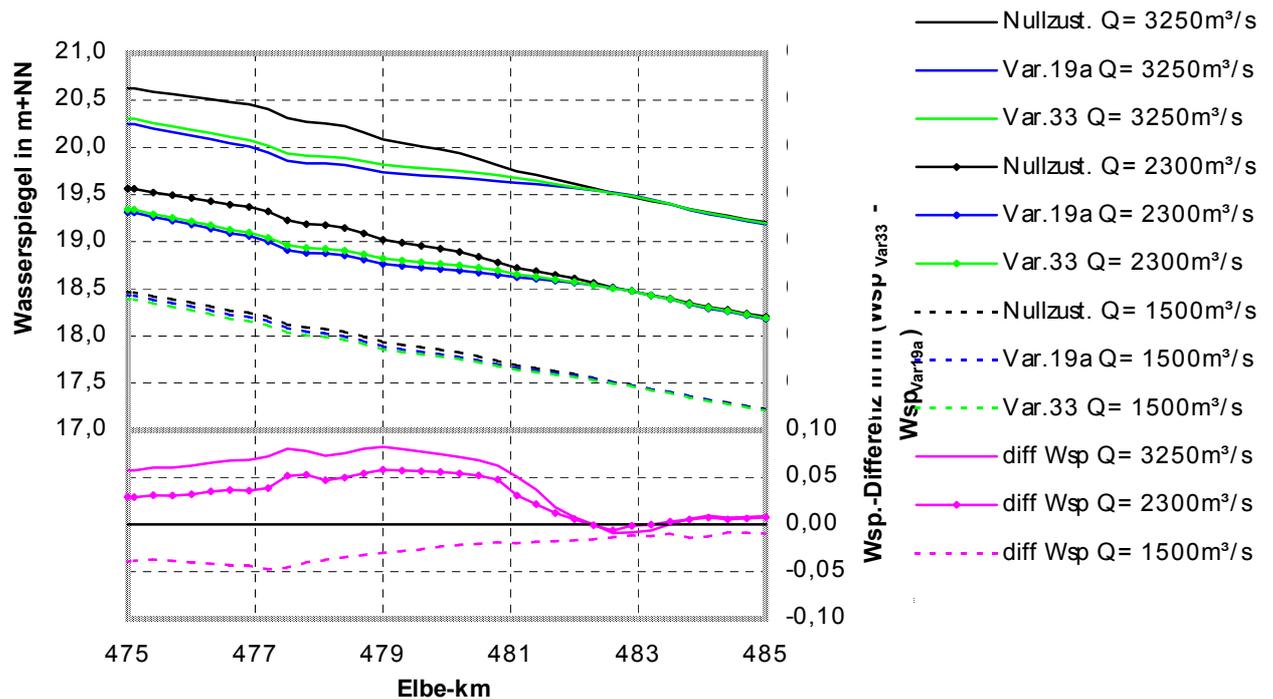
### 5.2.3 stationäre Berechnungen

Es wurden für Variante 33 stationäre Berechnungen für die Abflüsse 1500 m<sup>3</sup>/s (HQ<sub>1-2</sub>), 2300 m<sup>3</sup>/s (HQ<sub>3-5</sub>) und 3250 m<sup>3</sup>/s (HQ<sub>20-25</sub>) durchgeführt. In Abb. 5.6 und Abb. 5.7 sind die berechneten Wasserspiegellagen im Vergleich mit dem Nullzustand und Variante 19a im Längsschnitt (siehe Anl. 5.2.1) dargestellt. Variante 19a entspricht Variante 19 mit anderen Annahmen für den Vorlandbewuchs. Die Höheninformationen im Rückdeichungsbereich basieren auf den Daten der Topographischen Karten (Maßstab 1:10000). In Variante 19a wird für den Rückdeichungsbereich angenommen, daß die bereits angekauften bzw. geplanten Aufforstungsgebieten mit Bäumen bestanden sind, während in den restlichen Gebieten Wiese bzw. Weide vorherrscht. Diese Variante kommt in den Bewuchsannahmen der Variante 33 am nächsten.

Die Wasserspiegellage der Variante 33 ist im Flußschlauch geringer als im Nullzustand, da ein Teil des Abflusses über das Vorland abgeführt wird. Je größer der Gesamtabfluß ist, um so größer ist die Wasserspiegeldifferenz. Die maximale Differenz tritt bei allen drei Abflüssen direkt vor Beginn der Rückdeichung bei Elbe-km 477,2 auf (1500 m<sup>3</sup>/s: 9,2 cm, 2300 m<sup>3</sup>/s: 28,0 cm, 3250 m<sup>3</sup>/s: 38,9 cm). Bei 1500 m<sup>3</sup>/s ist der Abflußanteil, der über das Vorland abgeführt wird gering, daher liegen die Wasserspiegel der verschiedenen dargestellten Varianten dicht beieinander.

maximale Wasserspiegeldifferenz [cm]	Abfluß		
	1500 m <sup>3</sup> /s	2300 m <sup>3</sup> /s	3250 m <sup>3</sup> /s
<b>Flußschlauch</b> Variante 33 - Nullzustand	-9,2	-28,0	-38,9
<b>Flußschlauch</b> Variante 33 - Variante 19a	-4,8	5,8	8,2
<b>Rückdeichungsbereich</b> Variante 33 - Variante 19a	9,8	7,9	10,0

**Tab. 5.4:** Zusammenstellung der maximalen Wasserspiegeldifferenzen zwischen dem Nullzustand, Variante 19a und Variante 33 entlang zweier Längsschnitte im Flußschlauch und im Rückdeichungsbereich



**Abb. 5.6: Längsschnitt des Wasserspiegels und der Wasserspiegeldifferenz im Flußschlauch bei verschiedenen Abflüssen**

Der Wasserspiegelverlauf der Varianten 19a und 33 ist ähnlich, wobei der Wasserspiegel der Variante 33 sowohl im Flußschlauch als auch im Rückdeichungsbereich für die Durchflüsse 2300 und 3250 m³/s höher liegt (siehe Tab. 5.4). In Variante 19a ist die große Deichvariante modelliert während in Variante 33 die mittlere Deichvariante mit entsprechend geringerer Überflutungsfläche abgebildet ist. Durch die geringere Fließbreite (maximale Fließbreite: Variante 19a 2400 m, Variante 33 1830 m) kommt es zu entsprechend höheren Wasserspiegellagen in Variante 33 im Flußschlauch und im Rückdeichungsbereich.

Bei 1500 m³/s ist in Variante 19a der Fährdamm nicht überströmt. Dadurch kommt es oberhalb des Fährdamms zum Aufstau (siehe Abb. 5.7) und zu einem geringeren Vorlandabfluß als bei Variante 33, in der der Fährdamm durch neu angelegte Flutmulden durchbrochen ist. Das führt dazu, daß bei diesem Abfluß der Wasserspiegel der Variante 19a im Flußschlauch höher ist als der der Variante 33.

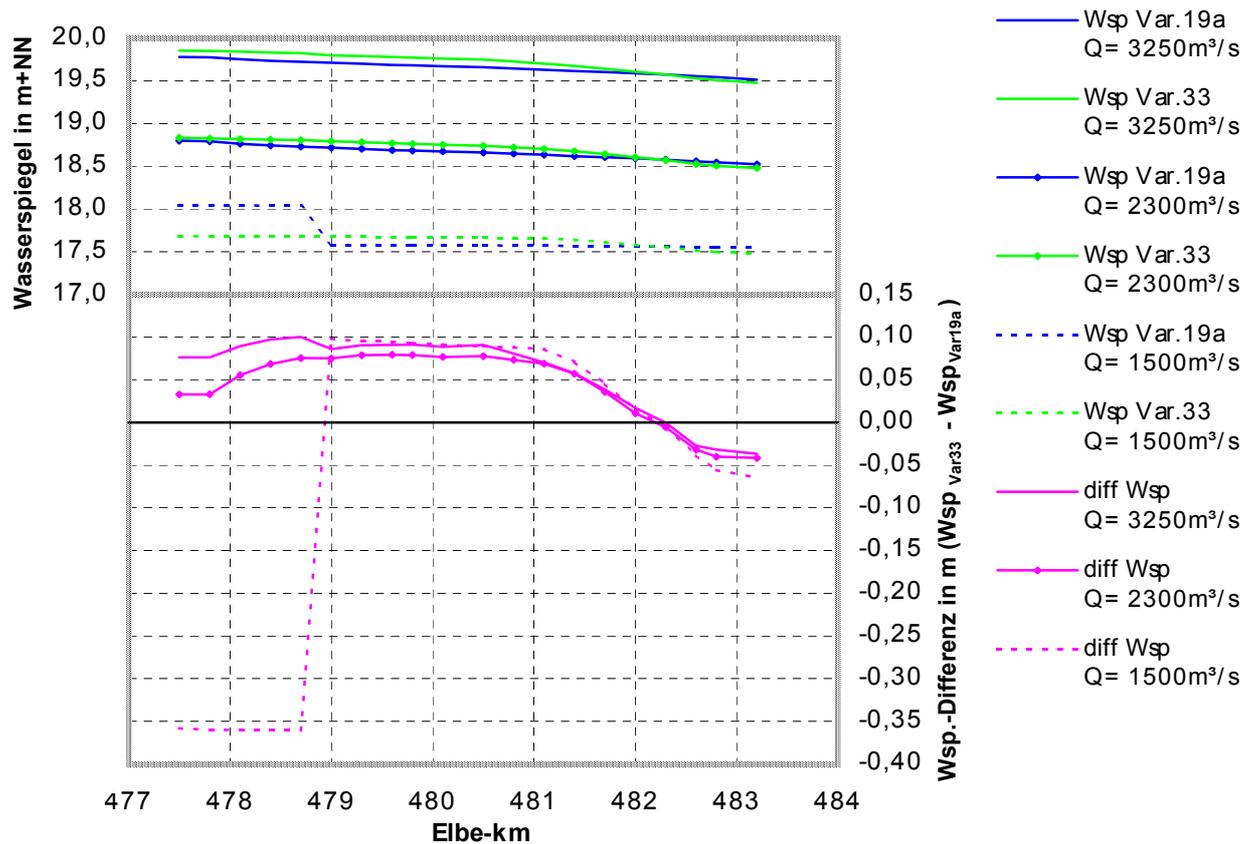


Abb. 5.7: Längsschnitt des Wasserspiegels und der Wasserspiegeldifferenz im Rückdeichungsbereich bei verschiedenen Abflüssen

### 5.2.3.1 Vergleich der Varianten anhand der Strömungscharakteristik

Durch die in den Anlagen 5.2.2 bis 5.2.4 abgebildeten Darstellungen erhält man einen Eindruck, wie sich der Strömungscharakter des Rückdeichungsbereichs in Variante 33 mit zunehmendem Durchfluß verändert. Allgemein kann man sagen, daß mit steigendem Abfluß die Strömungsvielfalt im Rückdeichungsbereich zunimmt. Zudem steigt die prägende (im größten Teil des Rückdeichungsbereichs vorherrschende) Geschwindigkeit und die zugehörige Wassertiefe. So kommen bei folgenden Abflüssen folgende prägenden Wasserspiegel und Wassertiefen vor:

- 1500 m³/s (HQ<sub>1-2</sub>): Wassertiefe < 1 m Geschwindigkeit <0,1 m/s
- 2300 m³/s (HQ<sub>3-5</sub>): Wassertiefe 2 - 3 m Geschwindigkeit 0,2 - 0,3 m/s
- 3250 m³/s (HQ<sub>20-25</sub>): Wassertiefe 3 - 4 m Geschwindigkeit 0,3 - 0,4 m/s

Die höheren Fließgeschwindigkeiten ( $\geq 0,8$  m/s), die im Rückdeichungsbereich auftreten, stammen aus der Strömung im Bereich von Schlitz 1a, durch den die stärkste Einströmung erfolgt. In den Flutmulden werden je nach Abfluß maximale Geschwindigkeiten von 0,6

(1500 m<sup>3</sup>/s) bis 0,8 m/s (3250 m<sup>3</sup>/s) erreicht, während es im restlichen Vorland zu Maximalgeschwindigkeiten von 0,3 (1500 m<sup>3</sup>/s) bis 0,6 m/s (3250 m<sup>3</sup>/s) kommt.

Bei einem Vergleich der Strömungsverhältnisse von Variante 33 und Variante 19a im Rückdeichungsbereich bei 2300 m<sup>3</sup>/s (Anl. 5.2.5) weist Variante 33 eine größere Strömungsvielfalt auf. Diese beruht auf der größeren topographischen Strukturvielfalt in Variante 33 durch neu geschaffene Flutmulden. Zudem ist in Variante 19a aufgrund der in Kapitel 5.2.1 behandelten Gründe die Vorlandtopographie nicht so detailliert abgebildet; das Vorland ist ebener und Gräben und kleinere Mulden und Anhöhen sind nicht erfaßt, so daß auch aus diesem Gründen die ermittelte Strömungsvielfalt geringer ist.

Anlage 5.2.6 stellt die Strömungsverhältnisse im gesamten Untersuchungsgebiet von Variante 33 bei 2300 m<sup>3</sup>/s dar. Deutlich erkennbar sind größere Wassertiefen und Geschwindigkeiten durch die Strömung im Flußschlauch.

#### **5.2.4 Instationäre Berechnungen**

Die instationären Berechnungen, die für Variante 33 durchgeführt werden, dienen als Grundlage für Prognosen des Füllvorgangs im Rückdeichungsbereich. Von besonderem Interesse sind dabei die Wirkung der Flutmulden und die Geschwindigkeiten in den Schlitzten und in verschiedenen Bereichen des Vorlands.

In der instationären Berechnung werden die Werte für Zufluß und den Wasserspiegel im Ablauf stündlich variiert. Zufluß in und Abfluß aus dem Gebiet sind während der Hochwasserwelle fast immer verschieden. Stationäre Berechnungen entsprechen einer instationären Berechnung, in der der Abfluß dauerhaft konstant ist, so daß Zufluß und Abfluß gleich sind und sich ein stabiler Wasserspiegel einstellt.

Für die Berechnung wurde ein neues Naß-Trocken-Verfahren verwendet, das es erlaubt eine allmähliche Füllung zu simulieren. Im alten Naß-Trocken-Verfahren wird, sobald ein Deich überströmt wird, für alle benachbarten tiefer liegenden Gebiete der Wasserspiegel des Einströmbereichs angenommen (unabhängig von der einströmenden Wassermenge und der Größe der tiefer liegenden Gebiete). Mit diesem Verfahren ist eine Simulation einer allmählichen Füllung nicht möglich, da z.B. bei Überflutung eines Deichs sofort das gesamte dahinter liegende Gebiet komplett überflutet wäre (siehe Abb. 5.8). In dem neuen Verfahren wird für die an das überflutete Gebiet angrenzenden Elemente der Wasserspiegel entsprechend der einströmenden Wassermenge berechnet.

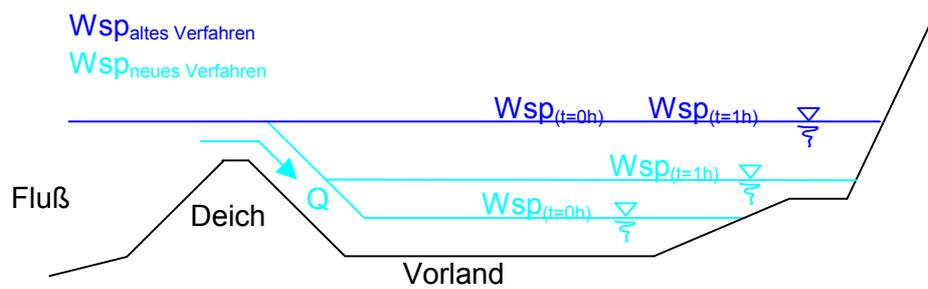


Abb. 5.8: Wasserspiegellagen im Vorland in Abhängigkeit des Naß-Trocken-Verfahrens

### 5.2.4.1 Hochwasserereignis

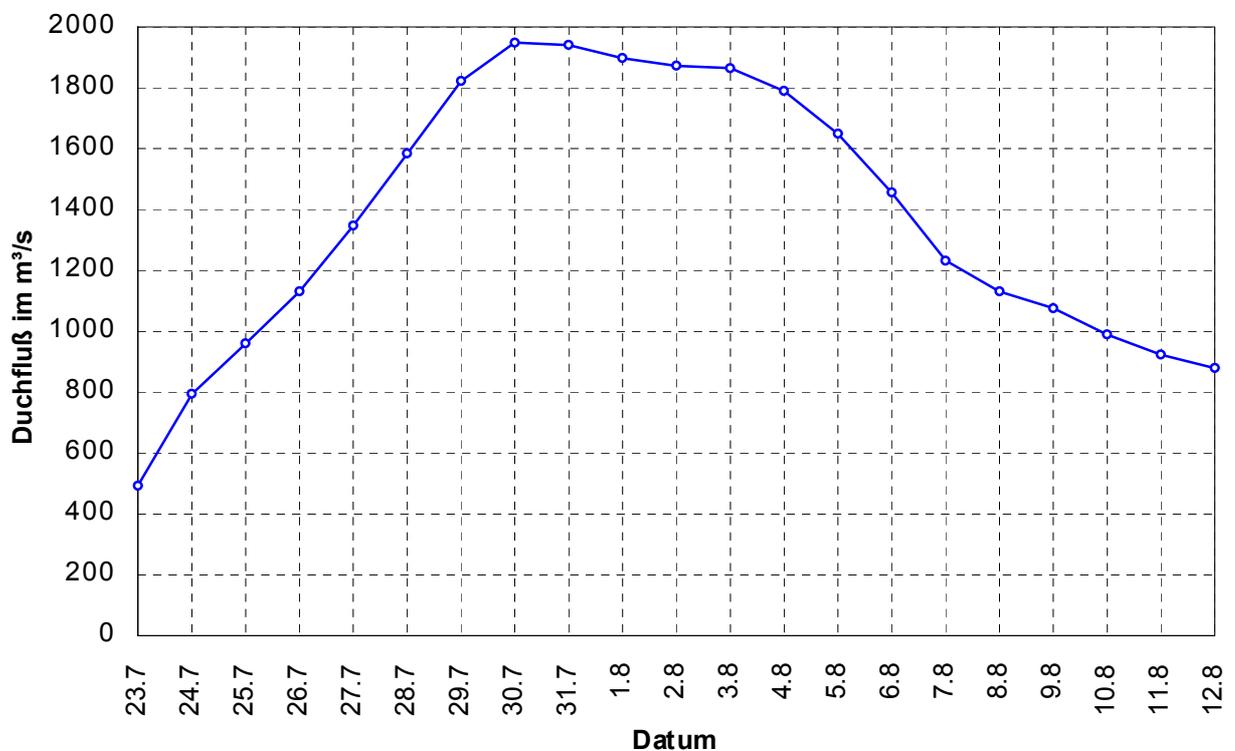


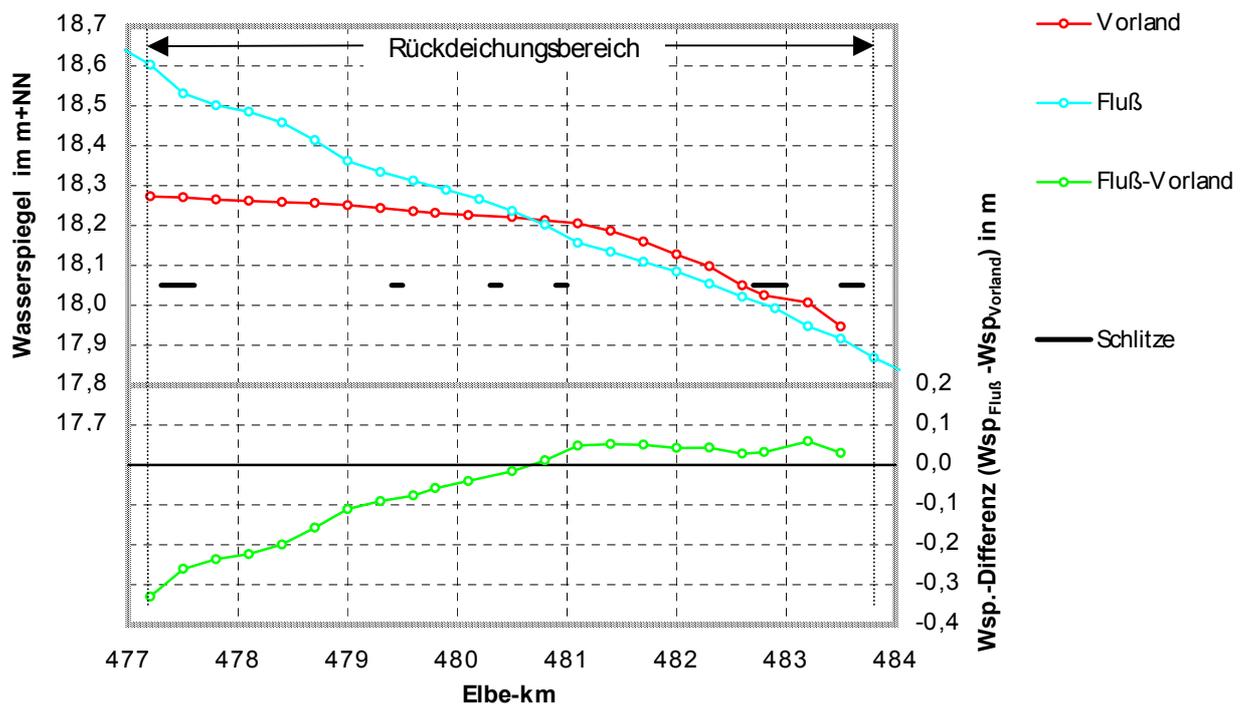
Abb. 5.9: Durchflußganglinie des Hochwassers 23.7.1981 bis 12.8.1981 am Pegel Wittenberge (Tagesmittelwerte)

Die Durchfluß- und Wasserstandswerte der Hochwassersimulation basieren auf Tagesmittelwerten aus der von der BFG stammenden internen Datenbank HYDAWQ, und entsprechen den Daten des Gewässerkundlichen Jahrbuchs der DDR [GKJB DDR, 1983]. In der instationären Berechnung wurde das Hochwasserereignis vom 23.7.1981 bis 12.8.1981 simuliert (siehe Abb. 5.9). Die Wasserstände am unteren Rand des Modellgebiets wurden aus den Pegeldaten des Pegels Lenzen während der Hochwasserwelle ermittelt. Die Durchflußwerte des Modells entsprechen Werten am Pegel Wittenberge, die pauschal um 1,6%

erhöht wurden um Zuflüsse zwischen Wittenberge und Lenzen zu erfassen. (Dieser Faktor basiert auf drei Durchflußwerten für MNW, MW und MHW der Pegel Lenzen und Wittenberge [GKJB DDR 1979]). Dabei wurde im Untersuchungsgebiet ein maximaler Durchfluß von  $1979 \text{ m}^3/\text{s}$  ( $HQ_{2-4}$ ) erreicht. Da die Hochwasserwelle für den Weg vom Pegel Wittenberge (Durchflußwerte) bis zum Pegel Lenzen (Wasserstandswerte) eine gewisse Zeit braucht wurde als Randbedingung für die Berechnung der jeweils aktuelle Wasserstand mit dem Durchflußwert vom Vortag kombiniert, somit treten Wasserstands- und Durchflußmaximum zum gleichen Zeitpunkt auf.

### 5.2.4.2 Stand der Berechnungen

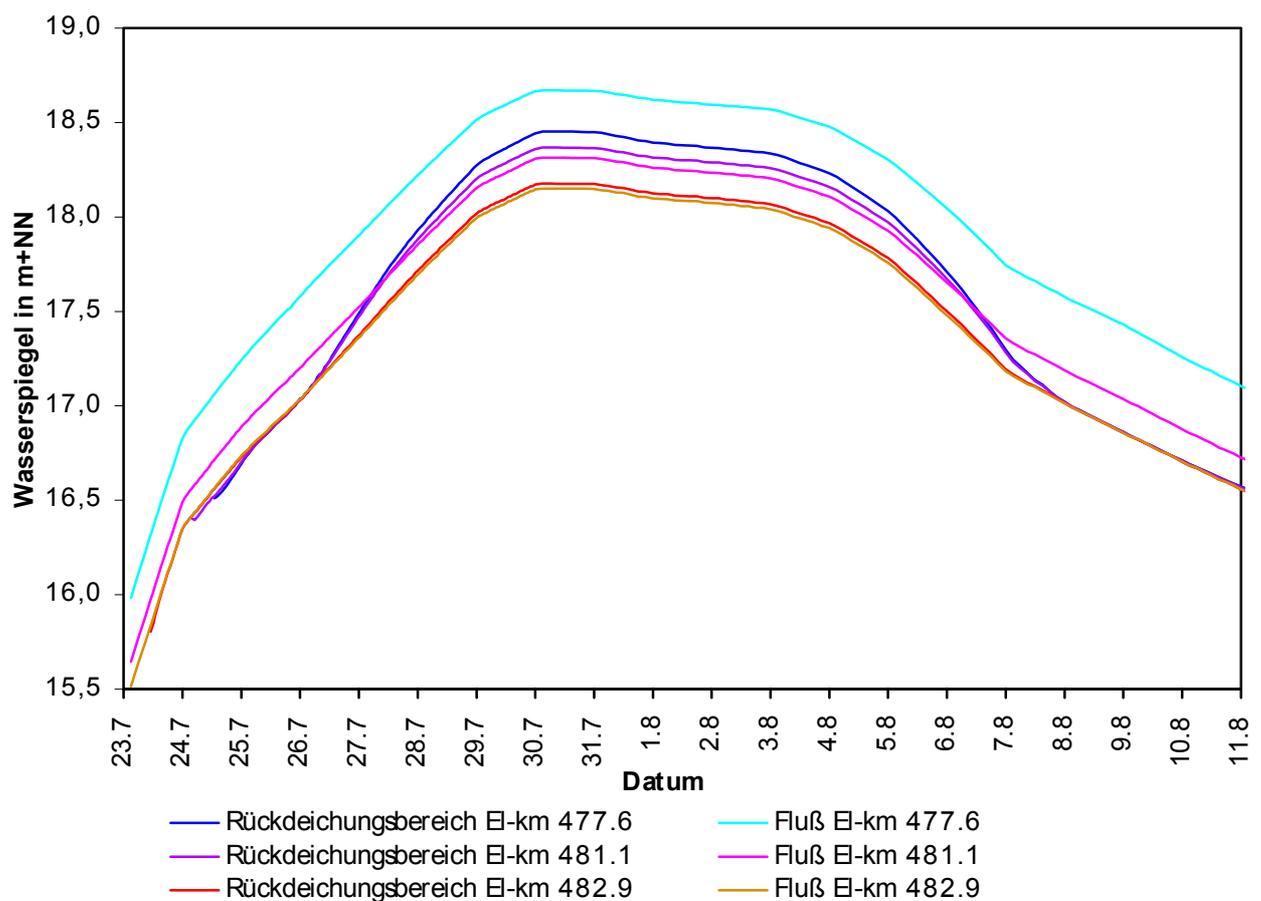
Die instationären Berechnungen sind inzwischen abgeschlossen, so daß nun mit deren Auswertung begonnen werden kann. Die Berechnungszeiten sind zum Teil sehr lang (teilweise dauert die Berechnung eines Zeitschritts von 1 Stunde einen Tag). Die instationären Berechnungen begannen im August 1998 und waren im Februar 1999 abgeschlossen. Dabei muß bedacht werden, daß die Rechnungen nicht kontinuierlich durchlaufen können, da es während einer solchen Zeitspanne immer Unterbrechungen aus technischen oder organisatorischen Gründen gibt.



**Abb. 5.10:** Darstellung der Wasserspiegellage im Fluß und im Vorland und deren Differenz während der instationären Berechnung bei einem Abfluß von  $1851 \text{ m}^3/\text{s}$

Im Gebiet Lenzen ist festzustellen, daß, solange die Einströmung nur durch die Schlitze und nicht über die Rehne erfolgt (was während der gesamten Hochwasserwelle der Fall ist), das Wasserspiegelgefälle entlang des Längsschnitts im Vorland (siehe Anl. 5.2.1) nicht dem des Längsschnitts im Flußschlauch entspricht (siehe Abb. 5.10). Die Ein- und Ausströmung durch die Schlitze reicht nicht aus, um ein solches Wasserspiegelgefälle zu ermöglichen. So kommt es oberhalb von Elbe-km 480,7 zu niedrigeren Wasserspiegeln als im Flußschlauch und weiter unten zu höheren Wasserspiegeln (siehe auch Abb. 5.11). Die beiden unteren Schlitze sind allerdings so groß, daß im Rückdeichungsbereich ab Elbe-km 481,0 annähernd das gleiche Gefälle wie im Fluß erreicht wird.

In Abb. 5.11 ist die Wasserspiegelganglinie für drei Flußkilometer jeweils im Flußschlauch und im Rückdeichungsbereich dargestellt, um einen direkten Vergleich der Entwicklung des Wasserspiegels vor und hinter dem geschlitzten Deich zu erhalten. Im flußaufwärts gelegenen Teil des Vorlandes (Meßpunkte Elbe-km 477,6 siehe Anl. 5.2.1) ist die Wasserspiegeldifferenz besonders groß. Dort liegt der Wasserspiegel im Flußschlauch je nach Abfluß um 22 bis 57 cm höher. An den beiden anderen Meßpunkten sind die Differenzen geringer (Elbe-km 481,4: -20 bis +6 cm und Elbe-km 482,9: -3 bis +3 cm) und die Wasserspiegel im Vorland liegen die meiste Zeit höher als im Flußschlauch.



**Abb. 5.11: Wasserspiegelganglinie des Hochwassers (Juli - August 1981) an verschiedenen Punkten im Flußschlauch und im Rückdeichungsbereich**

### 5.2.4.3 Verlauf der Vorlandfüllung

Durch die Anpassung der Topographie in den Bereichen zwischen den Schlitten und dem Flußschlauch (siehe Kapitel 5.2.2) kommt es bereits bei einem Durchfluß von  $640 \text{ m}^3/\text{s}$  zum Einströmen in das Vorland durch Schlitz 8. Allerdings erfolgt die Füllung des Vorlands zunächst nur innerhalb der angrenzenden künstlich angelegten Flutmulde. Bei Abflüssen ab  $820 \text{ m}^3/\text{s}$  beginnt sich die Überflutung auch außerhalb der Flutmulden auszubreiten. Bis zu einem Abfluß von  $1130 \text{ m}^3/\text{s}$  erfolgt die Füllung des Rückdeichungsbereichs ausschließlich durch Rückstau ausgehend von den Schlitten 8 und 9. Die am höchsten gelegenen Gebiete des Rückdeichungsbereichs (mit Ausnahme des nördlichen Teils des Fährdamms) werden ab  $1680 \text{ m}^3/\text{s}$  überströmt. Die größten Fließgeschwindigkeiten werden in den Flutmulden im westlichen Teil des Rückdeichungsgebiets mit bis zu  $0,7 \text{ m/s}$  erreicht. Außerhalb der Flutmulden sind maximale Geschwindigkeiten von  $0,2 \text{ m/s}$  in östlichen Bereichen und  $0,4 \text{ m/s}$  in westlichen Bereichen (durch die Verengung des Rückdeichungsbereichs) zu finden.

## 6 Aerodynamisches Modell in der Erosionsstrecke bei Klöden El-km 187 – 191

Im Zwischenbericht 1997 [BAW, 1998c] ist eine Kurzbeschreibung zur Maßstabwahl und Variantenplanung in Kap. 3.5.1 enthalten. In Anlage 5 [BAW, 1998c] sind weiterhin einige Erläuterungen zu Modellaufbau und Meßverfahren in aerodynamischen Modellen zusammengestellt. 1998 wurde das aerodynamische Modell der Erosionsstrecke wegen einer Standortverlagerung der BAW von Berlin nach Karlsruhe umgesetzt. Es wurde somit nach dem Wiederaufbau entsprechend der ersten Erfahrungen mit leicht modifizierten Kennwerten in Betrieb genommen. Die Ergebnisse der Untersuchungen werden erst im Bericht 1999 vorgestellt. An dieser Stelle wird die Modellkonzeption erläutert.

Ziel der Untersuchungen an einem aerodynamischen Modell innerhalb der Erosionsstrecke ist die Koppelung der dreidimensionalen, kleinräumigen Untersuchungen im hydraulischen Modell (s. Kap. 7) mit den Untersuchungen mittelgroßer Untersuchungsgebiete am zweidimensionalen hydraulische numerischen Modell (s. Kap. 5.1). Am hydraulischen Modell „Mockritz-Döbern“ El-km 160,2 bis 164 werden detailliert Veränderungen im Flußschlauch (Kolkverbau, Bühnenvariation) sowie kleinräumige Veränderungen im Flußvorland (Flutmulden, Abgrabung von Uferrehnen) untersucht, deren prinzipielle Ergebnisse im AD-Modell bei der Variantenplanung berücksichtigt werden sollen. Im 2D-HN-Modell El-km 182 bis 194 wiederum werden die Bühnen selbst nicht modelliert, sie werden über Rauheitsbeiwerte wiedergegeben. Dafür kann in diesem Modell die Veränderung in einem ausgedehnten Vorland und eine Rückdeichung untersucht werden. Im AD-Modell sollen sowohl Veränderungen im Flußschlauch als auch im Vorland berücksichtigt werden. Mit Hilfe der verschiedenen Modellarten soll geprüft werden, wie Modelle unterschiedlicher Abstraktion gekoppelt werden können und in welchen Grenzen sich die Ergebnisse gemeinsam bewerten lassen. Dazu werden auch die Ergebnisse von eindimensionalen Untersuchungen (mit und ohne

Berücksichtigung des Feststofftransports) in den Vergleich einbezogen. Für die praktische Bewertung der Maßnahmen in der Erosionsstrecke wird das Wirkungsgefüge beispielhaft in verschiedenen Modellen verglichen, um zukünftig die Wahl geeigneter Modellarten in Abhängigkeit der Fragestellungen und Gebietscharakteristika zu erleichtern.

Aus diesen Zielstellungen ergab sich die Notwendigkeit der Untersuchung eines Abschnittes, der innerhalb des Untersuchungsraumes des 2D-HN-Modells liegt. Dieser wiederum wurde im Abschnitt aktuell stärkster Sohleneintiefung gewählt (Nahbereich Klöden).

Nach Auswertung der Querprofile und der hydrologischen Daten ergab sich als Schwierigkeit, daß die Ausuferung auch in den Abschnitten der Erosionsstrecke mit breiten Vorländern (z.B. unterhalb EI-km 187 s. Abb. 10 und 11 in [BAW, 1998c]) und weniger kompakten Profilen erst spät erfolgt (1000 bis 1500 m<sup>3</sup>/s) und eine Überströmung mit Tiefen um 1 bis 2 m im Vorland noch seltener ist (Q = 1800-2500 m<sup>3</sup>/s). Im Sommerhalbjahr treten diese Abflüsse alle 10 bis 50 Jahre, für das gesamte Durchflußjahr alle 5 bis 20 Jahre auf. Um einen biologisch noch relevanten Durchfluß zu untersuchen, wurde für die Modellkonzeption von einem Durchfluß von 1800 m<sup>3</sup>/s ausgegangen. Da bei diesem Durchfluß nur geringe Wassertiefen über den Vorländern zu verzeichnen sind, wurde im Verlaufe des Modellaufbaus entschieden, das Modell für einen Durchfluß von 2400 m<sup>3</sup>/s zu betreiben.

Wegen der im Betrieb gerade noch zumutbaren Modellbreite konnte bei der Wahl des zu modellierenden Flußabschnittes von einer Modellgrundfläche von 6 m x 3 m ausgegangen werden, die durch zwei kleine Tische (je 1,5 m x 1 m) ergänzt wird (s. Abb. 10 in [BAW, 1998c]).

Weiterhin wurde davon ausgegangen, daß die Überhöhung  $n$  ( $n = \text{Längenmaßstab } L_r / \text{Höhenmaßstab } HV_r$ ) nicht größer als 2 bis 3 sein sollte.

Aus den Rechnungen eines 1D-HN-Modells [BONNY, 1997] ergaben sich im Abschnitt EI-km 184,4 bis 192,2 mittlere Tiefen bei Q = 1800 m<sup>3</sup>/s von:

linkes Vorland	1,12 m
Flußschlauch	4,33 m
rechtes Vorland	1,31 m
tiefster Punkt im Profil	7,00 m

Bei einer Vorlandtiefe von 1,2 m und einer modelltechnisch erforderlichen mittleren Modelltiefe von ca. 5 mm ließ sich ein Höhenmaßstab  $HV_r = 240$  annehmen. Bei zweifacher Überhöhung kann somit noch ein Längenmaßstab von  $L_r = 480$  toleriert werden.

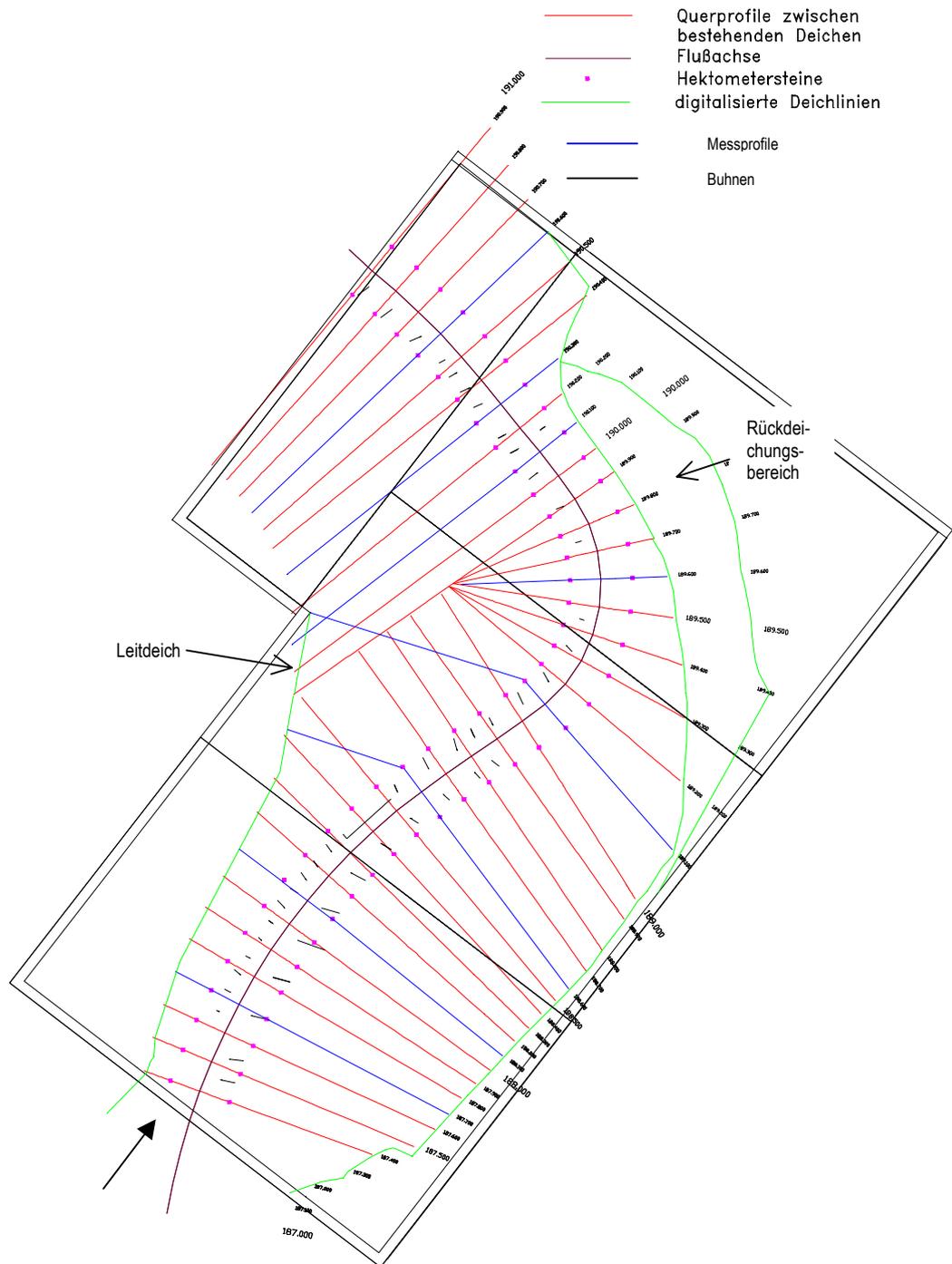
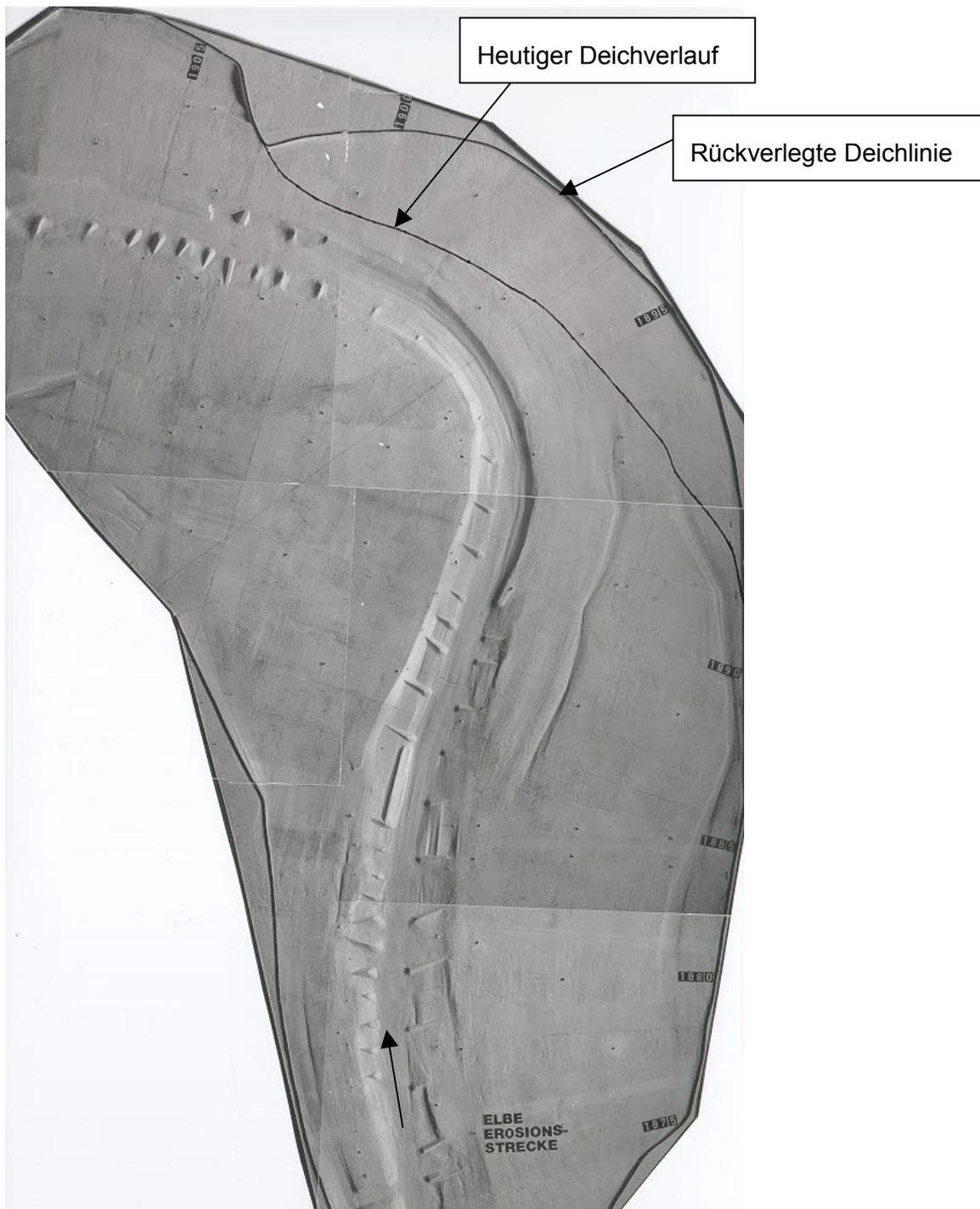


Abb. 6.1: Lageplan des AD-Modells „Erosionsstrecke“

Nach Überprüfung der Unterlagen zum Untersuchungsgebiet wurde die Untersuchungsstrecke zwischen El-km 187 und 191 und der Längenmaßstab  $L_r = 500$  gewählt. Auf die Modellierung des linksseitigen Altarmes bei Bösewig wurde verzichtet, da dieser Bereich als schwach durchströmt angenommen wurde. Damit können im Luftmodell keine Maßnahmen zum Anschluß dieses Altarmes wie im 2D-HN-Modell (s. Kap. 5.1) untersucht werden. Unter Berücksichtigung einer An- und Ablaufstrecke von ca. 300 m in der Natur (60 cm im Modell) können im Modell zwischen El-km 187,7 und 190,6 Untersuchungen durchgeführt werden (s. Abb. 6.1). Der Höhenmaßstab beträgt  $HV_r = 250$ . Aus den bisherigen Erfahrungen mit Luftmodellen für Untersuchungen an der Elbe wurde der Tiefenfaktor als Kriterium der variablen zusätzlichen Überhöhung zu  $F = 0,4$  gewählt (Höhenmaßstab für Gesamtmodelltiefe einschließlich variabler Überhöhung  $H_r = 150$ ). Zur Untersuchung des Durchflusses von 2400  $m^3/s$  wurde eine zusätzliche konstante Überhöhung von 4 mm angeordnet.

In Abb. 6.1 sind die Profile, in denen Geschwindigkeitsmessungen durchgeführt werden blau gekennzeichnet. Abb. 6.2 zeigt das unlackierte Luftmodell in der Draufsicht. In Abb. 6.3 ist beispielhaft die Sichtbarmachung der sohlennahen Strömung für eine Variante aufgezeigt. Die Ergebnisse der Variantenuntersuchungen werden im folgenden Bericht 1999 detailliert erläutert.



**Abb. 6.2: Foto des Luftmodells „Erosionsstrecke“ (Gipsoberfläche, ohne Farbanstrich)**



**Abb. 6.3:** Sichtbarmachung der Sohlstromlinien mit Anstrichverfahren für Variante 1A (Deichrückverlegung)

## **7     Hydraulisches Modell bei Mockritz/Döbern El-km 160,2 – 164**

### **7.1    Veranlassung und Zielstellung**

In Kap. 6 ist die Koppelung der verschiedenen Modellarten im Bereich der Erosionsstrecke bereits kurz angerissen worden. Aus der Analyse der Erosionsstrecke (s. auch [BAW, 1996b]) ergeben sich folgende prinzipielle Maßnahmen, die zur Eindämmung der Sohleneintiefung geeignet erscheinen:

#### **Erhöhung des Feststoffdargebotes:**

Erhöhung des Feststoffdargebotes im Fluß selbst (Geschiebezugabe)

#### **Erhöhung des Sohlenwiderstandes:**

Sohlstabilisierung mit Schwellen mit und ohne Zwischenfeldverfüllung, Sohlabdeckung

#### **Verringerung des Transportvermögens:**

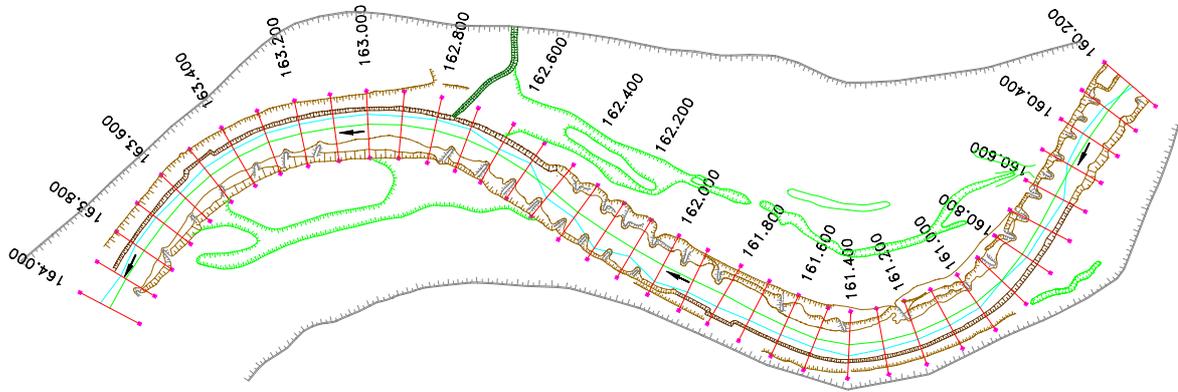
- Anpassung zu großer Regelbauwerke in Breite und Höhe an die geänderten Verhältnisse (nur mit Ausgleichsmaßnahmen, die die Vergrößerung des Abflußanteils im Mittelwasserbett verhindern),
- Beseitigung von Starkgefällestrecken,
- Vergrößerung der abflußwirksamen Flächen auf den Vorländern (Flutmulden, Vorlandabgrabungen, Beseitigung von Uferrehnen, strömungsgünstige Deichverläufe).

Das hydraulische Modell in der Erosionsstrecke (El-km 160,2 – 164,0: s. auch [BAW, 1998c]) wurde im Auftrag des WSA Dresden gebaut und wird bei der Bearbeitung der Aufträge des WSA Dresden eingesetzt. In diesem Rahmen werden am Modell die Maßnahmen innerhalb des Mittelwasserbettes untersucht wie Sohlstabilisierung und Anpassung der Mittelwasserbauwerke an die veränderten Strömungsverhältnisse. Im Rahmen des Forschungsprojektes wird die Eignung von Flutmulden zur Erosionseindämmung überprüft. Abgeleitet aus der Analyse des bestehenden Zustandes werden für Strecke des hydraulischen Modells praxisnahe Varianten zur Verringerung der Tiefenerosion untersucht.

### **7.2    Analyse der Untersuchungsstrecke**

Das Modellgebiet befindet sich 5 km nördlich von Torgau. Es handelt sich um den Abschnitt eines früheren „Doppeldurchstichs“, der im Rahmen von Hochwasserschutzmaßnahmen gegen Ende des 18. Jahrhunderts durchgeführt wurde. Ein Relikt des Durchstichs bei Neublesern ist der sogenannte Horstgraben, in Abb. 7.1 dunkelgrün dargestellt. Er hat heute die Funktion eines Entwässerungsgrabens für die landseitig der Deiche liegenden

Ackerflächen. Um einen anschließbaren Altarm handelt es sich hier nicht. Die Durchstiche führten seinerzeit zu einer Laufverkürzung von 5 bzw. 7 km. Im Laufe der Jahre hat sich ein neues Gleichgewicht eingestellt; das Gefälle im Untersuchungsgebiet beträgt heute wie in den angrenzenden Bereichen der Erosionsstrecke im Mittel 0,2 ‰.



**Abb. 7.1: Grundriss des Modellgebiets**

Die im Rahmen des Mittelwasserausbaus zu Beginn des 19. Jahrhunderts entstandenen Krümmungsradien betragen für den größeren Teil der Rechtskrümmung 650 m. Am Ende der Krümmung vergrößert sich der Radius auf 960 m. Der Radius der Linkskrümmung beträgt einheitlich 800 m. Der Zentriwinkel (Umlenkungswinkel) der Rechtskrümmung beträgt insgesamt  $105^\circ$ , der der Linkskrümmung  $100^\circ$ . Damit handelt es sich um schwache Krümmungen im Vergleich mit den Krümmungen, die sich vor dem Ausbau ausbilden konnten. Bezogen auf die Buhnenköpfe beträgt die Breite des geregelten Stroms 100 m. Dies entspricht dem Streichlinienabstand<sup>C</sup>. Das Verhältnis  $r/B$  beträgt damit für die Rechtskrümmung und für die Linkskrümmung ungefähr 8. Eine Teilung des Krümmungskolkes ist damit zu erwarten. Der Übergang zwischen Rechts- und Linkskrümmung ist 600 m lang und beträgt damit die sechsfache Fließbreite. Im Vergleich zu anthropogen unbeeinflussten Flußentwicklungen ist der Übergang sehr lang.

Der Talweg<sup>G</sup> (in Abb. 7.1 hellblau) verläuft in den Krümmungen dicht am Ufer. Am Ende des Übergangs in Elbe-km 162,400 wechselt er vom linken zum rechten Ufer. Die Prallufer zwischen Elbe-km 160,6 und 161,9 (links) sowie zwischen Elbe-km 162,45 und 163,90 (rechts) sind mit Deckwerken geschützt (in Abb. 7.1 dunkelbraun), ansonsten ist die Strecke mit Buhnen geregelt. Der heutige Ausbauzustand der Strecke wurde im Wesentlichen zwischen Ende des 19. und Anfang des 20. Jahrhunderts hergestellt. Der mittlere Abstand der Buhnen in Fließrichtung beträgt etwa 100 m und entspricht damit der Streichlinienbreite. Am Anfang des Untersuchungsgebietes sowie im Übergang liegen die Buhnen etwas dichter, in den Gleituffern der Krümmungen ist der Abstand größer. Zwischen Elbe-km 162,9 und 163,0 fehlt eine Buhne völlig. Die Buhnen sind insgesamt inklinant, d.h. gegen die Fließrichtung geneigt. Die Winkel betragen im Übergang  $5-10^\circ$ , in den Krümmungen  $20-30^\circ$ .

Die Vorländer sind schmal, die größte Breite von Ufer bis Deich des rechten Vorlandes beträgt 660 m, die des linken Vorlandes 425 m. Die größten Breiten zwischen den Deichen befinden sich an den Krümmungsscheiteln und betragen in der Rechtskrümmung 900 m und in der Linkskrümmung 850 m. Die kleinste Breite beträgt 700 m (Übergang). Rinnen, die bei häufig auftretenden Abflüssen durchströmt werden, existieren auf den Vorländern nicht. Die in Abb. 7.1 dunkelgrün dargestellten Rinnen auf dem rechten Vorland werden bei Abflüssen ab  $HQ_2 = 1220 \text{ m}^3/\text{s}$ , von unterstrom eingestaut. Ihre Breite beträgt 20 m. Der Einlaufbereich erstreckt sich von Elbe-km 162,6 bis 162,8 (Horstgraben). Auch beim fünfjährigen Hochwasser werden diese Rinnen noch nicht durchströmt. Auf dem linken Vorland befindet sich eine 50 m breite Rinne. Diese wird bei  $HQ_5 = 1800 \text{ m}^3/\text{s}$ , schwach durchströmt.

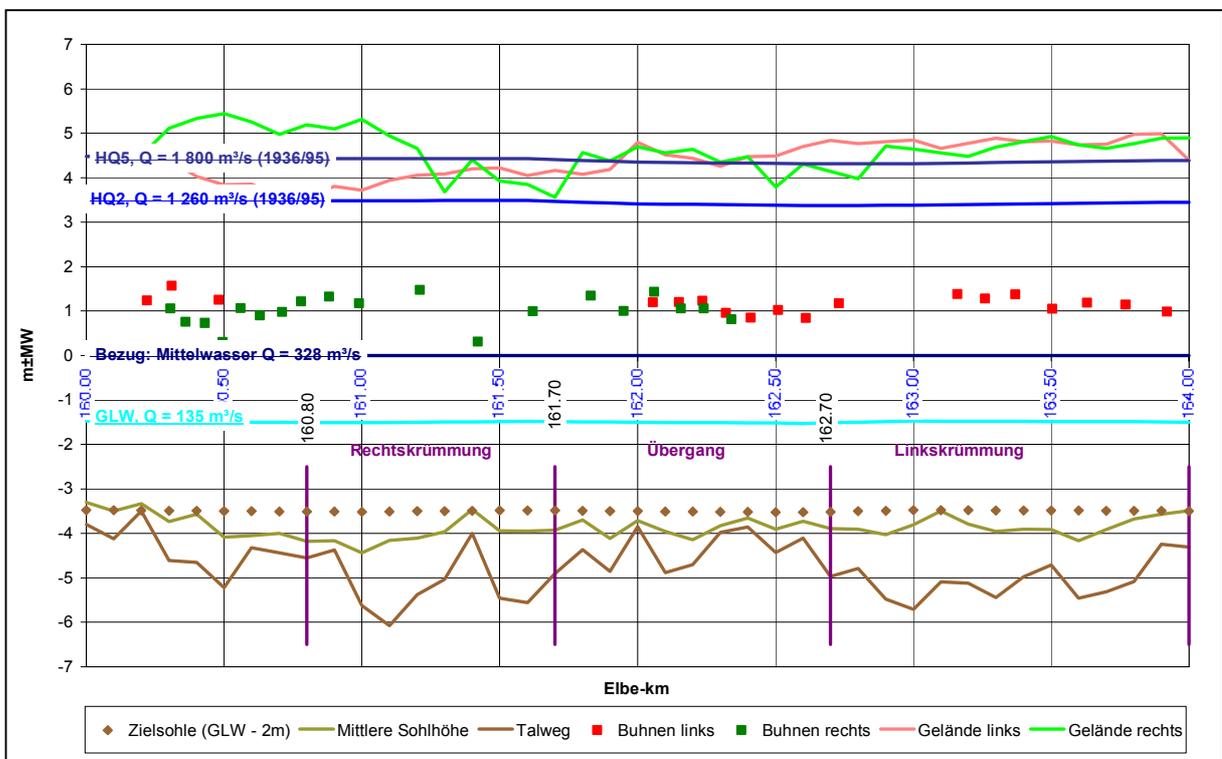
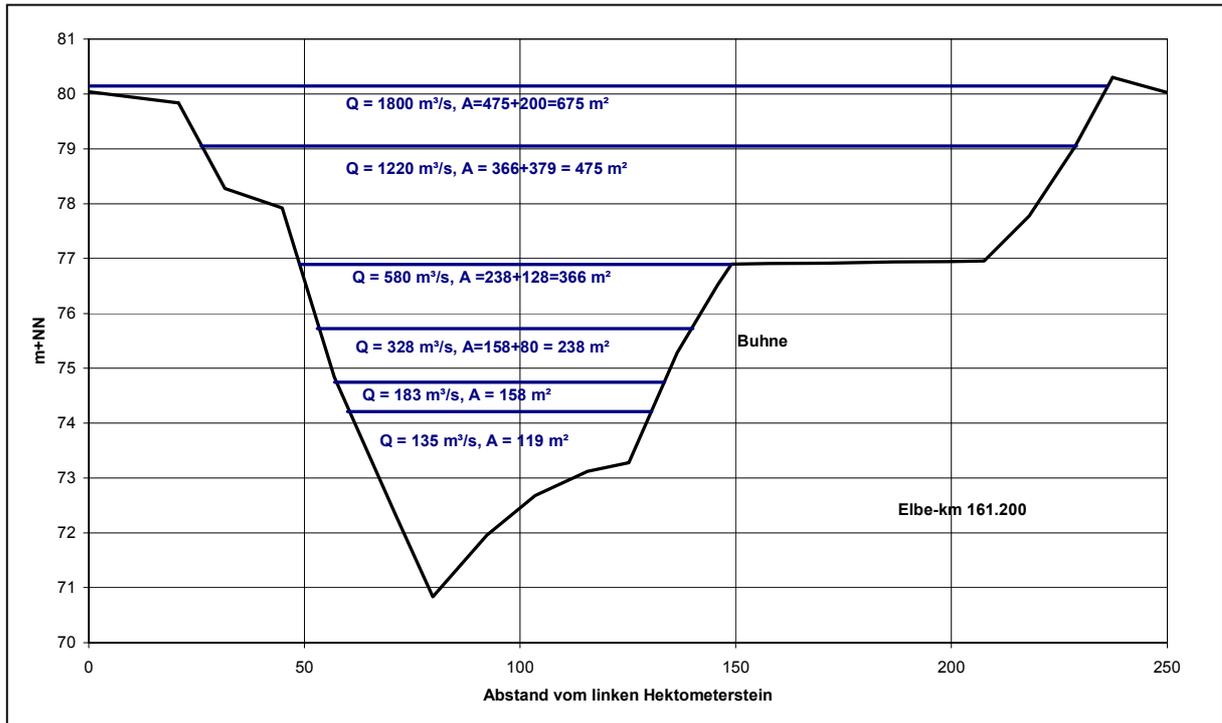


Abb. 7.2: Längsschnitt des Modellgebietes

Im Längsschnitt des Untersuchungsgebietes zeigen sich die langfristigen Wirkungen der Erosion deutlich. Die Bühnen, Ende des 19., Anfang des 20. Jahrhunderts auf das damalige Mittelwasserniveau eingebaut, liegen wegen des Wasserspiegelverfalls heute maximal 1,75 m und im Mittel 1 m über dem heutigen Mittelwasser. Die Bühnenköpfe sind in Abb. 7.2 für das linke Ufer rot und für das rechte Ufer grün eingetragen. Tief liegende Bühnenköpfe in Elbe-km 160,5 und 161,5 rechts deuten auf eine erfolgte Unterspülung der Bühne und ein Abrutschen der Bühnenkopfböschung hin. Nach den Regelungsgrundsätzen des Niedrigwasserausbaus [REICHsverkehrsministerium, 1935/40] betrug die Sollneigung der Bühnenköpfe 1:5. Bei den genannten Bühnen liegt diese Neigung heute bei 1:4. Die Wassertiefen beim Ausbauwasserstand<sup>H</sup> sind in der gesamten Untersuchungsstrecke sehr tief, die mittlere Sohle liegt nahezu durchgängig tiefer als die sog. Zielsohle GIW<sup>I</sup> – 2 m. Für die Schifffahrt weist die Strecke demzufolge keine tauchtiefenbestimmenden Stellen auf. Probleme ergeben sich lediglich in den Krümmungen mit ausgeprägtem Dreiecksprofil bei der Einhaltung der Sollsohle<sup>J</sup> von GIW - 1,6 m über die gesamte Fahrrinnenbreite von 50 m.

Auch an den hochliegenden Ufern zeigt sich die Erosion deutlich. Sie liegen maximal 5 m, minimal 3,60 m und im Mittel 4,5 m über dem heutigen Mittelwasser. Ausuferung erfolgt demzufolge erst bei größeren Hochwassern: Liegt bei naturnahen europäischen Flüssen der Ausuferungswasserstand im Mittel bei HQ<sub>2</sub>, so wird dieser im Untersuchungsgebiet erst bei HQ<sub>5</sub> (Q = 1800 m<sup>3</sup>/s (1936/95)) erreicht. Von einer vollständigen Überströmung der Vorländer kann aber auch bei HQ<sub>5</sub> nicht ausgegangen werden. Lediglich am Anfang der Linkskrümmung zwischen Elbe-km 162,6 und 162,8 ist auf beiden Ufern der Ausuferungswasserstand erreicht: Hier kommt es zum bereits erwähnten rückwärtigen Einstau in das rechte Vorland. Auf dem linken Vorland beginnt die Durchströmung der Rinne. Die Fließtiefe in der Rinne beträgt weniger als 0,5 m.

In den für die Erosionsstrecke verhältnismäßig engen Krümmungen erreichen die Krümmungskolke extreme Tiefen. Der von Elbe-km 160,9 bis 161,7 reichende Kolk der Rechtskrümmung erreicht eine maximale Tiefe in Elbe-km 161,1 von 6 m unter Mittelwasser oder 4,5 m unter GIW. Ähnlich stellen sich die Verhältnisse im Kolk der Rechtskrümmung zwischen Elbe-km 162,9 und 163,8 dar. Hier liegt die maximale Tiefe in Elbe-km 163,0 bei 5,70 m unter Mittelwasser, bzw. 4,20 m unter GIW. Eine Teilung des Krümmungskolkes kann aus Abb. 7.2 herausgelesen werden.



**Abb. 7.3: Querprofil in Elbe-km 161,200**

Abb. 7.3 zeigt ein typisches Krümmungsprofil des Untersuchungsgebietes. Hier handelt es sich um den Krümmungsscheitel der Rechtskrümmung. Die Tiefe des Krümmungskolkes beträgt 3,30 m unter GIW ( $Q = 135 \text{ m}^3/\text{s}$ ), also 1,30 m unter Zielsohle (GIW-2 m). In diesem Querschnitt liegt der Bühnenkopf 1,10 m über dem derzeitigen Mittelwasser von  $328 \text{ m}^3/\text{s}$  (Jahresreihe 1980/91). Die Überströmung der Bühnen beginnt erst bei etwa  $580 \text{ m}^3/\text{s}$ , d.h. bei nahezu zweifachem MQ.

Zusammenfassend weist das Untersuchungsgebiet folgende Defizite auf:

- In den Krümmungen treten extrem tiefe Kolke auf, die die Standsicherheit von Deckwerken und Bühnen gefährden.
- Die Bühnen liegen im Mittel um 1 m zu hoch. Daher schränken sie den Abflussquerschnitt auch bei Abflüssen größer Mittelwasser besonders bis zum Überströmen der Bühnen ein.
- Ausuferung erfolgt erst bei größeren Hochwassern, das Abflussgeschehen spielt sich im mittleren Jahresgang beinahe ausschließlich im Flussschlauch ab. Die hydraulische Belastung desselben ist daher sehr groß.



Abb. 7.4: Blick auf das fertige Modell in Fließrichtung bei  $Q = 183 \text{ m}^3/\text{s}$

### 7.3 Modellkalibrierung

Im Rahmen der Modellkalibrierung wird der Modellwasserspiegel eines vorgewählten Modellabflusses einer in der Natur aufgenommenen Wasserspiegelfixierung durch Veränderung der Rauheiten angeglichen. Da im Modellbereich eine relativ starke Tiefenerosion herrscht, sollten die zur Kalibrierung herangezogenen Wasserspiegelfixierungen möglichst aktuell sein, bzw. aus dem gleichen Zeitraum wie die Sohlpeilung, die dem Modellaufbau zugrunde liegt, stammen.

Da einerseits die Tiefenerosion im Modellbereich ca. 1,2-1,4 cm/a beträgt, andererseits der Vertrauensbereich einer Wasserspiegelfixierung im unteren Abflußspektrum mit  $\pm 5 \text{ cm}$  angenommen wird, ergibt sich als Zeitfenster das Jahr der Sohlpeilung  $\pm 5$  Jahre. Die für den Modellaufbau verwendeten Sohlpeilungen stammen aus dem Jahr 1993. Damit stehen für die Modelleichung die in Tab. 7.1 aufgeführten Fixierungen zur Verfügung. Zum Vergleich sind die Fixierungen den Hauptwerten der Jahresreihe 1980/1991 am Pegel Torgau (Elbkm 154,59 bis 31.10.95) zugeordnet. Die für die Modelleichung ausgewählten Fixierungen sind rot gekennzeichnet. Die Auswahl derselben wird im Folgenden begründet.

Fixierung /Hauptwert 1980/91	Abfluß a. P. Torgau Q [m³/s]	Modell-Abfluß Q [l/s]
NQ	93,9	5,51
MNQ	130,0	7,71
Q <sub>GIW</sub>	135,0	8,00
<b>07.10.93</b>	<b>135</b>	<b>8,00</b>
<b>23.08.95</b>	164	9,72
<b>24.10.95</b>	<b>183</b>	<b>10,85</b>
<b>15.10.96</b>	192	11,38
<b>21.11.94</b>	206	12,21
<b>09.05.94</b>	<b>328</b>	<b>19,45</b>
MQ	330,0	19,57
<b>07.02.94</b>	560	33,20
<b>18.03.97</b>	<b>580</b>	<b>34,39</b>
<b>31.01.95</b>	<b>1220</b>	<b>72,33</b>
MHQ	1300	77,08
HQ	2170	128,66
HQ <sub>200</sub>	2590	153,57

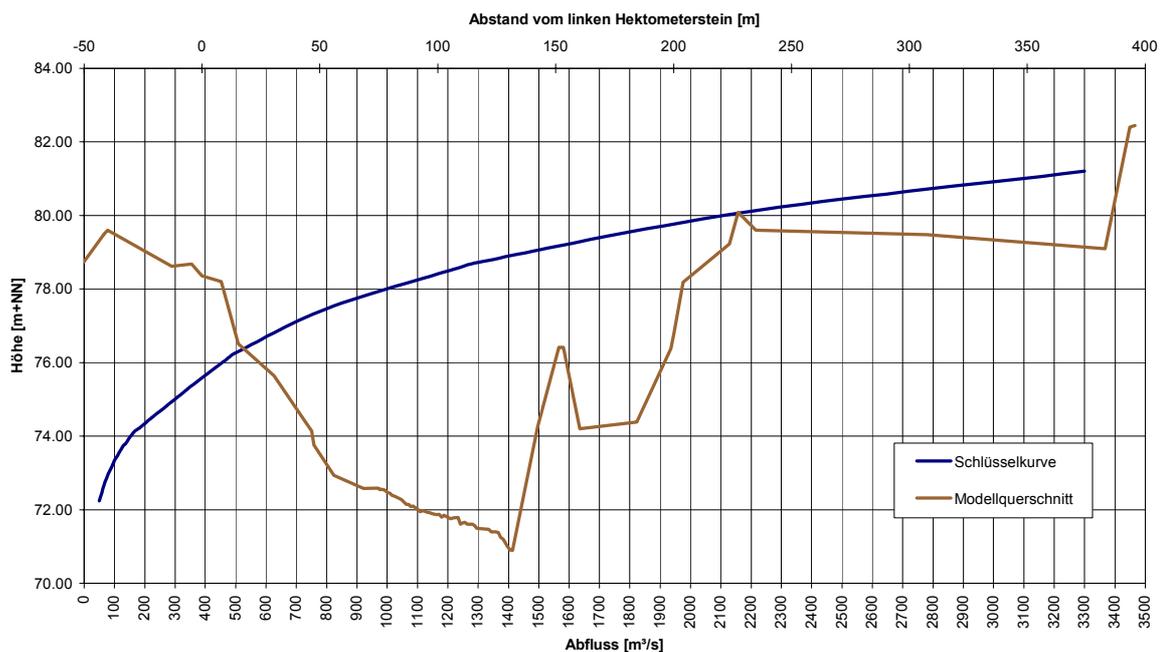
Tab. 7.1: Fixierungen mit Abflüssen in Natur und Modell (Pegel Torgau)

Jahresreihe 1936/95	Abflussa.P. Torgau Q [m³/s]	Modell-Abfluss Q [l/s]	Vergleich Jahresreihe 1951/90
HQ <sub>2</sub>	1260	74,0	1220
HQ <sub>5</sub>	1800	106,0	1640
HQ <sub>10</sub>	2120	125,7	1880
HQ <sub>20</sub>	2490	147,6	2090

Tab. 7.2: Hochwasser verschiedener Jährlichkeiten der Jahresreihe 1936/95

Die Auswirkung von Abflüssen kleiner Mittelniedrigwasser auf die Tiefenerosion sind im untersuchten Abschnitt als vernachlässigbar gering anzusehen (s. Kap. 3.2). Daher ist eine Untersuchung derselben im Rahmen dieses Modells nicht notwendig. Zwischen Mittelniedrigwasser und Mittelhochwasser stehen ausreichend Fixierungen zur Verfügung. Leider existiert im extremen Hochwasserbereich keine aktuelle Fixierung. Im Modellbereich liegen auch keine Deichpegel, die bei Hochwasser abgelesen werden, so daß Wasserstände für Durchflüsse größer als 1220 m³/s nicht bekannt sind. Da bei den fixierten Durchflüssen bis

1220 m<sup>3</sup>/s die Vorländer des Untersuchungsbereichs nicht durchströmt sind, ergibt sich die Notwendigkeit, synthetische Hochwasser im Modell zu untersuchen. Für die Untersuchung wird das fünfjährige Hochwasser HQ<sub>5</sub> einbezogen. Die Wasserspiegellinie dieses Abflusses wurde durch Parallelverschiebung des Abflusses vom 31.01.1995 ( Q = 1220 m<sup>3</sup>/s) anhand einer für das Modellende in Elbe-km 164,000 erstellten Schlüsselkurve (siehe Abb. 7.5) erhalten. Die Schlüsselkurve ist mit der Modellgeometrie in Elbe-km 164,0 hinterlegt. Die Abstände vom linken Hektometerstein sind auf der oberen x-Achse abgetragen. Durch die gemeinsame y-Achse wird deutlich, daß erst bei Wasserständen ab 80 m+NN die Vorländer überströmt werden. Dies entspricht Durchflüssen um 2100 m<sup>3</sup>/s.



**Abb. 7.5: Schlüsselkurve und Modellgeometrie in Elbe-km 164,000**

Aus den vorhandenen Fixierungen wurde die in Abb. 7.6 gezeigte Auswahl für die Kalibrierung des unteren Abflußspektrums getroffen. Die in Abb. 7.6 gestrichelt dargestellte Fixierung vom 15.10.96 zeigt im Vergleich mit der Fixierung vom 24.10.95 bei beinahe gleichem Abfluß nur im mittleren Bereich zwischen Elbe-km 162,0 und 162,5 gute Übereinstimmung von ±1,5 cm. Oberhalb und unterhalb liegt die jüngere Fixierung um ca. 7 cm höher und weicht vom Verlauf aller anderen Fixierungen ab (keine Baumaßnahmen im Bereich erfolgt). Für die Modellkalibrierung wurde deshalb die Fixierung vom 24.10.95 verwendet.

Abb. 7.7 zeigt die Fixierungen für die Kalibrierung des oberen Abflußspektrums, sowie rot die Lage der Meßtöpfe im Modell.

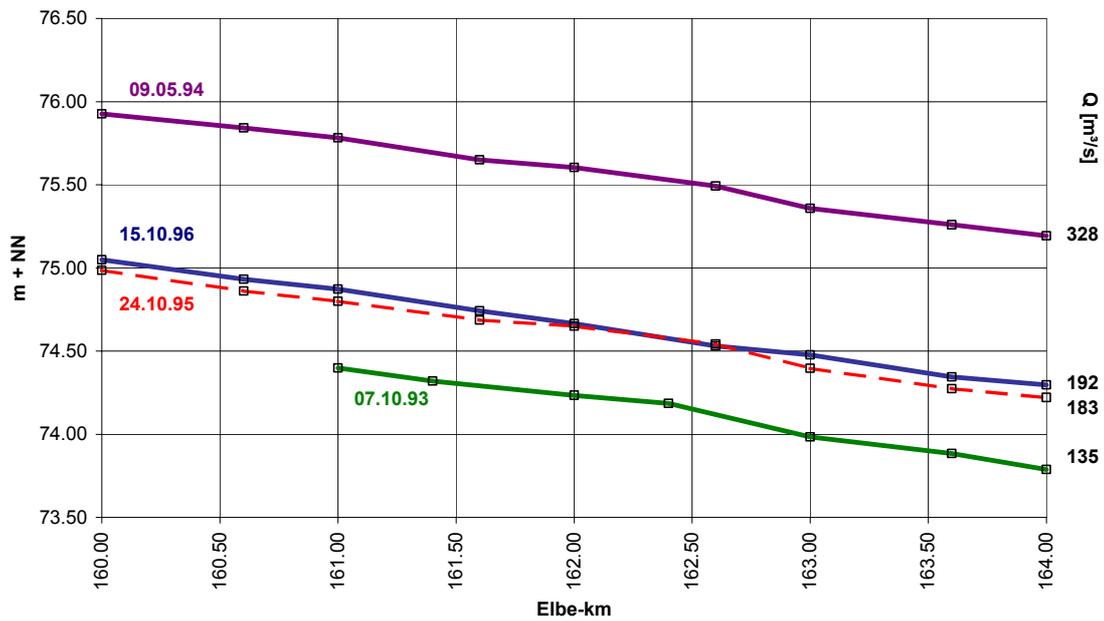


Abb. 7.6: Fixierungen für die Kalibrierung des unteren Abflußspektrums

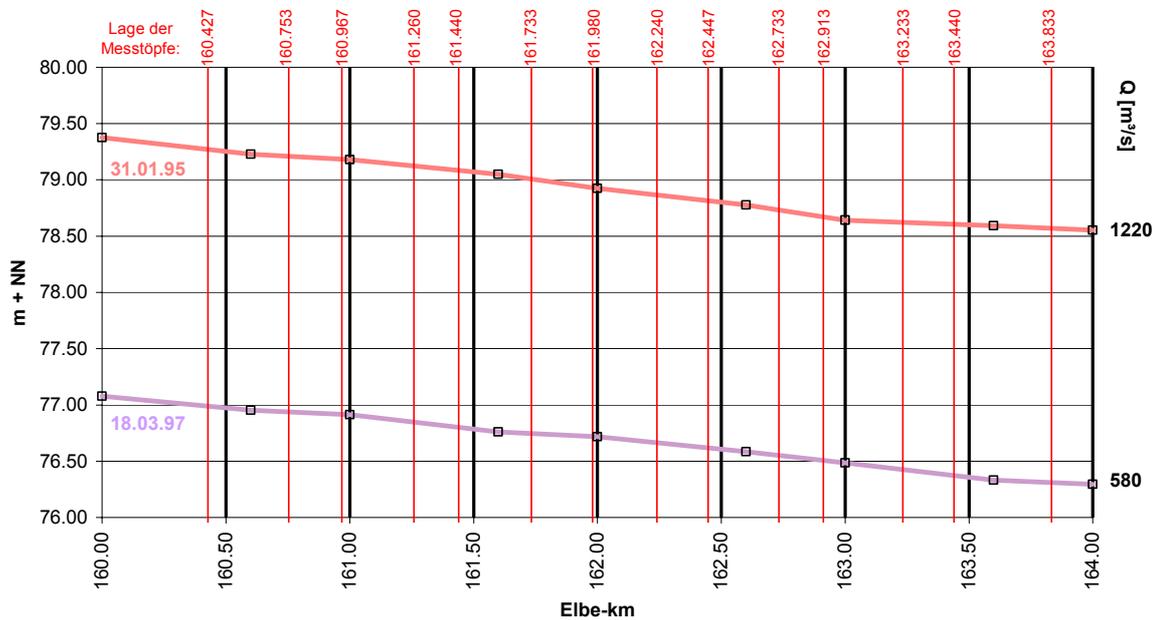
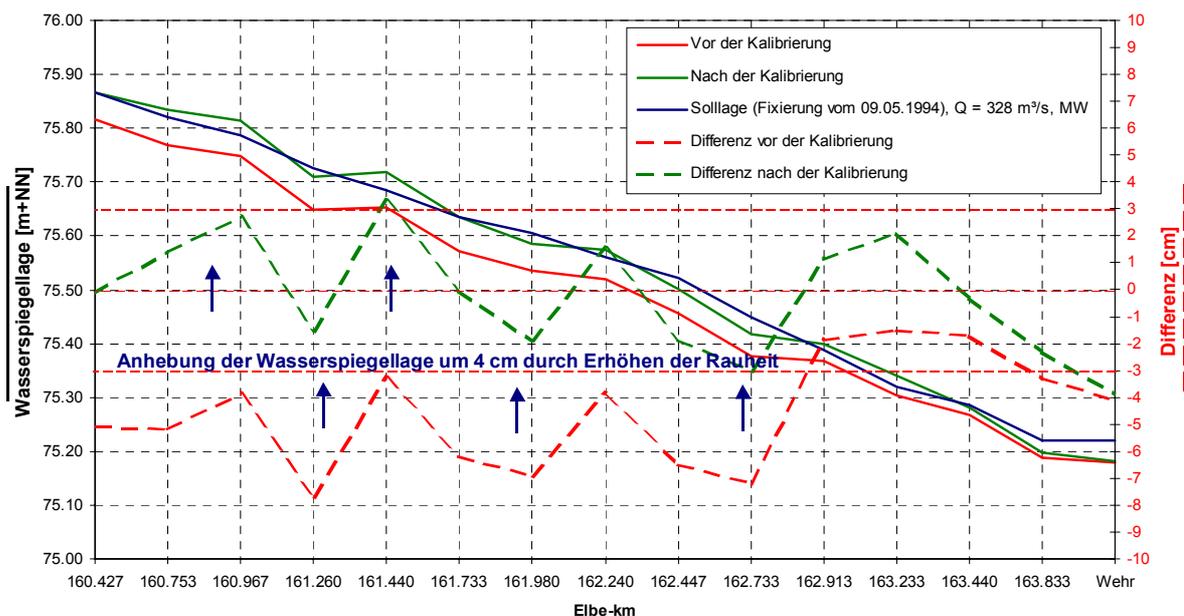


Abb. 7.7: Fixierungen für die Kalibrierung des oberen Abflußspektrums

Da im Rahmen der Modellplanung Rauheiten nur angenommen werden können, ist eine Kalibrierung der Wasserspiegellage über die Länge des Modells zur Gewährleistung der Modellähnlichkeit unerlässlich. Im Rahmen der Modellplanung wurde die herzustellende Sohlrauheit des Flussbettes aus dem  $d_{90}$  des natürlichen Sohlmaterials ermittelt. Er beträgt für den Untersuchungsbereich 33 mm. Daraus wurde eine herzustellende Sohlrauheit  $k$  von 3,7 mm ermittelt [GOCHT, 1997]. Die Sohle wurde schließlich mit einem Betonkies der Körnung 2-8 mm gebaut ( $d_m = 4$  mm). Bei der Kalibrierung war eine weitere Erhöhung der Sohlrauheit erforderlich. Die Modellkalibrierung gilt als gelungen, wenn sich die Abweichungen des im Modell gemessenen Wasserspiegels von der für die Kalibrierung gewählten Fixierung in einem Bereich von  $\pm 5$  cm bei den Abflüssen des unteren Abflussspektrums bewegen. Bei Hochwasserabflüssen ist eine Abweichung von  $\pm 10$  cm tolerierbar, da die Naturmessungen mit größeren Ungenauigkeiten behaftet sind und auch nur eine Fixierung zur Verfügung steht (keine Plausibilisierung an Hand weiterer Naturmessungen möglich). Beispielhaft wird hier die Modellkalibrierung anhand des Mittelwassers und des zweijährigen Hochwassers dargestellt.



**Abb. 7.8: Kalibrierung des Mittelwasserabflusses,  $Q = 328 \text{ m}^3/\text{s}$**

Abb. 7.8 zeigt rot den Wasserspiegel vor und grün den Wasserspiegel nach der Kalibrierung. Die der Kalibrierung zugrundeliegende Fixierung ist blau dargestellt. Die Differenz zwischen Soll- und Istlage ist mit Bezug auf die Sekundärachse gestrichelt dargestellt. Auf der X-Achse ist die Lage der Messtöpfe (siehe Abb. 7.7) aufgetragen.

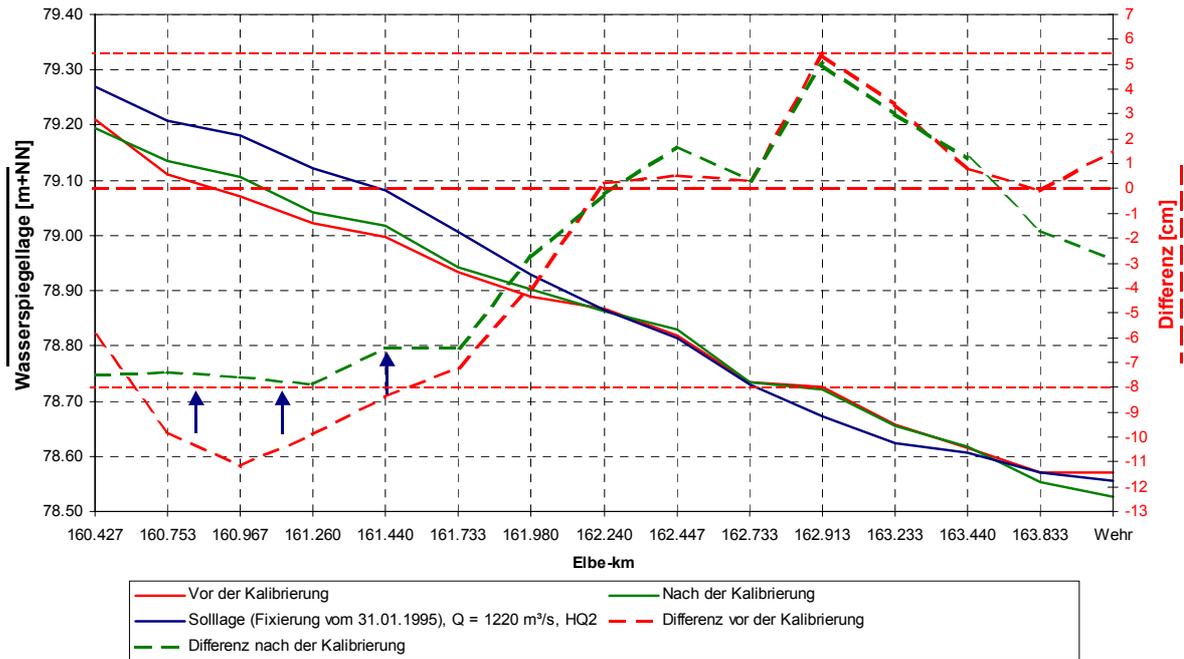


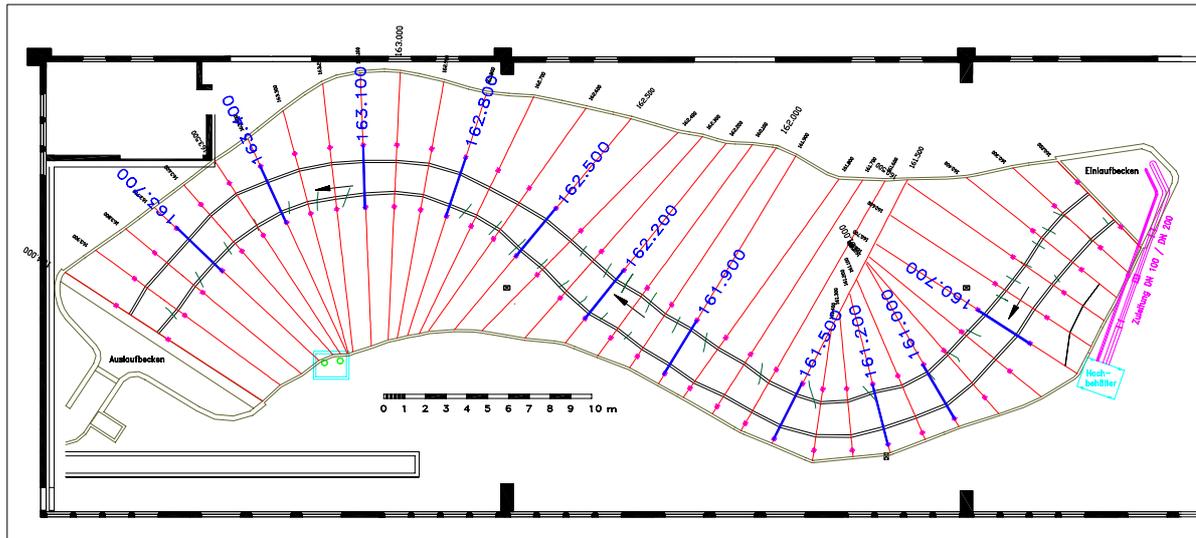
Abb. 7.9: Kalibrierung des zweijährigen Hochwassers,  $Q = 1\,220\text{ m}^3/\text{s}$

## 7.4 Untersuchung des Istzustandes

### 7.4.1 Geschwindigkeiten in Hauptströmungsrichtung

Um die Streckencharakteristik hinreichend genau zu erfassen, wurden Geschwindigkeitsmessungen in 11 möglichst regelmäßig über das Modell verteilten Meßprofilen durchgeführt (siehe Abb. 7.10). Die Meßprofile liegen auf den Einbauprofilen des Flußbettes und damit nicht zwischen den Bühnenköpfen. Die Bühnen sind in Abb. 7.10 als grüne Striche angedeutet. In den Meßprofilen wurden Vielpunktmessungen in 8-10 Meßlotrechten mit bis zu 10 Punkten durchgeführt.

Abb. 7.11 zeigt beispielhaft Isotachenpläne der drei im unteren Abflußspektrum untersuchten Abflüsse im Krümmungsscheitel der Linkskrümmung in Elbe-km 163,100. Der Abfluß nimmt von oben nach unten zu. Hier wird deutlich, daß besonders beim Abfluß  $Q=580\text{ m}^3/\text{s}$  die Strömungsbelastung des Flußbettes sehr groß ist. Hier treten böschungs- und sohnah Geschwindigkeiten bis zu 2 m/s auf. Das Geschwindigkeitsmaximum liegt deutlich näher am Prallhang, als bei den kleineren Abflüssen.



**Abb. 7.10: Messprofile für Vielpunktmessungen im Modell**

Die Abb. 7.12 zeigt aus den Vielpunktmessungen ermittelte mittlere Fließgeschwindigkeiten über die Länge des Modells für die gemessenen Abflüsse. Darunter sind die Abflußflächen der entsprechenden Fließquerschnitte angeordnet. Die Zunahme der Abflußfläche mit steigendem Abfluß ist in den einzelnen Säulen angegeben. Da die Meßprofile nicht zwischen Bühnenköpfen, sondern im Bereich der Bühnenfelder liegen, schwanken Abflußflächen und Fließgeschwindigkeiten relativ stark. Die kleinsten Fließgeschwindigkeiten mit den größten Abflußflächen liegen im Übergang bei Elbe-km 162,200. Insgesamt zeigen die Messungen ein konsistentes Bild: Erwartungsgemäß steigt die mittlere Fließgeschwindigkeit mit dem Abfluß. Mittelt man die Fließgeschwindigkeiten je Abfluß über die Länge des Modells, ergeben sich Fließgeschwindigkeiten wie in Tab. 7.3 angegeben. Hier ist auch die Fließgeschwindigkeit für das in Abb. 7.12 nicht dargestellte fünfjährige Hochwasser ( $Q=1800 \text{ m}^3/\text{s}$ ) enthalten.



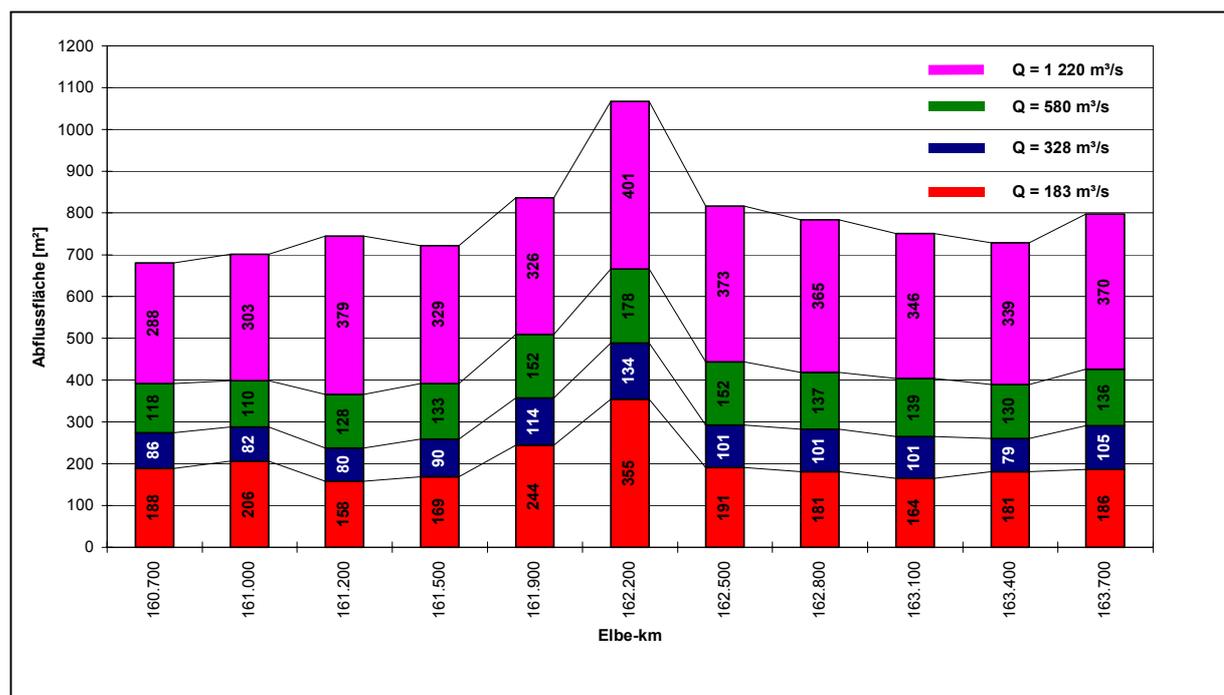
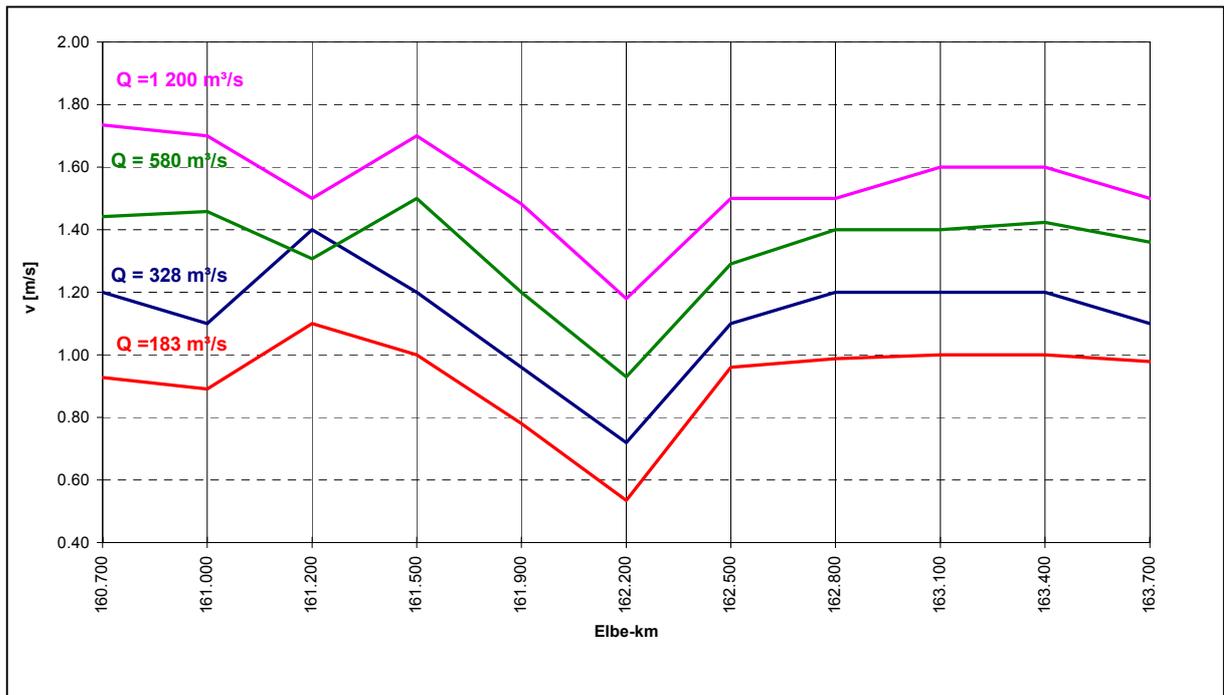


Abb. 7.12: Mittlere Fließgeschwindigkeiten und entsprechende Abflussflächen des Istzustandes

Q [m³/s]	v [m/s]
183	0,9
328	1,1
580	1,3
1220	1,5
1800	1,7

**Tab. 7.3: Mittlere Fließgeschwindigkeiten des Istzustandes**

#### 7.4.2 Tracerversuche

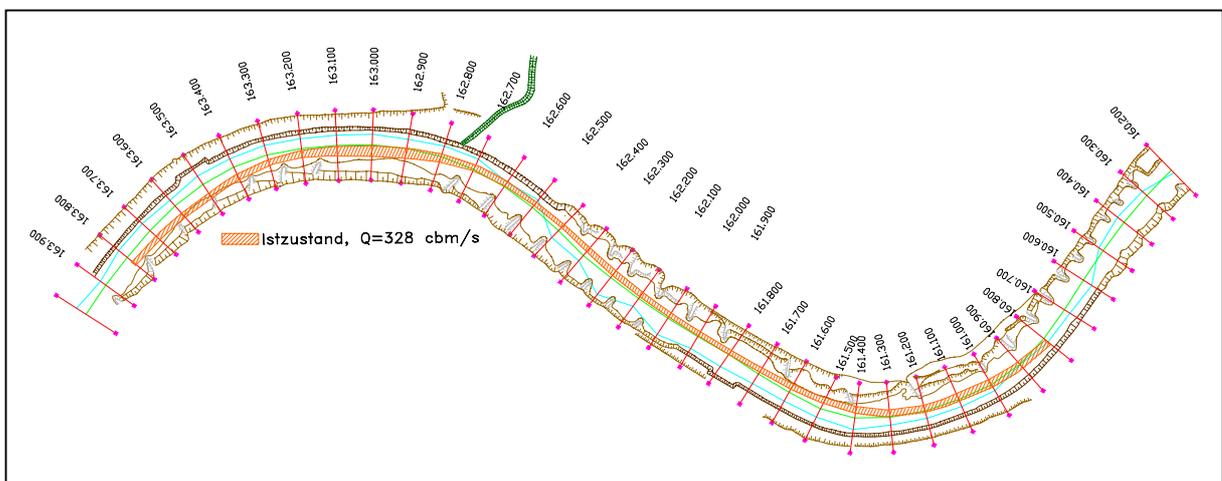
Sekundärströmungen sind mit dem angewandten Messverfahren zwar grundsätzlich messbar, sie fallen aber bei den untersuchten Abflüssen so gering aus, daß weder Betrag noch Richtung reproduzierbar gemessen werden konnte. Der Nachweis, daß sie im Modell naturähnlich abgebildet sind, wird über die Tracerversuche geführt.



**Abb. 7.13: Tracerdosierung in Betrieb**

Durch Zugabe eines Tracers wird die Bewegung des Geschiebes an der Sohle simuliert, so daß trotz Aufbau des Modells mit fester Sohle über die Sichtbarmachung der sohlennahen Strömung qualitative Aussagen zum Geschiebetransport gemacht werden können. Da in der untersuchten Strecke nur geringe Geschiebemengen transportiert werden (s. Kap. 3.2), kommt die Darstellung von über eine stabile Sohle in einem „Geschiebeband“ transportiertem Material den Naturgegebenheiten recht nahe. Zum Einsatz kommt ein gelbes Polystyrolgranulat [GOCHT, 1997].

Abb. 7.13 zeigt die Tracerdosierung im Betrieb. Im Hintergrund ist ein 2,25 m hoher Plexiglaszylinder zu sehen, der mit dem Granulat gefüllt ist. Eine runde Platte im Zylinder wird von einem Zahnriemen kontinuierlich nach oben gezogen und fördert so das Granulat zum oben befindlichen Auslauf. Im oberen Bereich des Zylinders wird das Granulat durch zugegebenes Wasser aufgewirbelt und fließt mit diesem zum Modell. Im Bildvordergrund ist die Zugabevorrichtung zu sehen.



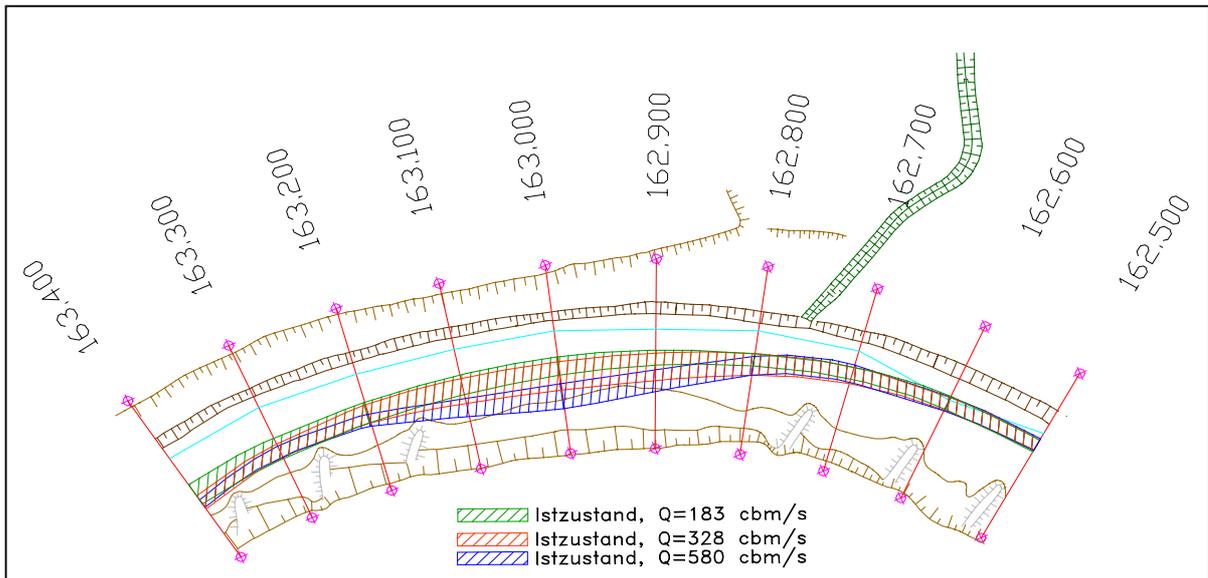
**Abb. 7.14: Tracerband bei Mittelwasser**

Abb. 7.14 zeigt die Lage des Tracerbandes bei Mittelwasser. Zur Orientierung ist der Talweg als Bereich größter Fließgeschwindigkeiten hellblau, sowie die Gewässerachse (grün) dargestellt.

Der Tracer wurde vor der ersten Krümmung des Modells in Elbe-km 160,8 im Talweg zugegeben. Aufgrund der am Krümmungsanfang einsetzenden Sekundärströmung, die in Sohlhöhe zur Krümmungsinneiseite gerichtet ist, wechselt das Tracerband zwischen Elbe-km 160,9 und 161,4 die Seite. Dabei nimmt seine Breite von 16,7 m bis zum Krümmungsscheitel in 161,2 auf 20 m zu, um bis 161,4 wieder auf 18,7 m abzunehmen. Bis zum Beginn der Linkskrümmung in Elbe-km 162,4 verharret das Tracerband auf der rechten Seite des Flußbettes mit Breiten zwischen 12 und 13 m. Zwischen Elbe-km 162,4 und 162,6 kreuzt es den Talweg und wechselt bis Elbe-km 162,9 auf die Krümmungsinneiseite. Wegen einer nicht

vorhandenen Buhne in Elbe-km 163,0 erreicht das Tracerband hier die größte Breite von 30 m. Dahinter nimmt sie wieder ab bis auf 16,7 m am Modellende.

Das Tracerband nimmt also immer eine Position möglichst weit entfernt vom Talweg und damit im Bereich kleinerer Fließgeschwindigkeiten ein. In den Krümmungen wird es breiter.



**Abb. 7.15: Tracerband für verschiedene Abflüsse in der Linkskrümmung**



**Abb. 7.16: Tracer im Übergang bei Elbe-km 162,200, Mittelwasser**

Abb. 7.15 zeigt einen Ausschnitt der Linkskrümmung des Modells mit Tracerbändern für die Abflüsse von 183 bis 580 m<sup>3</sup>/s. Hier sind die charakteristischen Änderungen zwischen den verschiedenen Abflüssen besonders deutlich zu erkennen. Mit zunehmendem Abfluss und damit zunehmender Sekundärströmung verlagert sich das Band zum Innenufer. Seine Breite nimmt dabei aufgrund der zunehmenden Transportkraft der Strömung von Q=183 m<sup>3</sup>/s nach Q=328 m<sup>3</sup>/s deutlich zu. Die Breite in Elbe-km 163,0 beträgt beispielsweise bei Q=183 m<sup>3</sup>/s 19,4 m, bei Q = 328 m<sup>3</sup>/s 30 m. Bei Q=580 m<sup>3</sup>/s ist eine weitere Zunahme der Breite nicht festzustellen. In Elbe-km 163,0 beträgt sie bei diesem Abfluß 27 m. Dafür erfolgt der Wechsel des Tracerbandes ans Innenufer auf kürzerer Distanz als bei den kleineren Abflüssen.

Abb. 7.16 zeigt den Tracer im Übergang bei Elbe-km 162,2 in einem Blick in Fließrichtung bei einem Abfluß von 328 m<sup>3</sup>/s. Er bewegt sich hier dicht am Bühnenfuß am rechten Ufer. Die Bildung von typischen Transportkörperformen war häufig zu beobachten: In der oberen Bildhälfte bewegen sich drei sichelförmige Transportkörper auf den Bildrand zu. Die Breite des Tracerbandes wurde im Modell mit 25 cm gemessen. Dies entspricht in der Natur 16,7 m. In der Natur wurde bei km 167,85 eine geschiebeführende Breite von 30 bis 70 m (je nach Durchfluss) gemessen.

## 7.5 Variantenuntersuchung

### 7.5.1 Variantenauswahl für das hydraulische Modell

- Mit der im vorigen Kapitel vorgestellten Nullvariante wurde ein bestehender Zustand mit seinen hydraulisch-morphologischen Defiziten beschrieben. Vorangegangene Untersuchungen der BAW (u.a. [BAW, 1998b]) zeigen, daß das grundsätzliche Problem der gesamten Erosionsstrecke von Elbe-km 120 bis 230 – die Tiefenerosion – nicht durch eine, alles heilende Maßnahme allein gelöst werden kann, sondern daß ein Maßnahmemix zum Einsatz kommen muß, der lokal optimiert angewendet wird und
- aus relativ kleinen unterschiedlichen Einzelmaßnahmen besteht, die vom Grundsatz her in vielen Abschnitten der Erosionsstrecke mit lokaler Anpassung anwendbar sind und
- Flußschlauch und Vorländer einbezieht.

Die Varianten werden im hydraulischen Modell, soweit es sich um Maßnahmen an der Flußsohle handelt, in der Linkskrümmung, der unteren Krümmung im Modell, eingebaut. Damit lassen sich die Auswirkungen nach Oberstrom im Modell ermitteln. Varianten an Bühnen werden im Übergang realisiert. Da die Bühnen dort beidseitig angeordnet sind, ist die Wirkung von Änderungen dort am stärksten.

Folgende Einzelziele werden mit den zu untersuchenden Maßnahmen verfolgt:

- Beeinflussung der Strömung in den Krümmungen, Verringerung der Kolkbildung durch die Sekundärströmung,
- Stabilisierung der Sohle in Bereichen starker Kolkbildung zum Schutz der Deckwerke,
- Verringerung der Kolkbildung an Bühnen,
- Vergrößerung des Durchflußquerschnittes für Abflüsse zwischen mittlerem und bordvollem Abfluß,
- frühere Ausuferung und Vergrößerung des über die Vorländer abgeführten Durchflußanteiles.

Die hydraulisch-morphologischen Wirkungen der Strömung in Krümmungen und deren Beeinflussung wurden in der Literatur studiert. Prinzipielle Überlegungen werden im Abschlußbericht zum hydraulischen Modell dargelegt. Hier werden nur kurz die für den Untersuchungsraum abgeleiteten Varianten auch für Maßnahmen im Flußbett erläutert, da diese mit im Rahmen des Forschungsprojektes untersuchten Vorlandvarianten gekoppelt werden.

#### **Variante 1: horizontaler Kolkverbau auf das Niveau GIW-2,4m**

Als lokale Maßnahme hat sich ein Kolkverbau zur Sohlstabilisierung in der Erosionsstrecke bewährt. Seine Wirkung besteht in einer Anhebung der Wasserspiegellage, die im Rahmen dieser Untersuchungen von untergeordnetem Interesse ist, einer zuverlässigen Stabilisierung der Sohle gegen den Strömungsangriff und einer Verlagerung des Geschwindigkeitsmaximums in Richtung Gleithang. Der große Nachteil eines Kolkverbaus sind die stärkeren Belastungen der benachbarten, unverbauten Strecken. Der Verbau von Kolken kann nur als lokale Einzelmaßnahme zum Einsatz kommen. Abb. 7.17 zeigt die querschnittsbezogenen Volumen für einen Kolkverbau im Modellbereich auf verschiedene Niveaus unter GIW. Hier wird deutlich, daß durch die vergleichsweise tiefe Lage der Flußsohle im Untersuchungsraum, bei ungeprüfter Annahme eines Verbauhizontes in Höhe der üblichen Zielsohle bei GIW-2 m im Modellbereich ein großräumiger Verbau über die Gesamtstrecke vorgenommen würde. Dieser erreichte in der Summe ein Verbauvolumen von 92 500 m<sup>3</sup>, was rund 7 400 Lastzügen oder 250 Großgütermotorschiffen entspräche. Es wären mit diesem Horizont nicht nur die Krümmungen, sondern auch der Übergang zu verbauen, was nicht sinnvoll ist. Da beim Kolkverbau nur extrem große Krümmungskolke verbaut werden sollen, wurde der Verbau auf das Niveau GIW-2,4 m vorgesehen und am Krümmungsanfang und -ende wird der Verbau zur Istsohle hin abgeböscht. Abb. 7.17 zeigt hellblau die im Modell eingebaute Variante. Dafür würden in der Natur 17 000 m<sup>3</sup> Verbauvolumen benötigt.

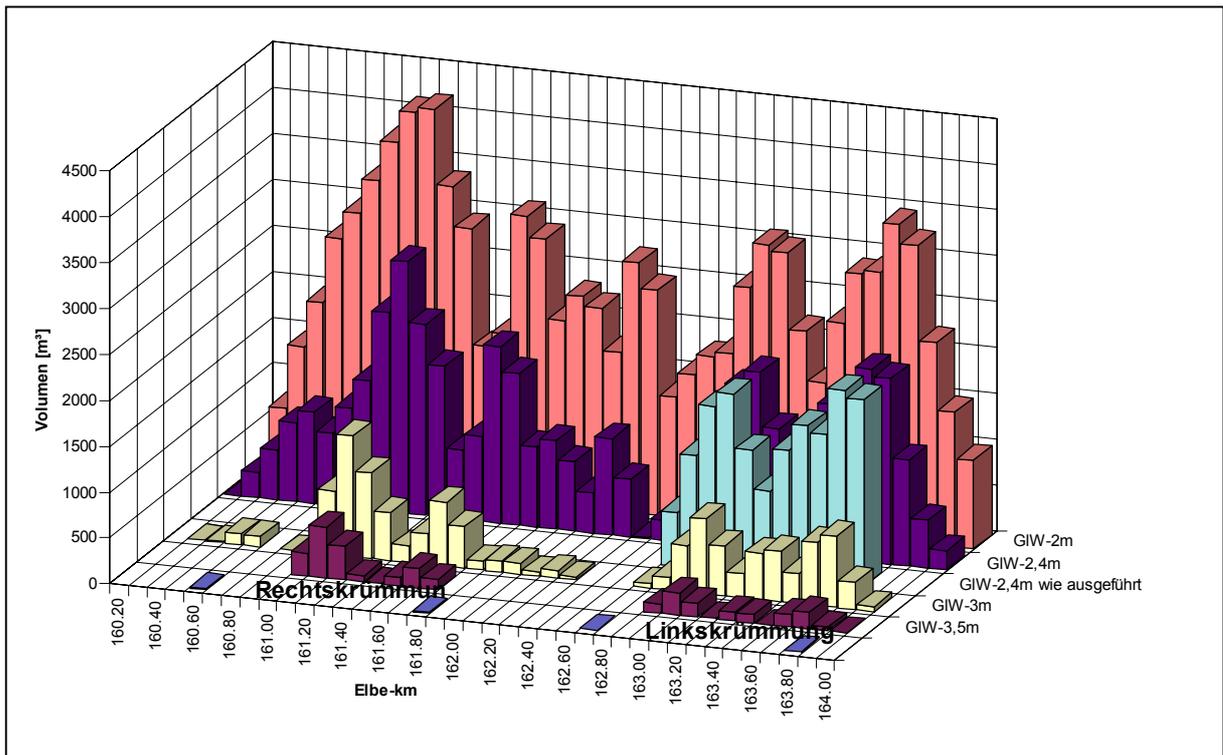


Abb. 7.17: Benötigte Volumina für den Kolkverbau im Untersuchungsgebiet

### Variante 2: Diagonalschwellen

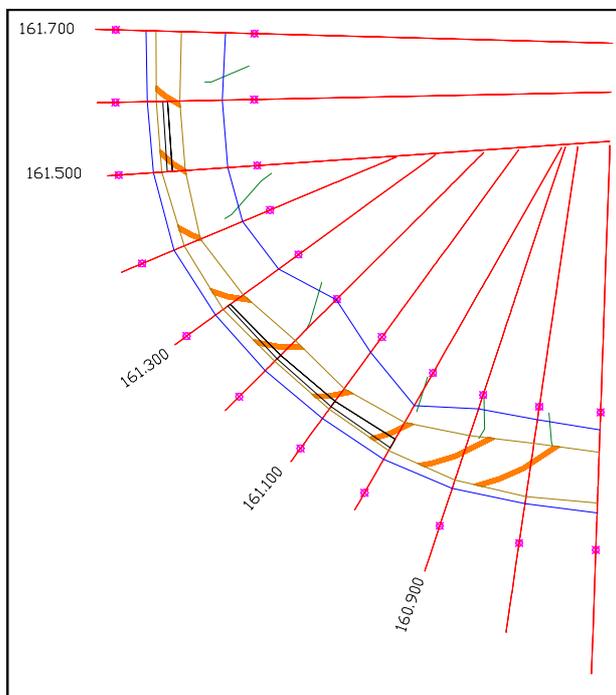
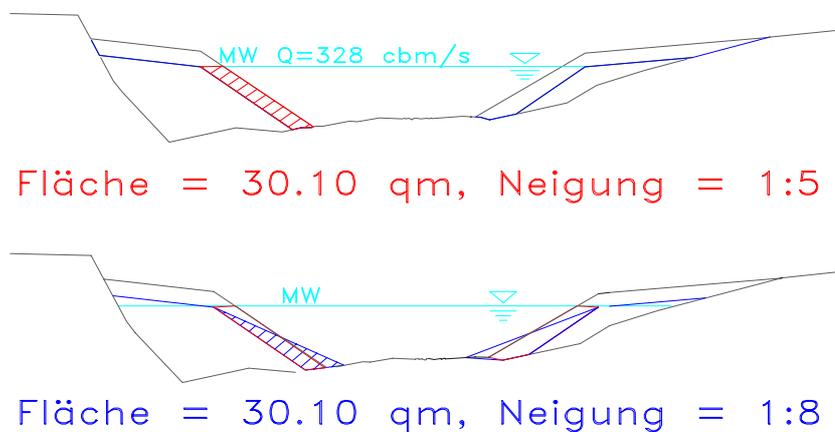


Abb. 7.18: Diagonalschwellen

Gegen die Strömung geneigte Schwellen haben in Grundsatzuntersuchungen eine positive Auswirkung durch die Strömungslenkung in Krümmungen gezeigt. Sie führten zur Verlagerung der Hauptströmung vom Prallhang weg. Im hydraulischen Modell sollen Sohlschwellen in den Krümmungen senkrecht zum sohnahen Strömungsvektor auf das Niveau GIW-2 m eingebaut werden. Abb. 7.18 zeigt ein Beispiel für Diagonalschwellen. In hellbrauner Umrandung ist das Niveau GIW-2 m eingegrenzt. Zur Orientierung sind blau die Berandung des Mittelwasserabflusses  $Q = 328 \text{ m}^3/\text{s}$  und grün die Buhnen dargestellt. Die Schwellen haben an der der Strömung zugewandten Seite eine Neigung von 1:2, an der strömungsabgewandten Seite eine Neigung von 1:5. Ihre Höhe beträgt bis zu 1,5 m. Der Abstand der Diagonalschwellen in Strömungsrichtung beträgt 50 m.



**Abb. 7.19: Absenkung der Buhnen**

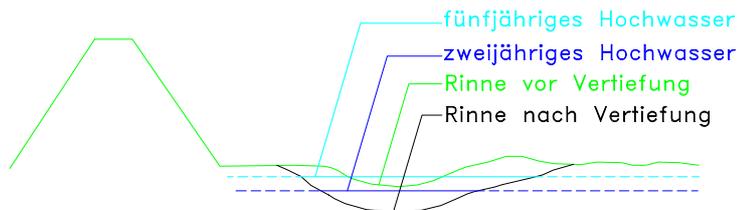
### Variante 3: Buhnen

Die Köpfe der Buhnen (in Abb. 7.19 grau dargestellt) liegen im Mittel um 1 m über dem aktuellen Mittelwasser von  $328 \text{ m}^3/\text{s}$  (Jahresreihe 1980/91). Eine Überströmung derselben bei bereits geringeren Abflüssen als heute lässt sich durch Absenken auf das aktuelle Mittelwasser erreichen. Soll dabei die Streichlinie erhalten bleiben, vergrößert sich die Abflußfläche des Mittelwasserbettes um ungefähr  $30 \text{ m}^2$  auf jeder Seite oder insgesamt 20 % (in oben rot schraffiert). Dies würde zu einem Verfall des Wasserspiegels bei Wasserständen unter MW führen, was wegen der beizubehaltenden Schiffsverkehrsverhältnisse nicht toleriert werden kann. Um einen Flächenausgleich zu erreichen, wird die Neigung der Buhnenkopfböschung verändert (in Abb. 7.19 unten blau schraffiert). Der Flächenausgleich führt im untersuchten Bereich zu Kopfböschungsneigungen zwischen 1:7 und 1:12. Begrenzt wird die Verringerung dieser Neigung durch die für die Schifffahrt erforderliche Fahrrinnenbreite und Tiefe. Es wurde eine Neigung von 1:8 gewählt.

Ein weiterer positiver Effekt ergibt sich bei geringeren Buhnenkopfböschungen durch den veränderten Strömungsangriff am Buhnenfuß: Je steiler die Neigung der Buhnenkopfbö-

schung ist, um so stärker ist auch die Kolkbildung am Fuß. Eine flachere Böschung führt also zu weniger tiefen, dafür aber längeren Kolken sowie geringerer Verlandung der Buhnenfelder.

Im Rahmen der Buhnenveränderung wird teilweise eine Anpassung der Deckwerke erforderlich, da für die allmählichen Übergänge der durch Längsbauwerke geschützten Strecke in die durch Buhnen ausgebaute Strecke zu sorgen ist, um die erste Buhne nach einer Deckwerksstrecke nicht hohen Strömungsbelastungen auszusetzen.



**Abb. 7.20:** Schematische Darstellung der Vorlandvariante

### Variante 3: Flutrinnen

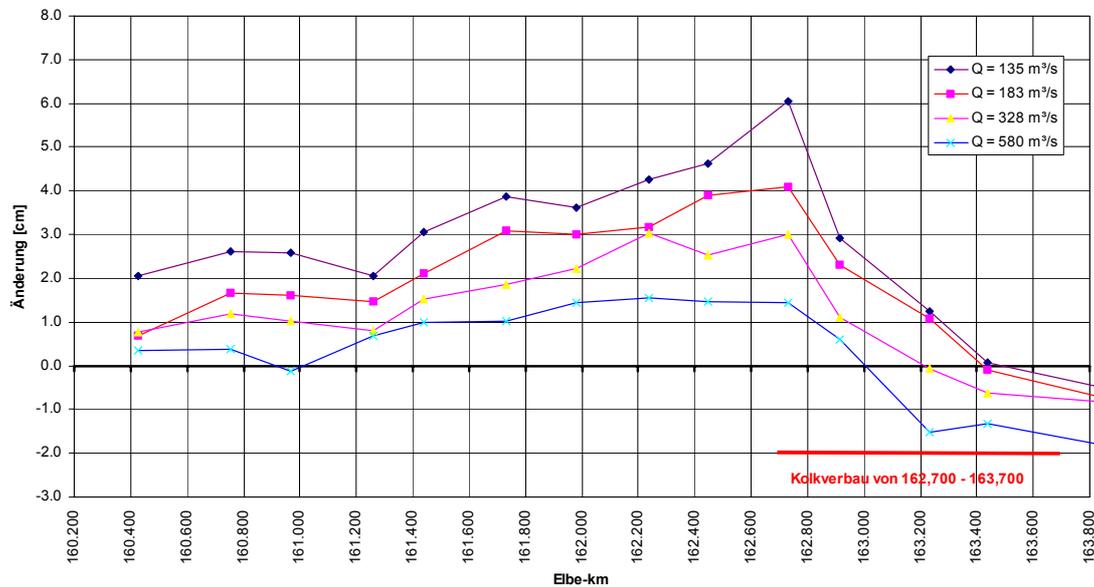
Das Ausufernde Hochwasser im Untersuchungsbereich liegt zur Zeit etwa bei  $HQ_5$  (1800  $m^3/s$ ). Stellt man dem gegenüber, daß mitteleuropäische Flüsse in naturnahem Zustand in der Regel bei Abflüssen größer  $HQ_2$  ausufernd, zeigt sich hier am deutlichsten die Wirkung der Tiefenerosion (s. Kap. 3.1). Durch die Vertiefung von vorhandenen Rinnen auf den Vorländern (siehe Abb. 7.1 und Abb. 7.20) soll das Flußbett bei ausufernden Abflüssen deutlich entlastet werden. Um die stärkere Bündelung des Abflusses im Mittelwasserbett gegenüber dem Istzustand bei Tieferlegen der Buhnen zu kompensieren, soll gleichzeitig ein früheres Ausufernd erreicht werden. Die Sohle der Rinnen wird dazu auf das Niveau des aktuellen Mittelwassers vertieft, um ein Einstauen von unten zu ermöglichen. Der Einströmbeginn von oben wird durch eine Schwelle geregelt, die auf das Niveau  $MW+1$  m gelegt wird.

Werden bisher dem Abflußgeschehen langfristig entzogene Flächen auf den Vorländern häufiger durchströmt, bedeutet dies eine ökologische Aufwertung. Die Fließgeschwindigkeiten auf den Vorländern sollen dabei aus ökologischen Gründen größer als 0,2 m/s sein.

Desweiteren lassen sich durch den vergrößerten Vorlandabfluß Wasserspiegelanhebungen, die sich durch die Maßnahmen im Flußschlauch (z.B. Kolkverbau) ergeben, zuverlässig auffangen. Damit kann die Hochwasserneutralität gewährleistet werden.

## 7.5.2 Ergebnisse des Variantenbeispiels „Kolkverbau“

Der Kolkverbau der Variante 1 wurde in der Linkskrümmung des Modells von Elbe-km 162,7 bis 163,7 durchgeführt.



**Abb. 7.21: Wasserspiegellagenänderung durch den Kolkverbau auf GIW-2,4 m**

Deutlich wirkt sich der Kolkverbau in einer Veränderung der Wasserspiegellage aus. Abb. 7.21 zeigt die Differenzen zum Istzustand. Die größte Anhebung ist am oberstromigen Ende des Kolkverbaus festzustellen. Im Bereich des Kolkverbaus selber klingt die Anhebung schnell ab. Ab Elbe-km 163,4, also noch im Bereich des Kolkverbaus, ist keine Anhebung des Wasserspiegels mehr festzustellen. Die Wirkung nach Oberstrom ist viel deutlicher ausgeprägt: Die Wasserspiegellanhebung klingt vom Maximum in km 163,7 allmählich ab. Bis zum Modellanfang bleibt eine leichte Anhebung festzustellen.

Da der Einfluß der Sohle auf die Wasserspiegellage mit steigendem Abfluß abnimmt, ist die stärkste Anhebung mit 6 cm beim kleinsten Abfluss mit 135 m³/s zu verzeichnen. Bei Q=183 m³/s beträgt die maximale Anhebung 4 cm, bei Mittelwasser, Q=328 m³/s noch 3 cm. Für den Abfluss auf Bühnenkopfhöhe Q=580 m³/s liegt die Anhebung mit 1,5 cm bereits im Bereich der Messgenauigkeit, bedeutet sie doch aufgrund des Höhenmaßstabes von 1:40 eine tatsächliche Anhebung des Wasserspiegels im Modell um nur 0,37 mm. Damit ist der Kolkverbau hochwasserneutral.



geschwindigkeit um 20% im direkten Verbaubereich unkritisch. Eine signifikante Abnahme der mittleren Fließgeschwindigkeit Oberstrom des Kolkverbaus lässt sich nicht nachweisen. Durch die Tracerversuche konnten keine Veränderungen des Geschiebetransport bei Kolkverbau aufgezeigt werden.

## 8 Bibliographie

- [ADAM, 1996] Adam, Kerstin: Untersuchung von Maßnahmen zur Erosionseindämmung an einem Abschnitt der Elbe zwischen El-km 163,0 und 185,0 mit Hilfe eines eindimensionalen hydronumerischen Modells, Universität Gesamthochschule Paderborn, Abt. Höxter, Fachbereich 8, Technischer Umweltschutz, Diplomarbeit angefertigt an der BAW, Außenstelle Berlin, Berlin 1996
- [ALEXY, 1998] Alexy, Matthias: Erosionsstrecke der Elbe – Feststofftransportmodell für den Abschnitt El-km 140,3 – 163,4, Gewässerschutz im Einzugsgebiet der Elbe, Tagungsband des 8. Magdeburger Gewässerschutzseminars, B.G. Teubner, Stuttgart, Leipzig, 1998
- [BONNY, 1997] Bonny, Christoph: Erstellung eines eindimensionalen Feststofftransportmodells zur Untersuchung langfristiger Sohlenhöhenveränderungen im Elbeabschnitt El-km 163 bis 197 (Döbern bis Wartenberg), Universität Gesamthochschule Paderborn, Abt. Höxter, Fachbereich 8, Technischer Umweltschutz, Diplomarbeit angefertigt an der BAW, Außenstelle Berlin, Berlin 1997
- [BAW, 1993]: Dimensionierung von aerodynamischen Modellen, Bericht der Bundesanstalt für Wasserbau, Arbeitsprogramm der wissenschaftlich-technischen Zusammenarbeit zwischen der BAW und Institutionen, vertreten durch das Departement Binnenschifffahrt des Ministeriums für Verkehr Russlands, Berlin 1993 (unveröffentlicht)
- [BAW, 1996a] Vorträge zum BAW - Kolloquium „Flussbauliche Untersuchung zur Stabilisierung der Erosionsstrecke der Elbe“ am 09.03.1995 in Berlin, BAW - Mitteilungsheft Nr. 74, Karlsruhe 1996
- [BAW, 1996b] Untersuchung der Auswirkung von Maßnahmen im Elbevorland auf die Strömungssituation und die Flussmorphologie am Beispiel der Erosionsstrecke und der Rückdeichungsbereiche zwischen Wittenberge und Lenzen, Forschungsantrag der Bundesanstalt für Wasserbau im Rahmen der ökologischen Forschung in der Stromlandschaft Elbe (Elbe-Ökologie) des BMBF, Teilkonzept „Ökologie der Fließgewässer“, Berlin 1996 (unveröffentlicht)
- [BAW, 1997a] Gutachten über hydraulische Untersuchungen der Rückdeichung Lenzen, Bundesanstalt für Wasserbau, Berlin 1997, (640051-unveröffentlicht)
- [BAW, 1997b] Erosionsstrecke der Elbe - Feststofftransportmodell El-km 140,3-163,4; Bundesanstalt für Wasserbau, Berlin 1997 (640041-unveröffentlicht)
- [BAW, 1998a] Elbeabschnitt Apollensdorf (El-km 222,00-235,00) Untersuchung der Möglichkeiten zur Verbesserung der Fahrrinnenentiefe, Bundesanstalt für Wasserbau, Berlin 1997 (640060-unveröffentlicht)
- [BAW, 1998b] Erosionsstrecke der Elbe, Feststofftransportmodell El-km 140,3 - 164,4: Einfluss von Bühnenabsenkungen und Kolkverbau auf die Entwicklung der mittleren Sohlenlagen, Bundesanstalt für Wasserbau, Berlin 1998 (640041 - unveröffentlicht)
- [BAW, 1998c] Untersuchungen der Auswirkung von Maßnahmen im Elbevorland auf die Strömungssituation und die Flussmorphologie am Beispiel der Erosionsstrecke und der Rückdeichungsbereiche zwischen Wittenberge und Lenzen, Zwischenbericht 1997, Bundesanstalt für Wasserbau, Berlin 1998, (FKZ0339575 - unveröffentlicht)
- [BAW/BfG, 1996] Bericht zur wissenschaftlichen Begleitung des Naturversuchs Geschiebezugabe, Bundesanstalt für Gewässerkunde, Bundesanstalt für Wasserbau, Berlin 1996 (unveröffentlicht)
- [BAW/BfG, 1997] Erosionsstrecke der Elbe, Ergebnisse des ersten Naturversuchs zur Geschiebezugabe, Bundesanstalt für Gewässerkunde, Bundesanstalt für Wasserbau, Berlin 1997 (BfG-1093-unveröffentlicht)

- [BfG, 1994] Kornzusammensetzung der Elbsohle von der tschechisch-deutschen Grenze bis zur Staustufe Geesthacht, Bundesanstalt für Gewässerkunde, BfG-0834, Berlin, 1994 (unveröffentlicht)
- [BLEYEL, 1998] Bleyel, Birgit: Untersuchung der Rückdeichung Lenzen mit einem zweidimensionalen numerischen Modell, Gewässerschutz im Einzugsgebiet der Elbe, Tagungsband des 8. Magdeburger Gewässerschutzseminars, B.G. Teubner, Stuttgart, Leipzig, 1998
- [DGJB, 1993] Deutsches Gewässerkundliches Jahrbuch, Abflußjahr 1993, Elbegebiet, Teil I; Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt, Elbegebiet Teil III, Freie und Hansestadt Hamburg, Wirtschaftsbehörde Strom- und Hafenbau
- [DVWK, 1990] Schröder, C.M.: Hydraulische Verfahren zur Rauheitserfassung, DVWK - Schriften Nr. 92, Paul Parey Verlag Hamburg, Berlin 1990
- [DVWK, 1996] Numerische Modelle von Flüssen, Seen und Küstengewässern, DVWK-Workshop 23./24.09.1996 in Hannover
- [DVWK, 1997] Entwicklung eines Kartier- und Bewertungsverfahrens für Gewässerlandschaften mittlerer Fließgewässer und Anwendung als Planungsinstrument am Beispiel der Mulde, DVWK – Materialien 3/1997, DVWK, Bonn, 1997
- [FAULHABER, 1986] Faulhaber, Petra: Aerodynamische Modellierung hydraulischer Abflüsse mit freier Oberfläche, Mitteilungen der Forschungsanstalt für Schifffahrt, Wasser- und Grundbau, Heft 50, Berlin 1986
- [FAULHABER, 1997] Faulhaber, Petra: Hydraulisch-morphologische Untersuchung von Rückdeichungen bei Lenzen (Elbe) (Auszug) in Auenreport - Beiträge aus dem Naturpark „Brandenburgische Elbtalau“ 3/97, Landesanstalt für Großschutzgebiete, Rühstädt
- [FAULHABER, 1998a] Faulhaber, Petra: Entwicklung der Wasserspiegel- und Sohlenhöhen in der deutschen Binnenelbe innerhalb der letzten 100 Jahre – einhundert Jahre „Elbestromwerk“, Gewässerschutz im Einzugsgebiet der Elbe, Tagungsband des 8. Magdeburger Gewässerschutzseminars, B.G. Teubner, Stuttgart, Leipzig, 1998
- [FAULHABER, 1998b] Faulhaber, Petra: Untersuchungen der Auswirkung von Maßnahmen im Elbevorland auf die Strömungssituation und die Flußmorphologie am Beispiel der Erosionsstrecke und der Rückdeichungsgebiete zwischen Wittenberge und Lenzen, Gewässerschutz im Einzugsgebiet der Elbe, Tagungsband des 8. Magdeburger Gewässerschutzseminars, B.G. Teubner, Stuttgart, Leipzig, 1998
- [GKJB DDR, 1979] Gewässerkundliches Jahrbuch der DDR, Abflußjahr 1970, Institut für Wasserwirtschaft, 1979
- [GKJB DDR, 1983] Gewässerkundliches Jahrbuch der DDR, Abflußjahr 1981, Institut für Wasserwirtschaft, 1983
- [GOCHT, 1997] Gocht, Martin: Erarbeitung der Konzeption für ein hydraulisches Modell der Elbe im Bereich El-km 160 bis 164 „Mockritz-Döbern“, Universität Gesamthochschule Paderborn, Abt. Höxter, Fachbereich 8, Technischer Umweltschutz, Diplomarbeit angefertigt an der BAW, Außenstelle Berlin, Berlin 1997
- [GÖBEL, 1998] Göbel, Nina: Geometriegrundlagen für das Gesamtmodell El-km 120 – 235, unveröffentlichte Zusammenstellung und Beschreibung der Daten, Bundesanstalt für Wasserbau, Außenstelle Berlin, 1998
- [HACK, 1996] Hack, Andreas: Untersuchung einer Deichrückverlegung an der Elbe zwischen der Havelmündung (El-km 438) und Gorleben (El-km 495) mit Hilfe eines eindimensionalen hydronumerischen Feststofftransportmodells, Universität Gesamthochschule Paderborn, Abt. Höxter, Fachbereich 8, Technischer Umweltschutz, Diplomarbeit angefertigt an der BAW, Außenstelle Berlin, Berlin 1996
- [NAUDASCHER, 1992] Naudascher, E.: Hydraulik der Gerinne und der Gerinnebauwerke, Springer-Verlag, 2. verbesserte Auflage Wien, New York, 1992
- [PREFAST, 1997] Valenta, P.: PREFAST Version 3.0, Dokumentation zum Preprocessing - Programm, Bundesanstalt für Wasserbau, Abteilung Wasserbau, Hydroexpert, Prag, 1997
- [REICHsverkehrSministerIUM, 1935/40] Leitsätze für die Niedrigwasserregulierung der Elbe von der Reichsgrenze bis zur Seevemündung, Reichs- und Preußisches Verkehrsministerium, Berlin, 1935 und 1940 (Ergänzungsheft)
- [REINPOLD, 1996] Reinpold, Frank: Untersuchung einer Deichrückverlegung zwischen Lütkenwisch und Lenzen, Vertieferarbeit (Universität Karlsruhe) an der Bundesanstalt für Wasserbau, Außenstelle Berlin, Karlsruhe, 1996
- [REINPOLD, 1998] Reinpold, Frank: Inventur Erosionsstrecke, unveröffentlichte Zusammenstellung, Bundesanstalt für Wasserbau, Außenstelle Berlin, 1998
- [SCHMIDT/FAULHABER, 1998] Dr. Schmidt, Andreas; Faulhaber, Petra: Geschiebeabgabe in der Erosionsstrecke der Elbe, Zeitschrift für Binnenschifffahrt, Nr. 23, 1. Dezember – Ausgabe 1998
- [SCHOCKLITSCH, 1930] Der Wasserbau, Springer – Verlag, Wien, 1930

- [SINGH, 1996] Singh, Sandhya: Untersuchung von Maßnahmen zur Erosionseindämmung in der Erosionsstrecke der Elbe zwischen El-km 140,6 und 185,0 mit Hilfe eines eindimensionalen hydrodynamisch-numerischen Modells, Universität Gesamthochschule Paderborn, Abt. Höxter, Fachbereich 8, Technischer Umweltschutz, Diplomarbeit angefertigt an der BAW, Außenstelle Berlin, Berlin 1996
- [StAU DESSAU, 1994] Pohlmann, G.: Bereiche möglicher Deichrückverlegungen im Gebiet der Mittleren Elbe zwischen Hirschmühle/Prettin und Dornburg (Elbe-km 168 und 301) als Grundlage für eine interdisziplinäre Diskussion, Staatliches Amt für Umweltschutz Dessau/Wittenberg, Abteilung 2, Wasserbau, Wittenberg, 1994
- [WSD OST, 1995] Strombaumaßnahmen an der Elbe, El-km 0,0 bis 607,5, Entwurf -HU, Wasser- und Schifffahrtsdirektion Ost, Berlin, 1995 (unveröffentlicht)

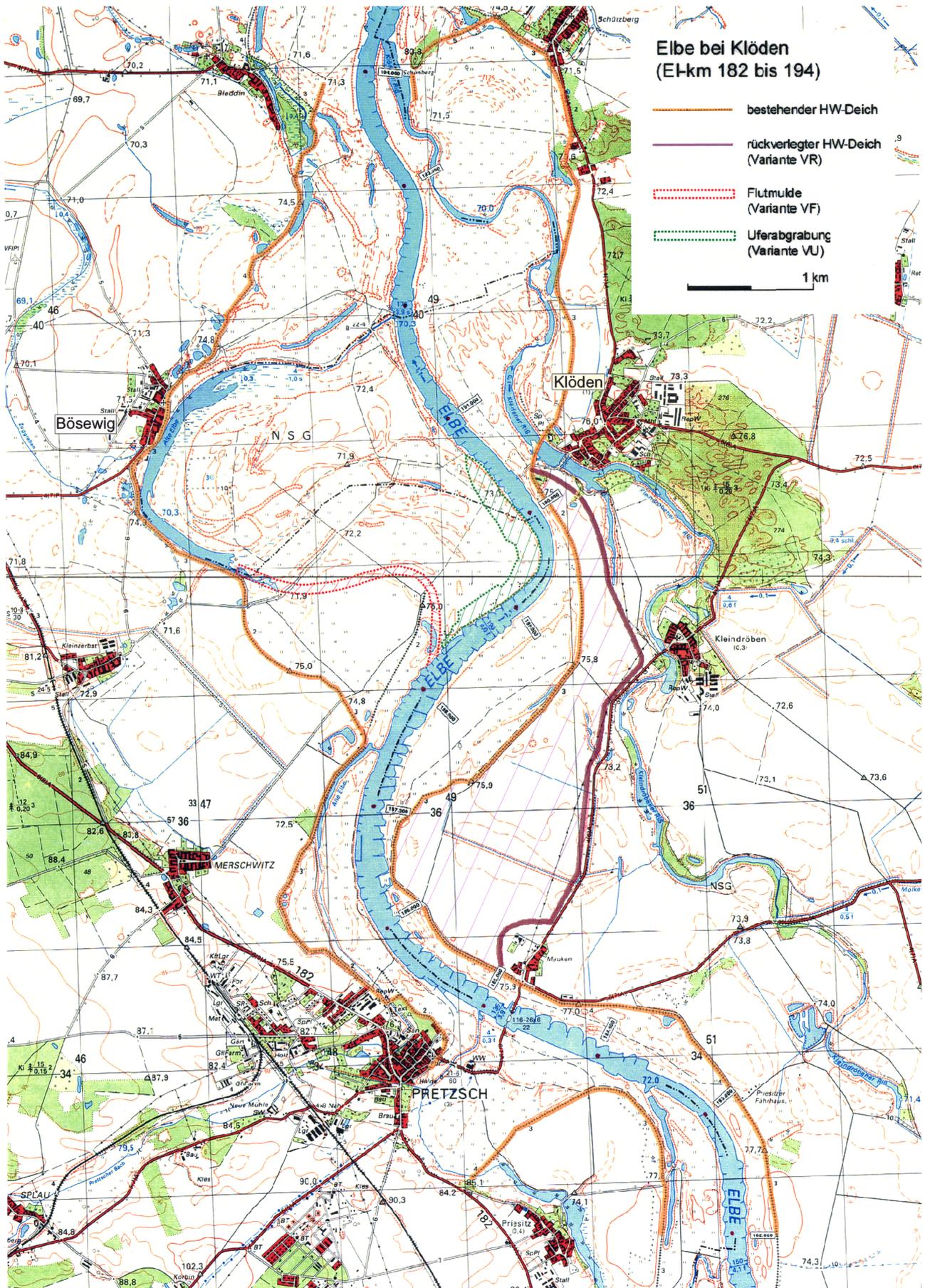
## 9 Glossar (Endnoten)

- <sup>A</sup> Schlüsselkurve: Wasserstands-Durchfluss-Beziehung, Durchflusskurve
- <sup>B</sup> Mittelwasserbett: Hier Bezeichnung des eigentlichen Flussschlauches, Hauptgerinnes. Bei mitteleuropäischen Flüssen erfolgt die Ausuferung aus dem Hauptgerinne meist bei Durchflüssen um  $HQ_2$ .
- <sup>C</sup> Streichlinie: Planmäßige seitliche Begrenzung des Wasserspiegels im Bereich des abflußwirksamen Querschnitts beim Ausbauabfluss, z.B. Verbindungslinie entlang der Bühnenköpfe (DIN 4054). Streichlinienbreite an der Elbe - Normalbreite des Stromes zwischen den Regelungsbauwerken bei Mittelwasser.
- <sup>D</sup> Kalibrierung: (Mitunter auch als „Eichung“ bezeichnet). Festlegung geeigneter Parameter bei der Modellerstellung zur ausreichenden Wiedergabe von aus der Natur bekannter Zustände [DVWK, 1996].
- <sup>E</sup> Wasserspiegelfixierung: Vermessung des Wasserstandes in der Natur (Nivellement), erfolgt an der Elbe derzeit i.d.R. vom Land aus und meist nur an einer Uferseite.
- <sup>F</sup> Validierung: Überprüfung des Modells mit Hilfe nicht zur Kalibrierung genutzter Naturdaten [DVWK, 1996].
- <sup>G</sup> Talweg: Ausgeglichene Verbindungslinie der tiefsten Punkte in aufeinanderfolgenden Querschnitten eines Fließgewässers (DIN 4054).
- <sup>H</sup> Ausbauwasserstand: Für den Ausbauabfluss geplanter Wasserstand (DIN 4054). Da in der Elbe die Unterhaltung gegenüber dem Ausbau überwiegt, wird im Text der Ausbauwasserstand auch als Bezugswasserstand bezeichnet. Die historisch an der Elbe übliche Bezeichnung war „Regulierungswasserstand“.

- <sup>I</sup> GIW - Gleichwertige Wasserstände: Einander entsprechende Wasserstände in verschiedenen Abflussquerschnitten eines Fließgewässers bei gleicher Unter- (Über)-schreitungs-dauer (DIN 4049, Teil 1). An der Elbe ist der GIW 1989\*(20d) geltender Ausbauwasserstand, der im Mittel von 7 trockenen und mittleren Jahren an 345 eisfreien Tagen überschritten wird.
- <sup>J</sup> Solltiefe: Wassertiefe unter einem bestimmten Bezugswasserspiegel, deren Erhaltung angestrebt wird (DIN 4054).

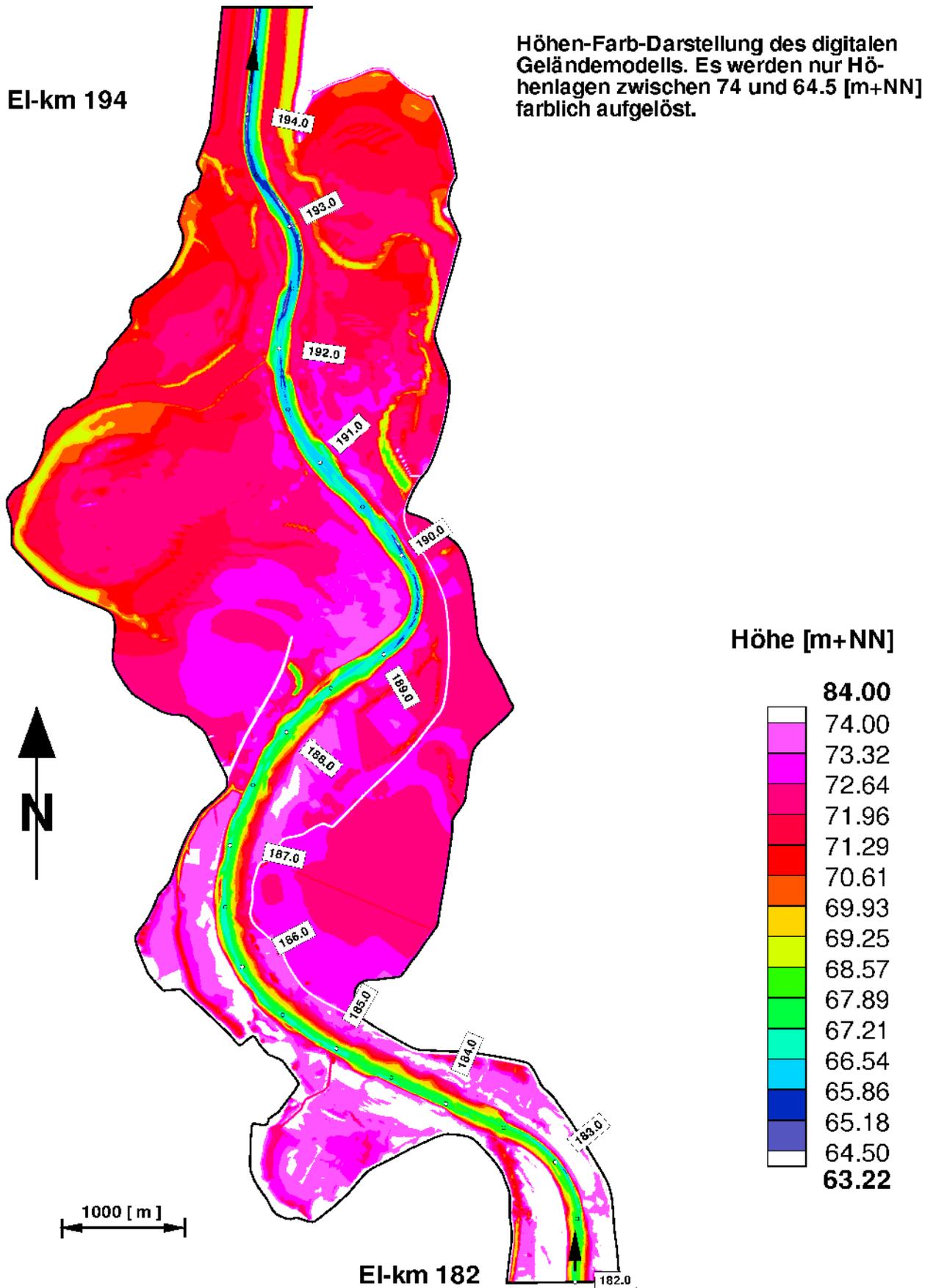
# Anlagenverzeichnis

- 5.1 Zweidimensionales hydraulisch-numerisches Modell in der Erosionsstrecke**
- 5.1.1 Modell in der Erosionsstrecke bei Klöden El-km 182 – 194
- 5.1.2 Höhenlinien und Profile
- 5.1.3 Höhen-Farb-Darstellung der Modelltopographie
- 5.1.4 Schlüsselkurve bei Mauken
- 5.1.5 Rauheitsverteilung im Modell
- 5.1.6 Geländehöhen (Variante Flutmulde bei MHQ)
- 5.1.7 Flächige Wasserspiegellagen (Variante Flutmulde bei MHQ)
- 5.1.8 Flächige Strömungsgeschwindigkeiten (Variante Flutmulde bei MHQ)
- 5.1.9 Schnittdarstellungen Wasserspiegellagen und Strömungsgeschwindigkeiten (Differenzen zum Nullzustand - Variante Flutmulde bei MHQ)
- 5.1.10 Wasserspiegellagen Variante Flutmulde bei MHQ im Vergleich zum Nullzustand
- 5.1.11 Flächige Wassertiefen nach Einbau der Flutmulde und Schnittdarstellungen (Variante Flutmulde bei MHQ)
- 5.1.12 Geländehöhen (Variante Flutmulde bei HQ<sub>5</sub>)
- 5.1.13 Flächige Wasserspiegellagen (Variante Flutmulde bei HQ<sub>5</sub>)
- 5.1.14 Flächige Strömungsgeschwindigkeiten (Variante Flutmulde bei HQ<sub>5</sub>)
- 5.1.15 Schnittdarstellungen Wasserspiegellagen und Strömungsgeschwindigkeiten (Differenzen zum Nullzustand - Variante Flutmulde bei HQ<sub>5</sub>)
- 5.1.16 Wasserspiegellagen Variante Flutmulde bei HQ<sub>5</sub> im Vergleich zum Nullzustand
- 5.1.17 Flächige Wassertiefen nach Einbau der Flutmulde und Schnittdarstellungen (Variante Flutmulde HQ<sub>5</sub>)
- 5.1.18 Schnittdarstellungen Wasserspiegellagen und Strömungsgeschwindigkeiten (Differenzen zum Nullzustand - Variante Flutmulde bei MHQ und HQ<sub>5</sub>)
- 5.1.19 Geländehöhen (Variante Rückdeichung bei MHQ)
- 5.1.20 Flächige Wasserspiegellagen (Variante Rückdeichung bei MHQ)
- 5.1.21 Flächige Strömungsgeschwindigkeiten (Variante Rückdeichung bei MHQ)
- 5.1.22 Detaildarstellung des Strömungsfeldes bei El-km 190 (Variante Rückdeichung bei MHQ)
- 5.1.23 Schnittdarstellungen Wasserspiegellagen und Strömungsgeschwindigkeiten (Differenzen zum Nullzustand - Variante Rückdeichung bei MHQ)
- 5.1.24 Abfluß entlang der Referenzlinie c für Rückdeichungsvariante (VR) und Null-Variante (V0) bei MHQ
- 5.1.25 Strömungsgeschwindigkeiten entlang der Referenzlinie c für Rückdeichungsvariante (VR) und Null-Variante (V0) bei MHQ
- 5.1.26 Abfluß entlang der Referenzlinie b für Rückdeichungsvariante (VR) und Null-Variante (V0) bei MHQ
- 5.1.27 Strömungsgeschwindigkeiten entlang der Referenzlinie b für Rückdeichungsvariante (VR) und Null-Variante (V0) bei MHQ
  
- 5.2 Zweidimensionales hydraulisch-numerisches Modell der Rückdeichung bei Lenzen El-km 475 – 485,5**
- 5.2.1 Lageplan
- 5.2.2 Variante 33 Rückdeichungsbereich, HQ<sub>1-2</sub> (1500 m<sup>3</sup>/s)
- 5.2.3 Variante 33 Rückdeichungsbereich, HQ<sub>3-5</sub> (2300 m<sup>3</sup>/s)
- 5.2.4 Variante 33 Rückdeichungsbereich, HQ<sub>20-25</sub> (3250 m<sup>3</sup>/s)
- 5.2.5 Variante 19a Rückdeichungsbereich, HQ<sub>3-5</sub> (2300 m<sup>3</sup>/s)
- 5.2.6 Variante 33 Gesamtgebiet, HQ<sub>3-5</sub> (2300 m<sup>3</sup>/s)

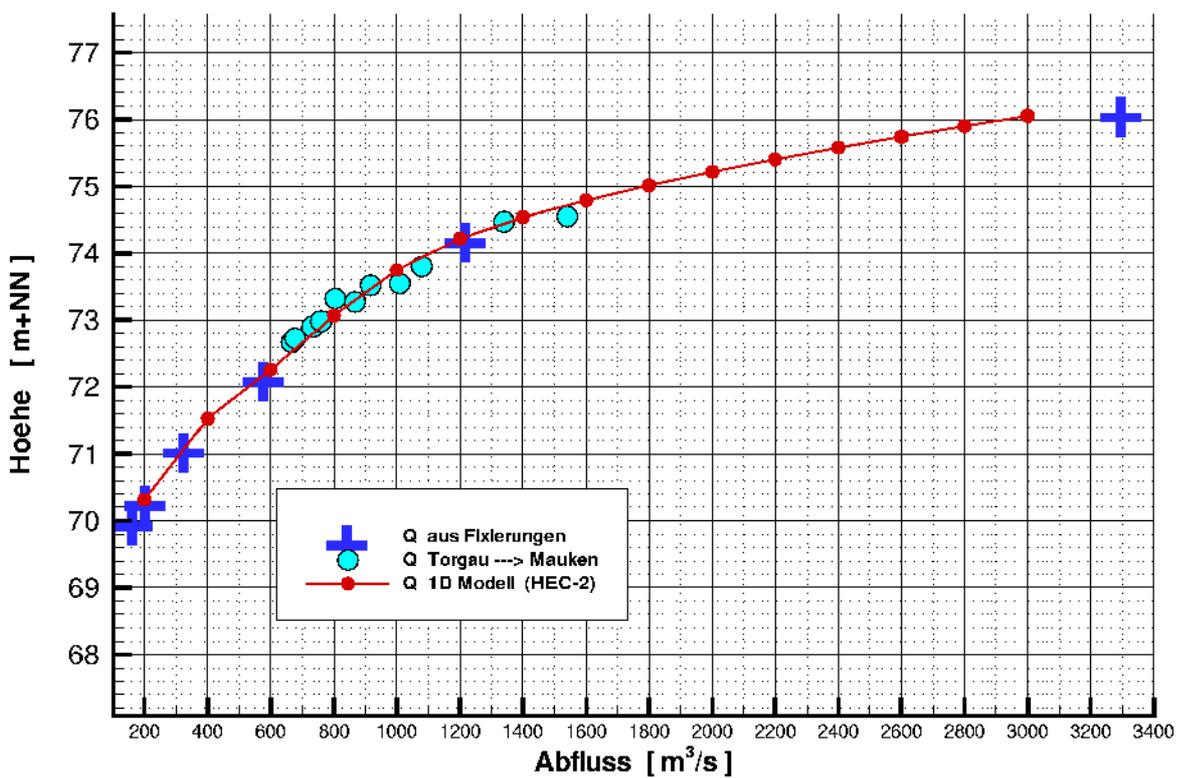


Profile und aus TK10  
digitalisierte Höhen-  
linien



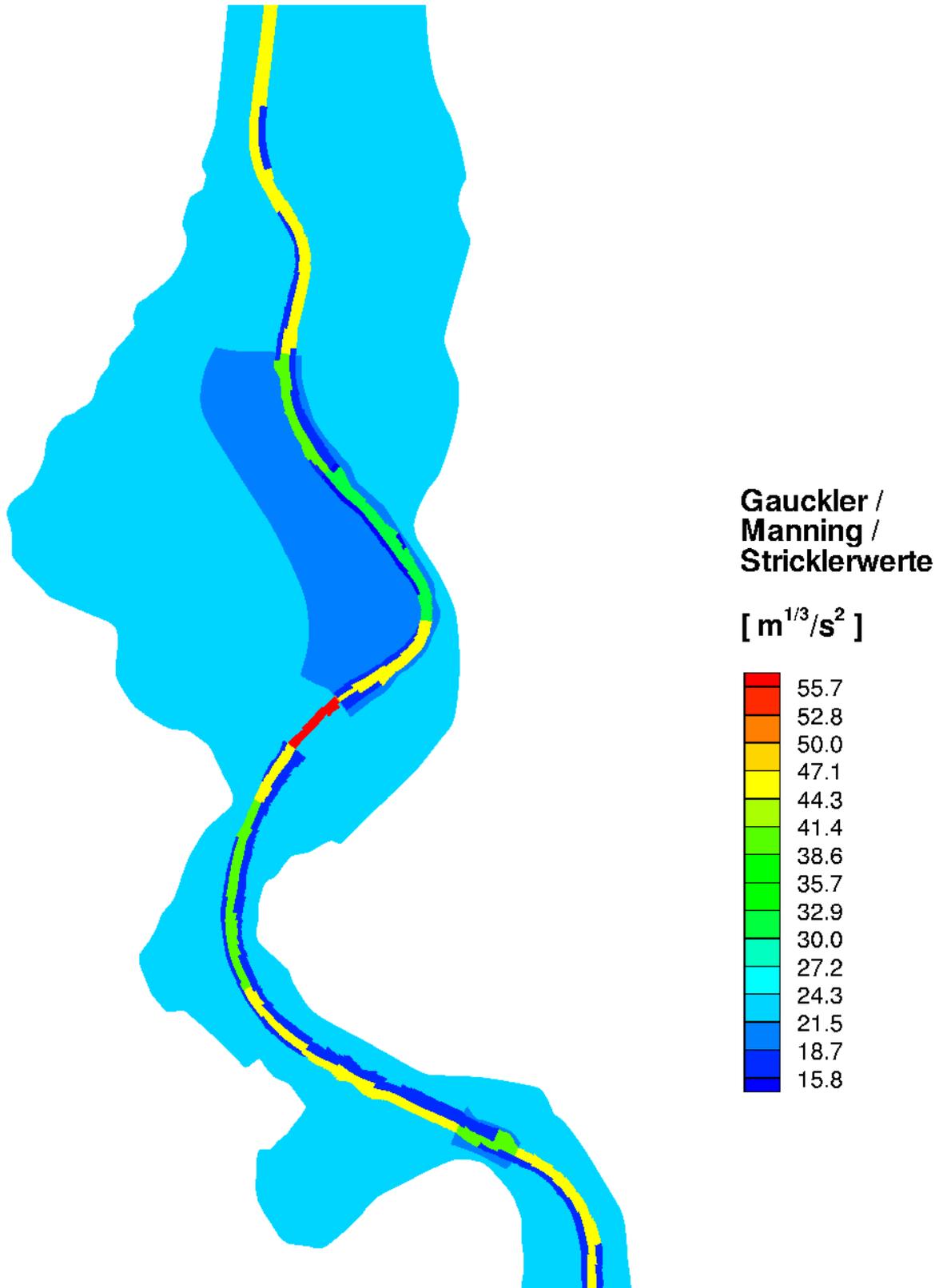


## Generierte Schlüsselkurve bei Pegel Mauken (Pegel bei El-km 184,4 ohne Abflussmessung)



- Blaue Kreuze:** Stützstellen aus Fixierungen
- Hellblaue Kreise:** Stützstellen generiert aus Wasserständen beim Pegel Mauken und Abflusswerten beim Pegel Torgau
- Rote Kreise:** Werte aus einer 1D-Berechnung

## Rauhheitsbeiwerte im Modell für MHQ

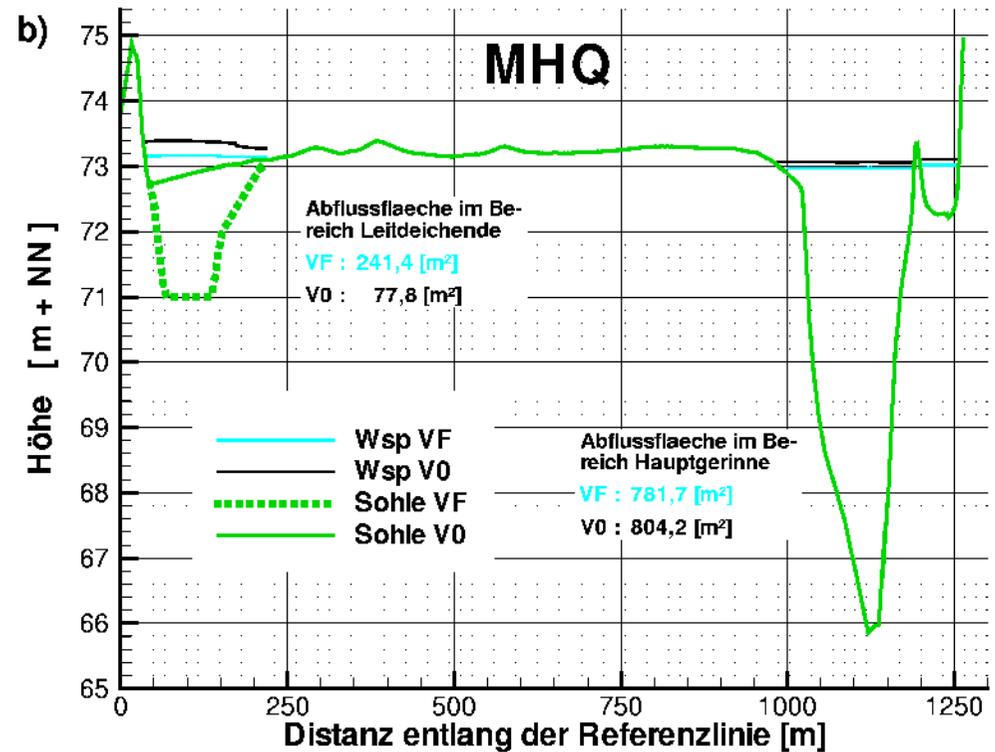
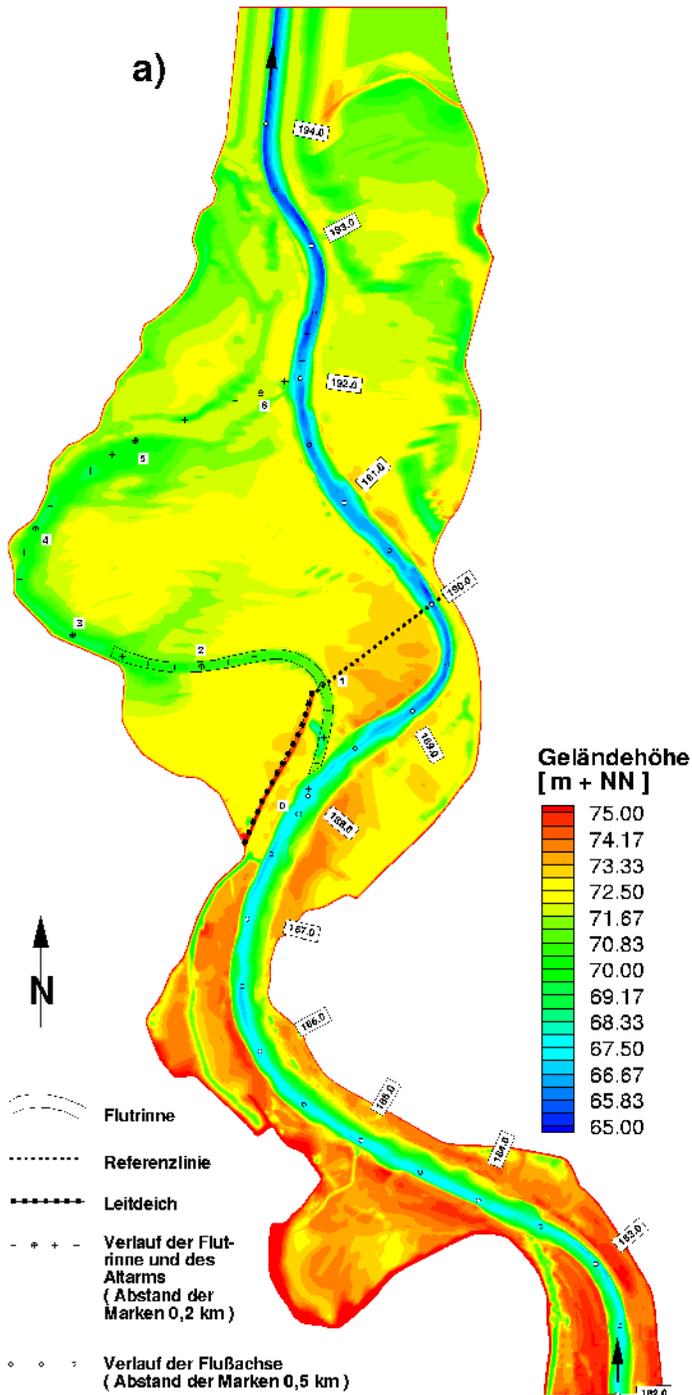


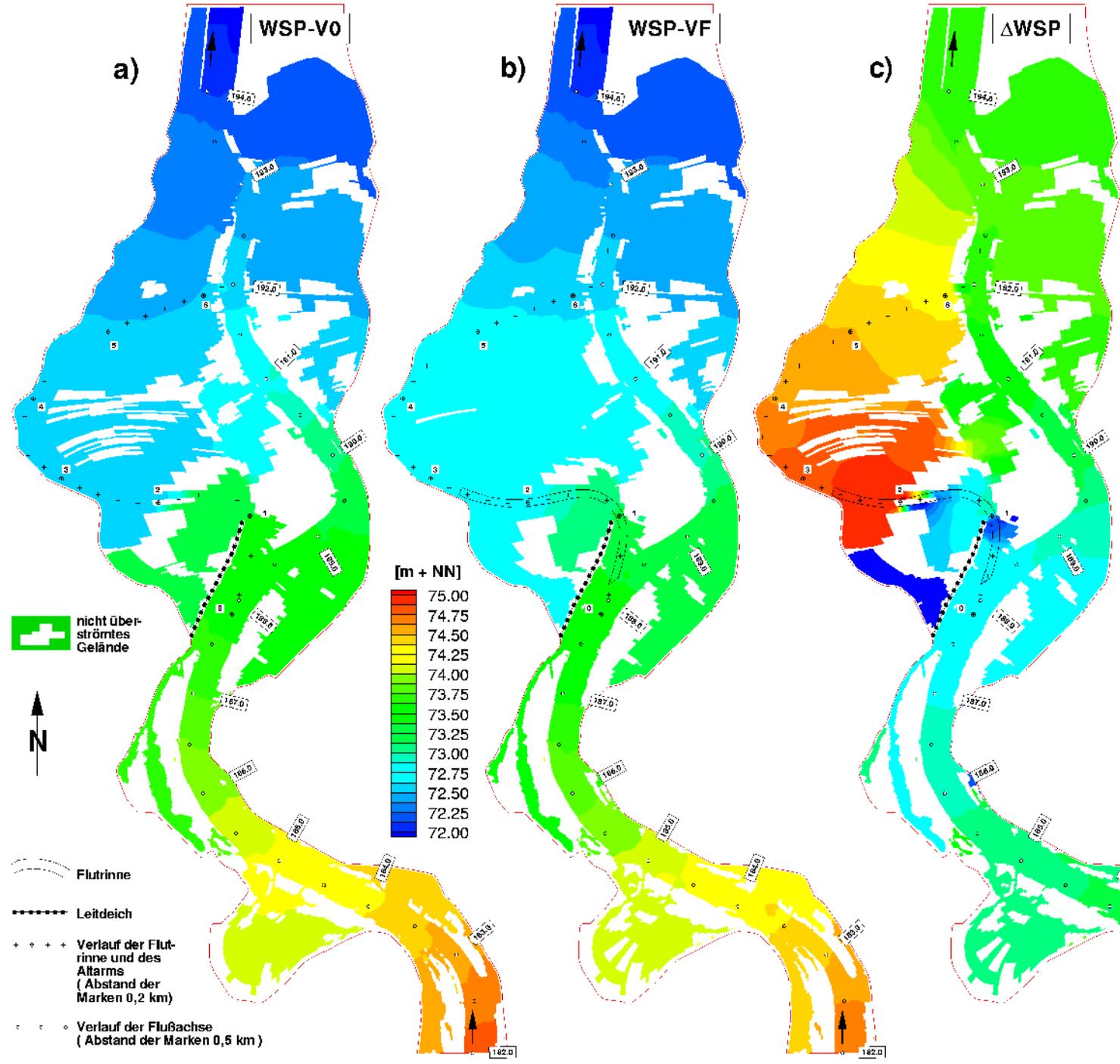
a) Geländehöhen  
 b) Geländeschnitt und Wasserspiegel entlang der Referenzlinie  
 (Variante Flutrinne bei MHQ)

VF = Variante mit Flutrinne

V0 = Null-Variante

Entlang der Referenzlinie wurden aus den  
 Ergebnisdaten der Varianten V0 und  
 VF Datensätze für das unten stehende  
 Diagramm extrahiert.  
 Der Nullpunkt der Referenzlinie be-  
 findet sich beim Leitdeichende.





### Wasserspiegel-lagen (Variante Flutrinne bei MHQ)

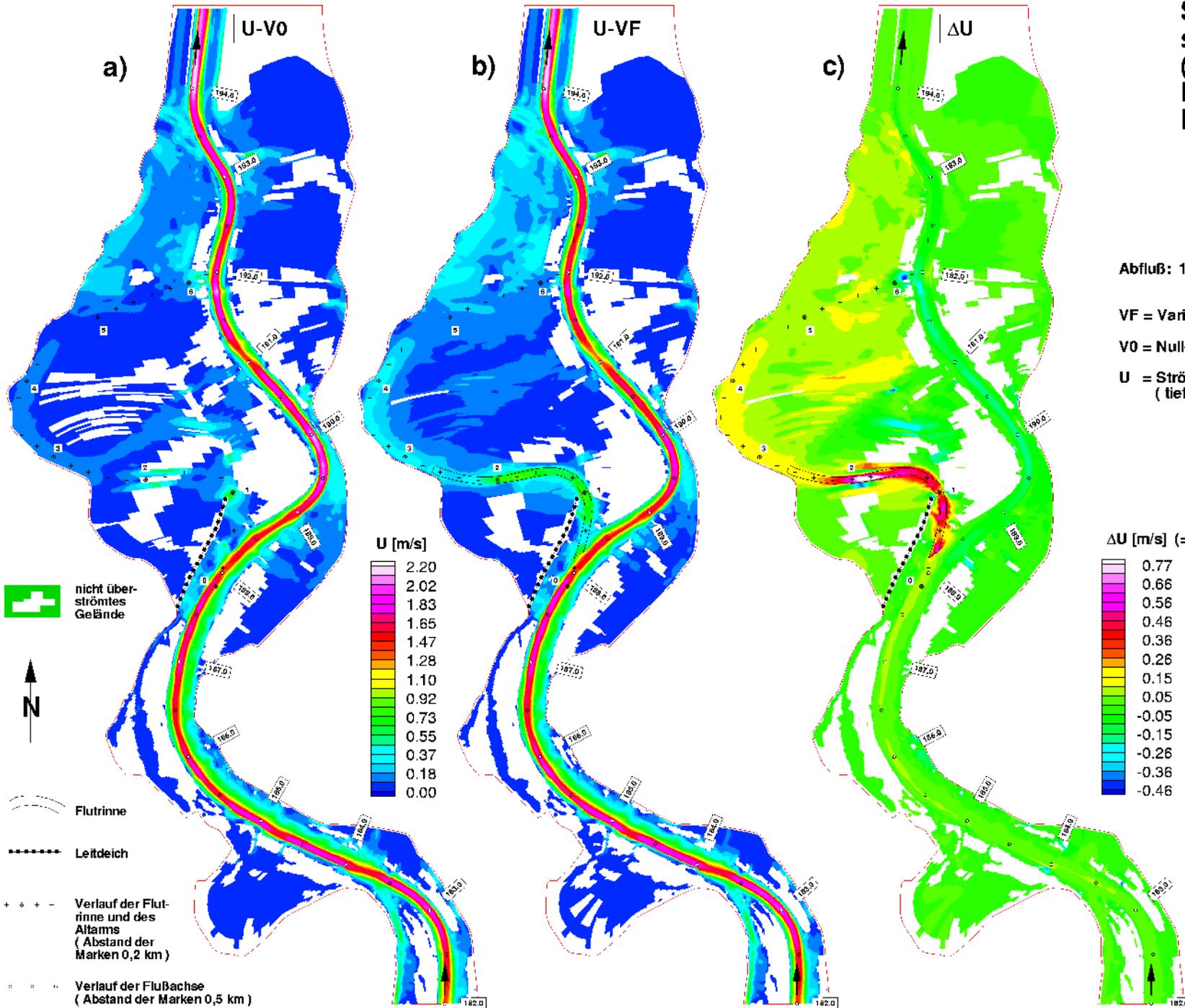
Abfluß: 1220 m<sup>3</sup>/s (MHQ)

VF = Variante mit Flutrinne

V0 = Null-Variante

WSP = Wasserspiegellage bezogen auf NN

In Darstellung c) werden Werte nur für Gebiete dargestellt, die sowohl bei V0 als auch bei VF überströmt werden



## Strömungsgeschwindigkeiten ( Variante mit Flutrinne bei MHQ )

Abfluß: 1220 m<sup>3</sup>/s (MHQ)

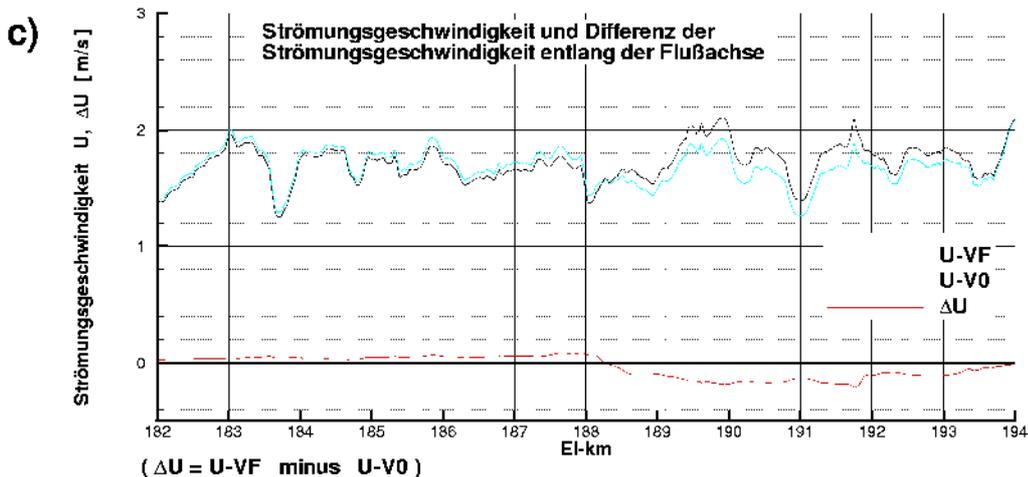
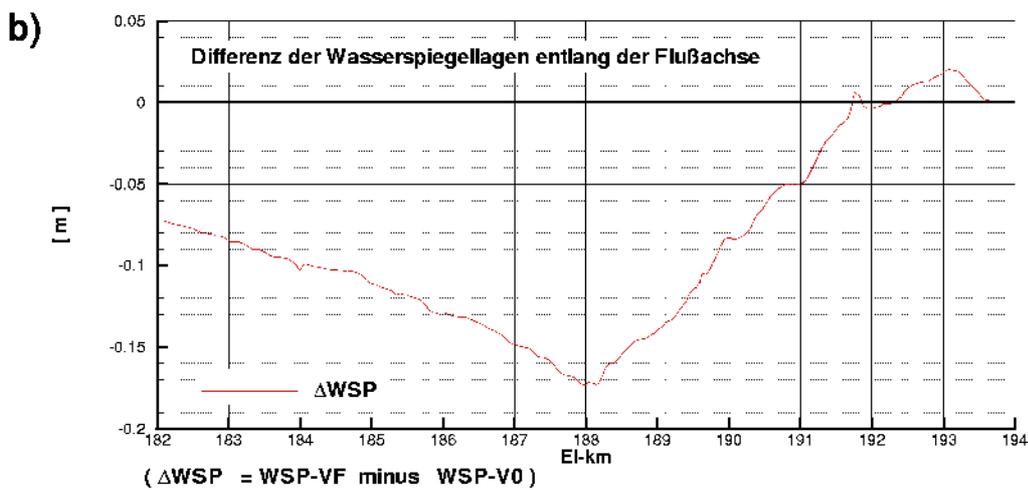
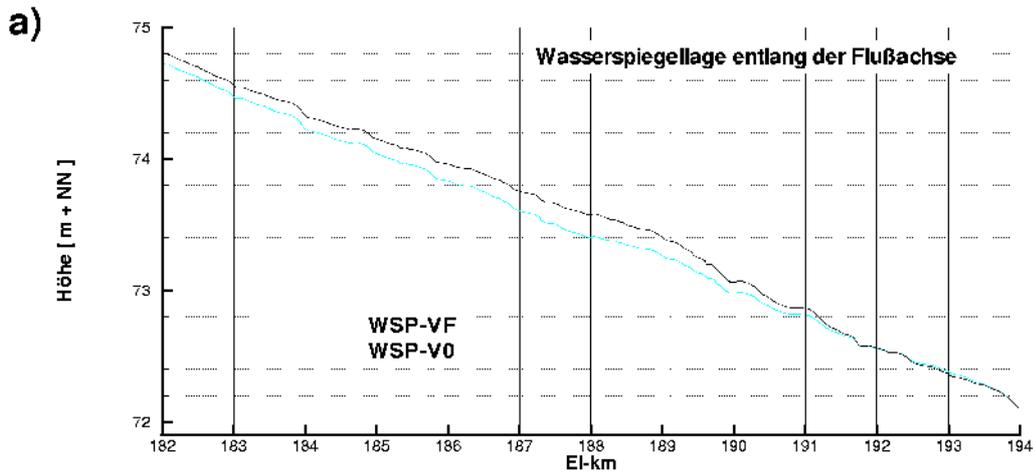
VF = Variante mit Flutrinne

V0 = Null-Variante

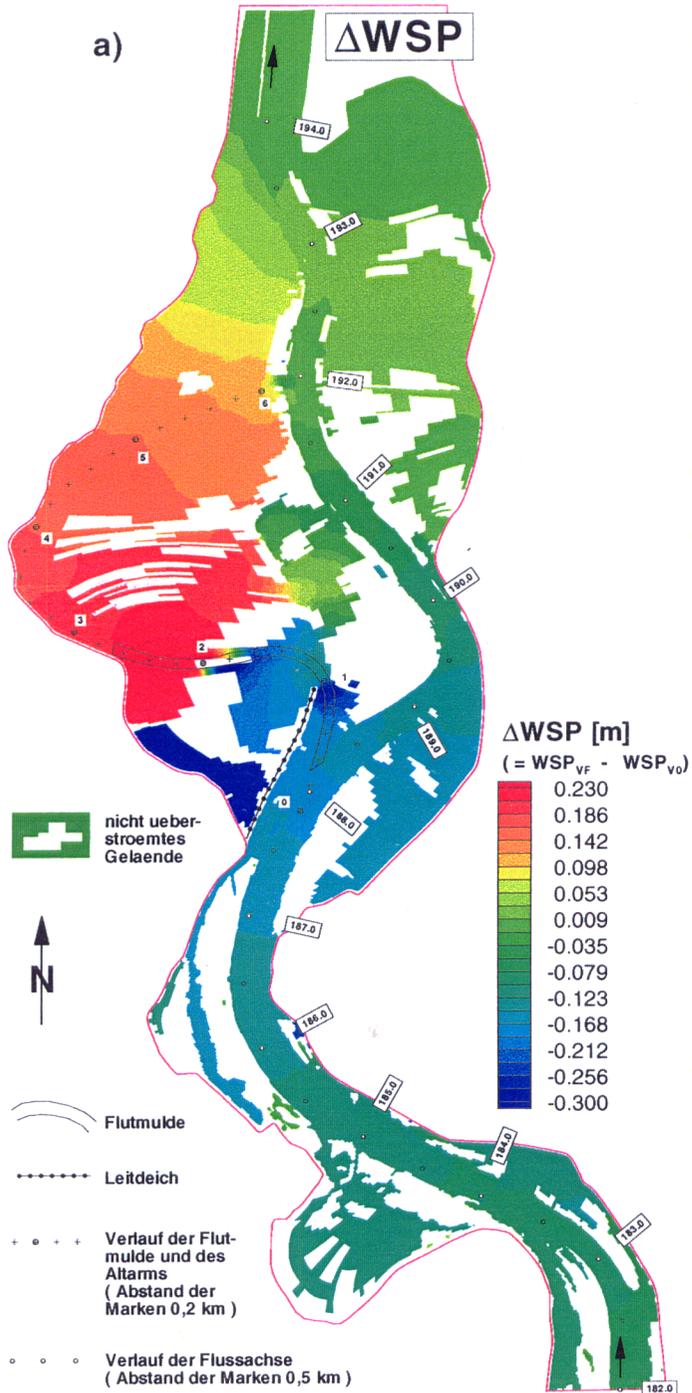
U = Strömungsgeschwindigkeit  
( tiefengemittelt )

- a) Wasserspiegellagen \*
- b) Differenz der Wasserspiegellagen \*
- c) Strömungsgeschwindigkeiten und  
 Differenz der Strömungsgeschwindigkeiten \*  
 (Variante Flutrinne bei MHQ)

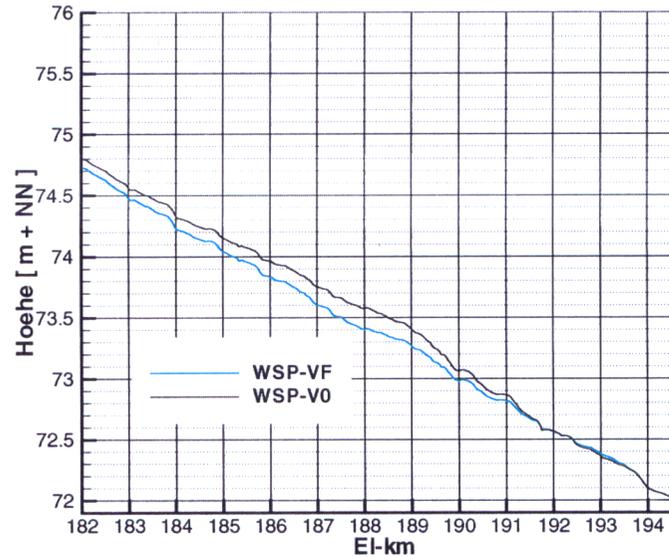
\* entlang der Flußachse



### Wasserspiegellagen und Differenzdarstellung der Wasserspiegellagen (Variante Flutmulde bei MHQ)



b) Wasserspiegellage entlang der Flussachse

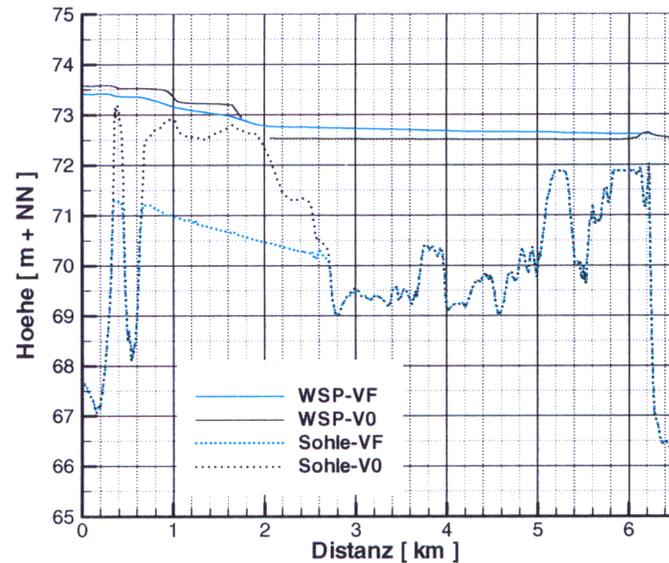


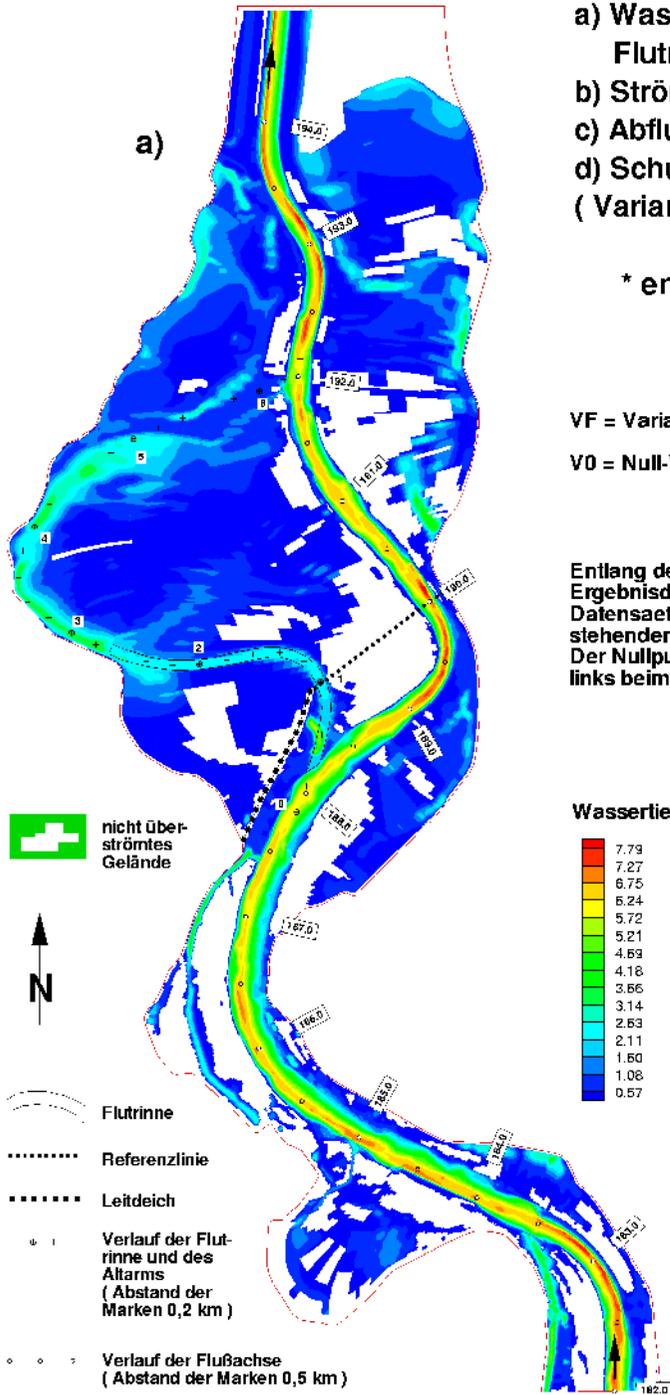
Abfluss: 1220 m<sup>3</sup>/s MHQ

VF = Variante mit Flutmulde  
 V0 = Variante 0

Bei der Darstellung a) werden Werte nur fuer Gebiete dargestellt, die sowohl bei V0 als auch bei VF ueberstroemt werden.

c) Wasserspiegellage und Sohlage entlang der Flutmulde und des Altarms





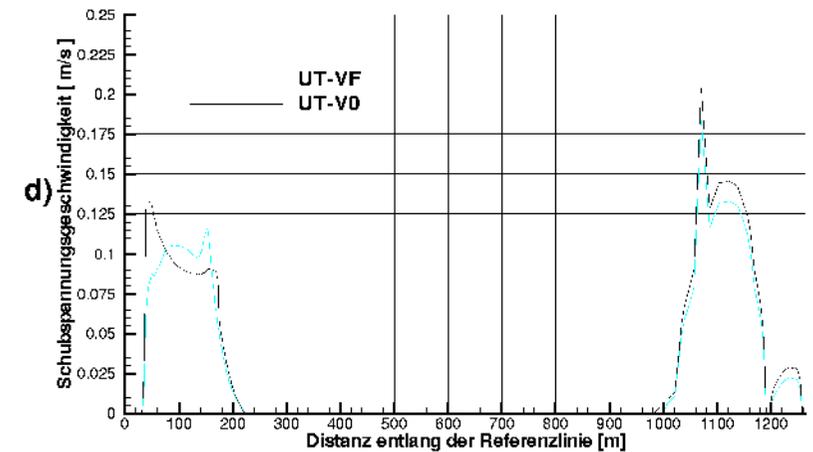
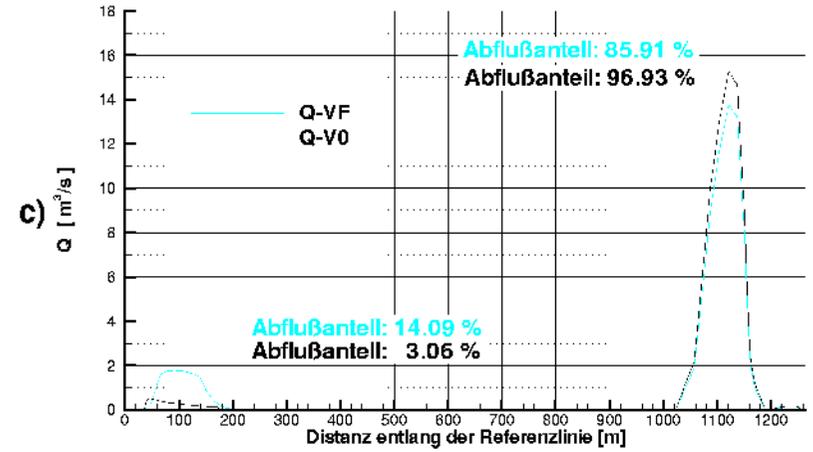
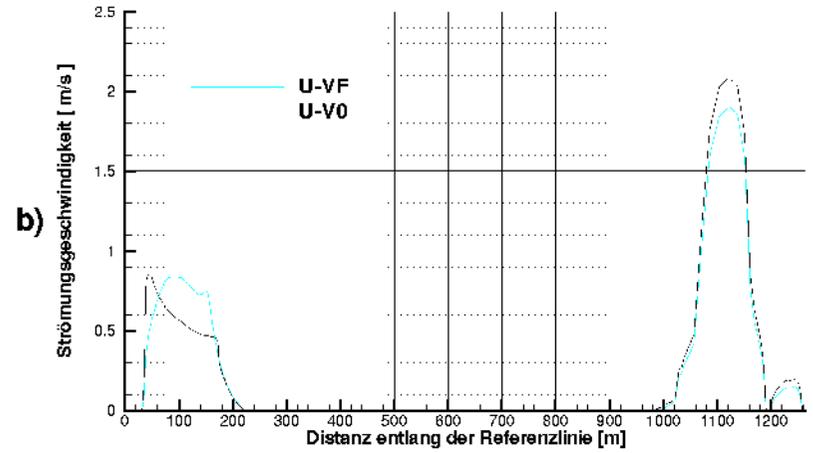
- a) Wassertiefen nach Einbau der Flutrinne
- b) Strömungsgeschwindigkeiten \*
- c) Abfluß \*
- d) Schubspannungsgeschwindigkeit \* ( Variante Flutrinne bei MHQ )

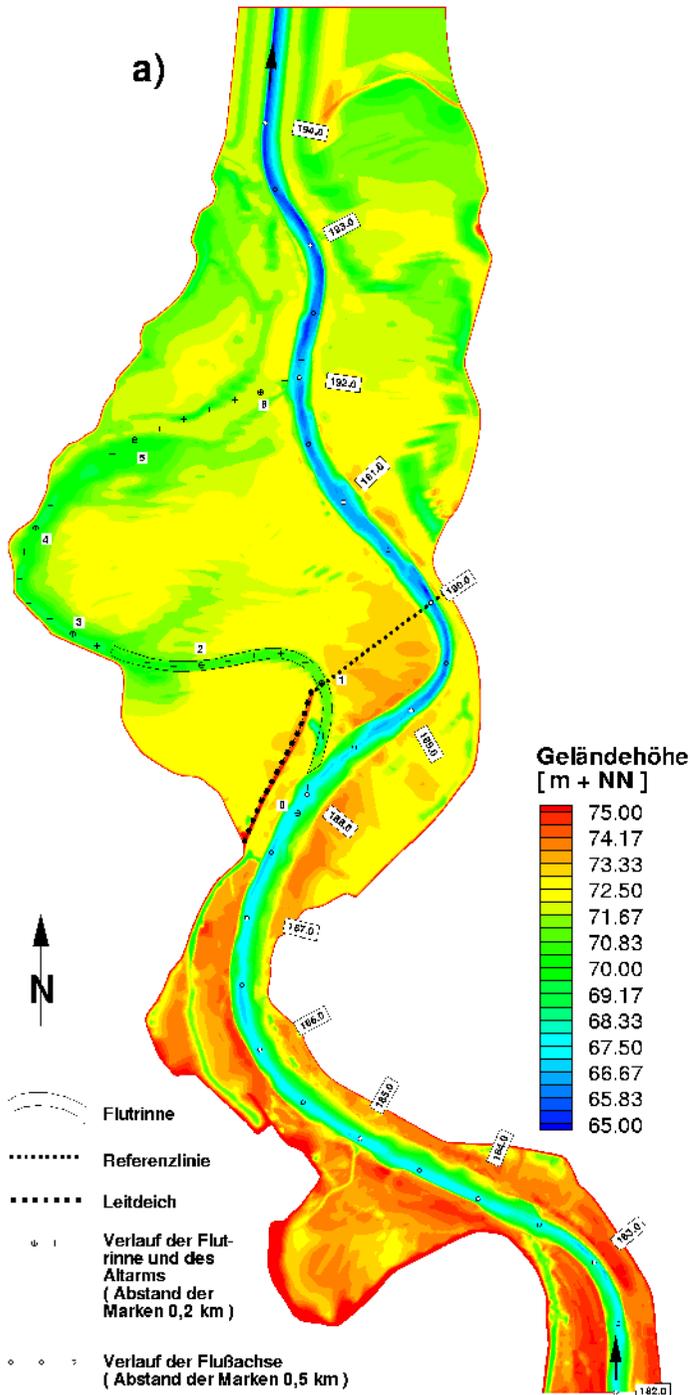
\* entlang der Referenzlinie

VF = Variante mit Flutrinne

V0 = Null-Variante

Entlang der Referenzlinie wurden aus den Ergebnisdaten der Varianten V0 und VF Datensätze für die drei neben stehenden Diagramme extrahiert. Der Nullpunkt der Referenzlinie liegt links beim Leitdeichende.



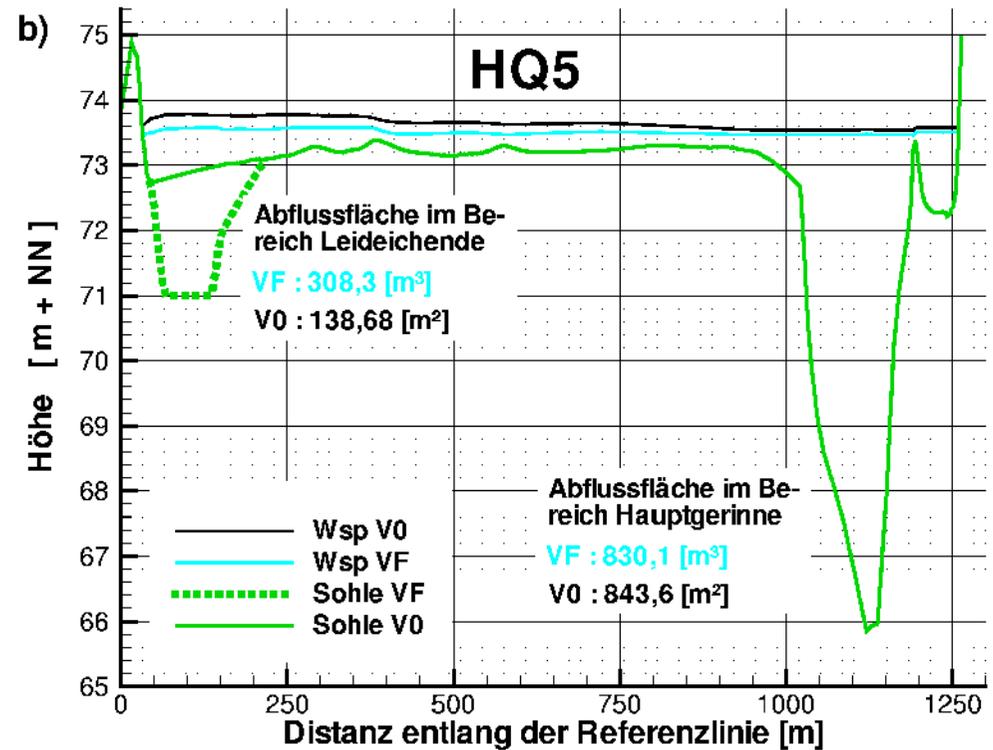


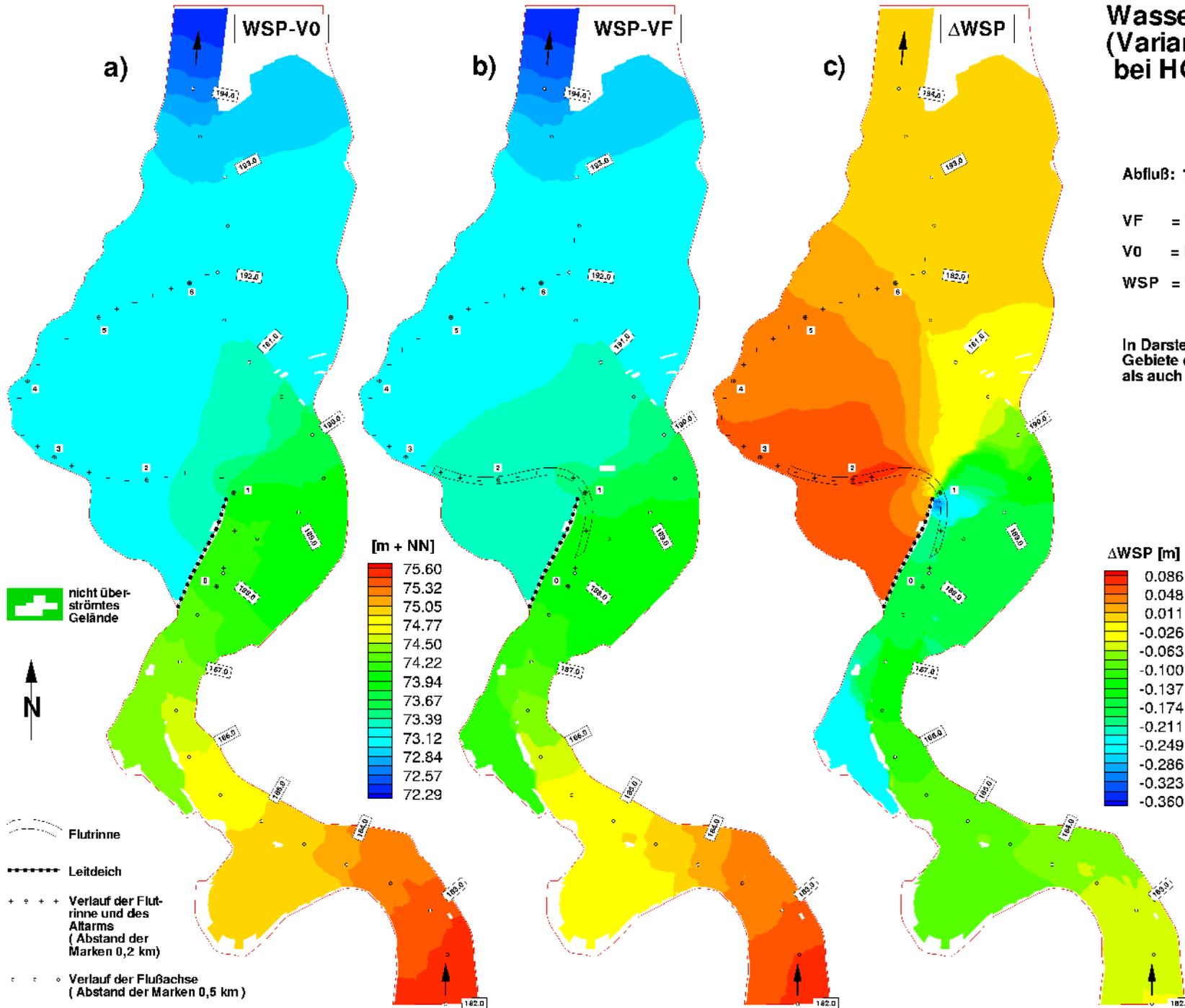
a) Geländehöhen  
 b) Geländeschnitt und Wasserspiegel entlang der Referenzlinie (Variante Flutrinne bei HQ5)

VF = Variante mit Flutrinne

V0 = Null-Variante

Entlang der Referenzlinie wurden aus den Ergebnisdaten der Varianten V0 und VF Datensätze für das unten stehende Diagramm extrahiert. Der Nullpunkt der Referenzlinie befindet sich beim Leitdeichende.





## Wasserspiegellagen (Variante Flutrinne bei HQ5)

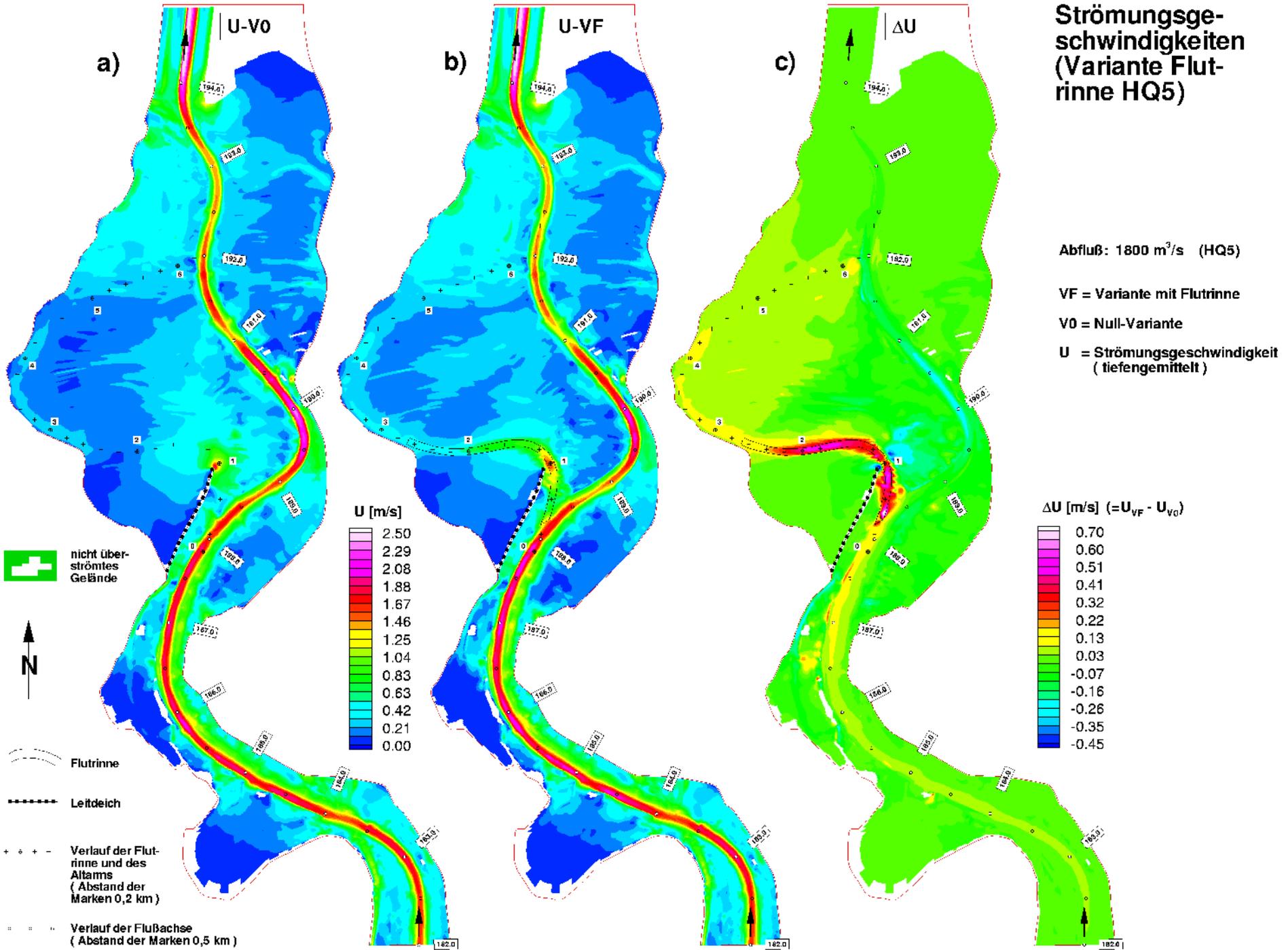
Abfluß: 1800 m<sup>3</sup>/s (HQ5)

VF = Variante mit Flutrinne

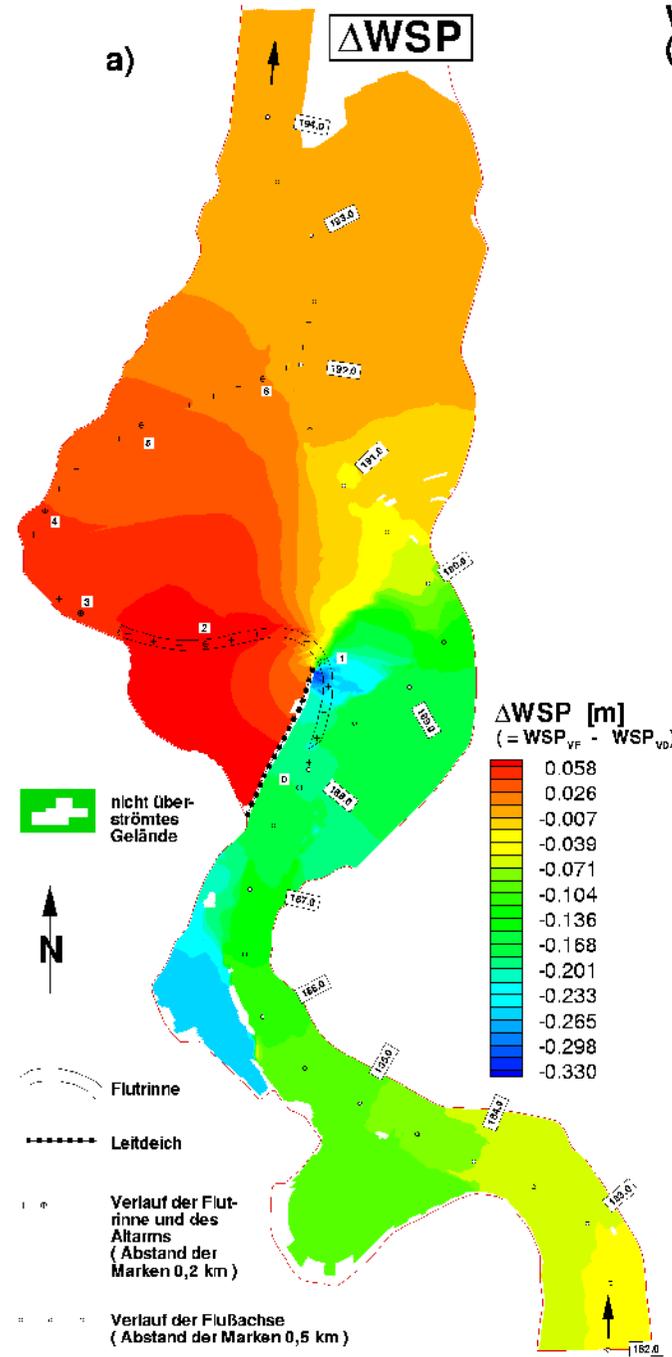
V0 = Null-Variante

WSP = Wasserspiegellage  
bezogen auf NN

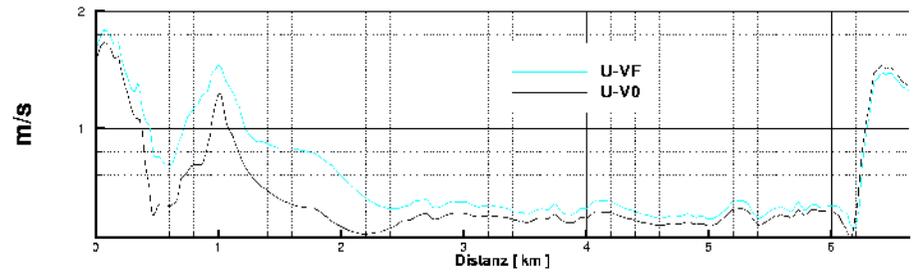
In Darstellung c) werden Werte nur für  
Gebiete dargestellt, die sowohl bei V0  
als auch bei VF überströmt werden



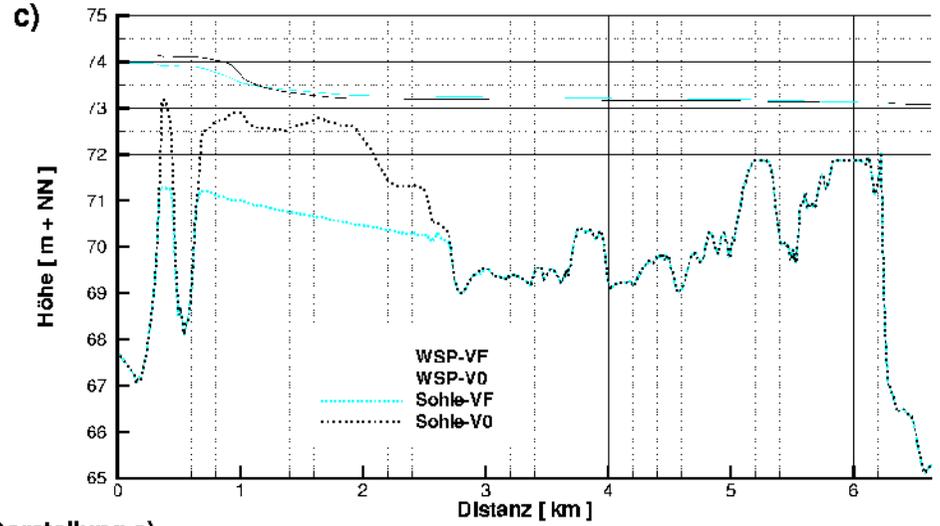
**Wasserspiegellagen und Differenzdarstellung der Wasserspiegellagen  
 (Variante Flutrinne bei HQ5)**



**b) Strömungsgeschwindigkeit entlang der Flutrinne und des Altarms**



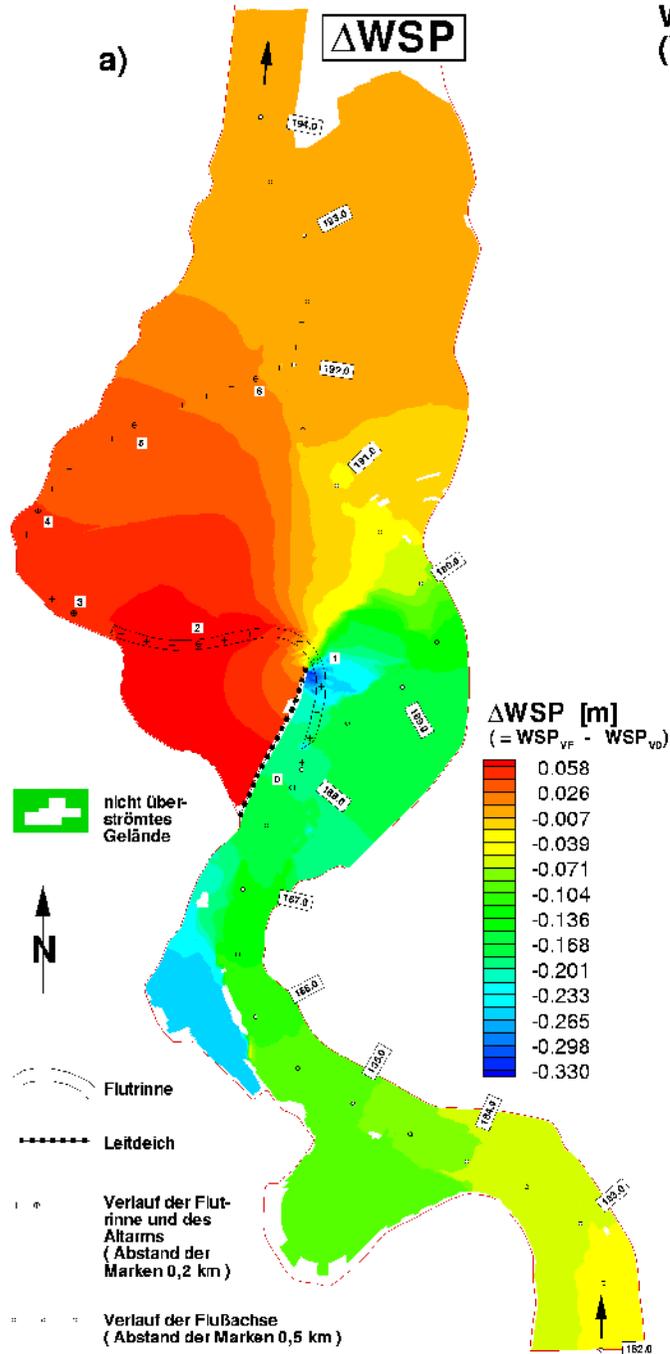
**c) Wasserspiegellage und Sohlage entlang der Flutrinne und des Altarms**



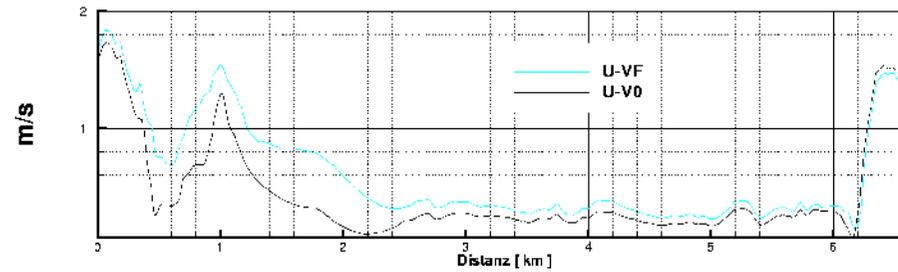
Bei der Darstellung a) werden Werte nur für Gebiete dargestellt, die sowohl bei V0 als auch bei VF überströmt werden.

Abfluß: 1800 m<sup>3</sup>/s (HQ5)  
 VF = Variante mit Flutrinne  
 V0 = Variante 0

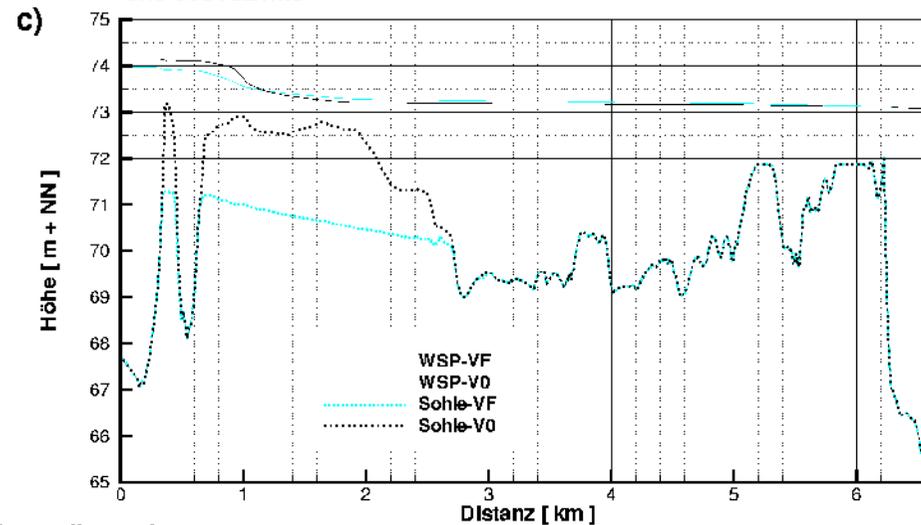
**Wasserspiegellagen und Differenzdarstellung der Wasserspiegellagen  
 (Variante Flutrinne bei HQ5)**



**b) Strömungsgeschwindigkeit entlang der Flutrinne und des Altarms**



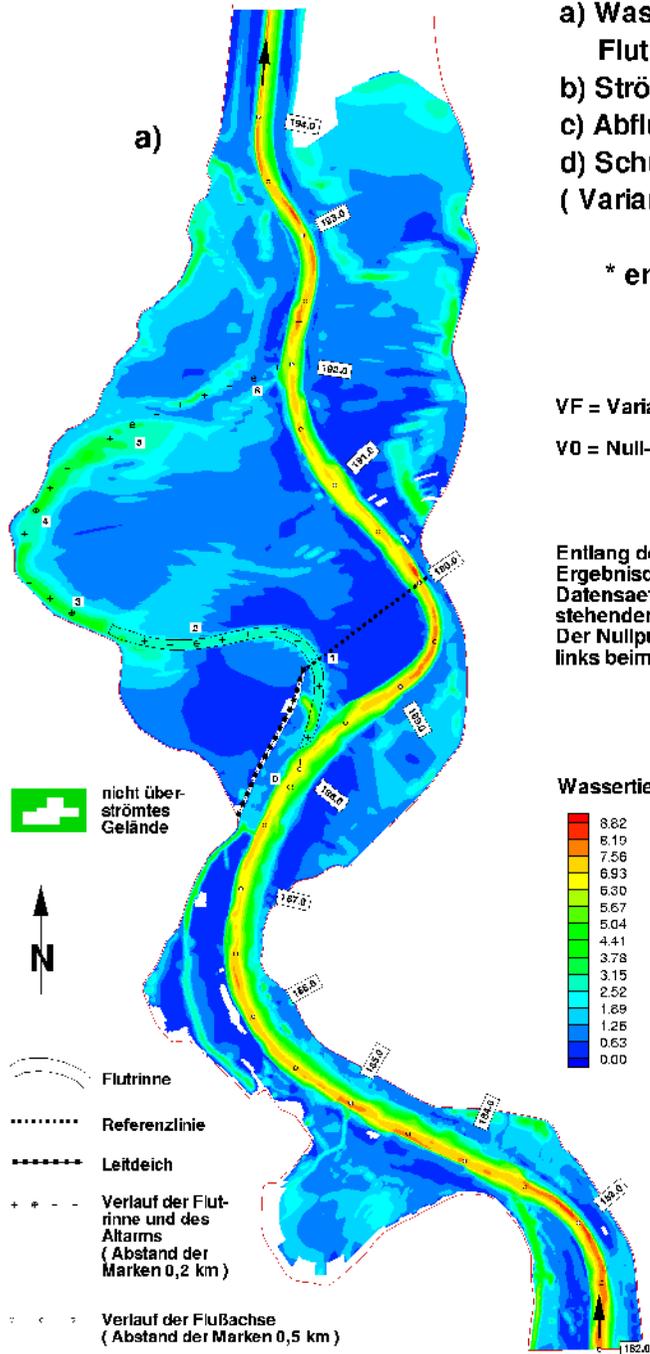
**c) Wasserspiegellage und Sohlage entlang der Flutrinne und des Altarms**



Bei der Darstellung a) werden Werte nur für Gebiete dargestellt, die sowohl bei V0 als auch bei VF überströmt werden.

Abfluß: 1800 m<sup>3</sup>/s (HQ5)

VF = Variante mit Flutrinne  
 V0 = Variante 0



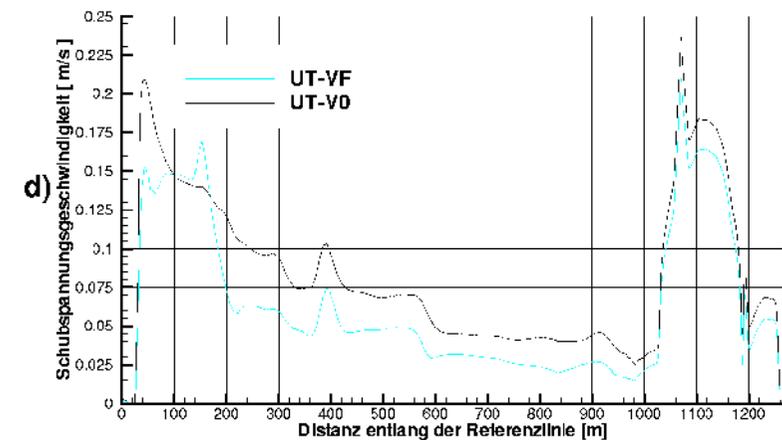
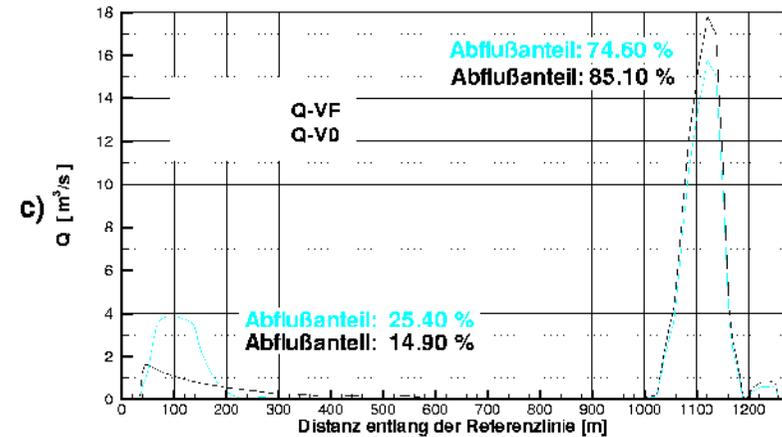
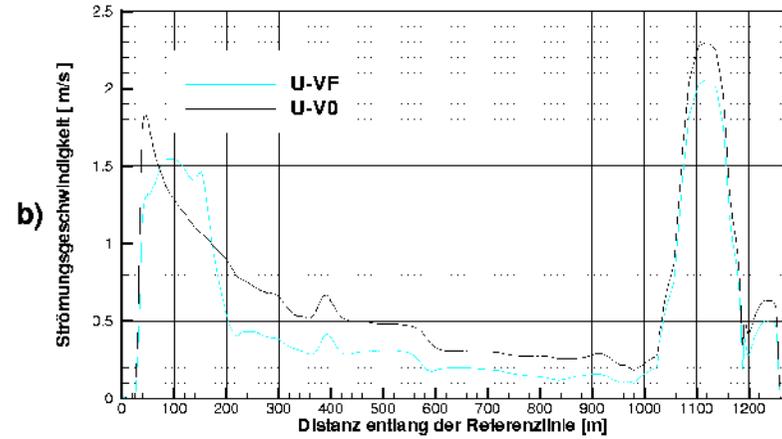
- a) Wassertiefen nach Einbau der Flutrinne
- b) Strömungsgeschwindigkeiten \*
- c) Abfluß \*
- d) Schubspannungsgeschwindigkeit \* (Variante Flutrinne bei HQ5)

\* entlang der Referenzlinie

VF = Variante mit Flutrinne

V0 = Null-Variante

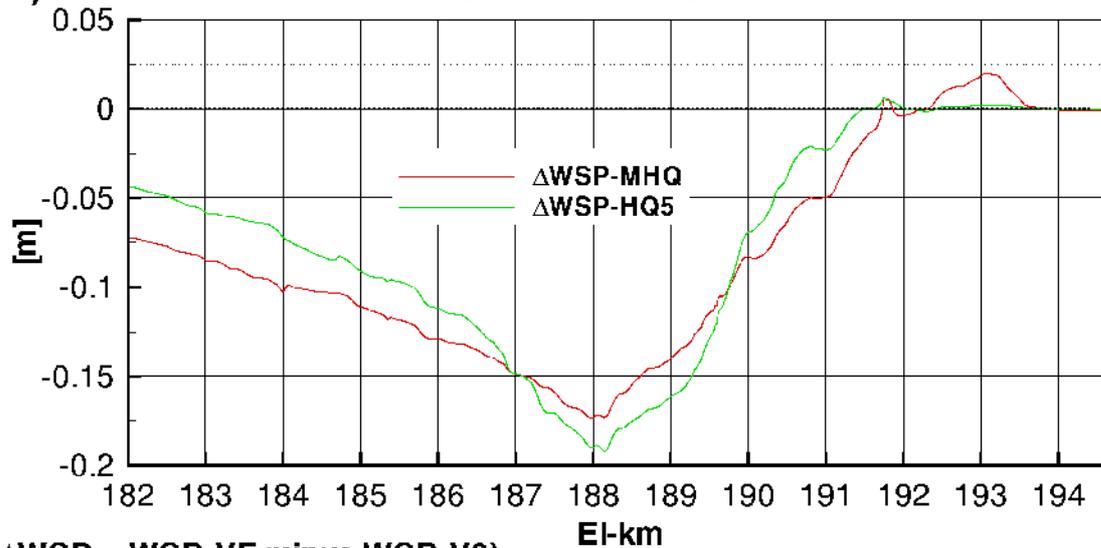
Entlang der Referenzlinie wurden aus den Ergebnisdaten der Varianten V0 und VF Datensätze für die drei neben stehenden Diagramme extrahiert. Der Nullpunkt der Referenzlinie liegt links beim Leitdeichende.



- a) Differenz der Wasserspiegellagen \*
- b) Differenz der Strömungsgeschwindigkeiten \*  
(Variante Flutmulde bei MHQ und HQ5)

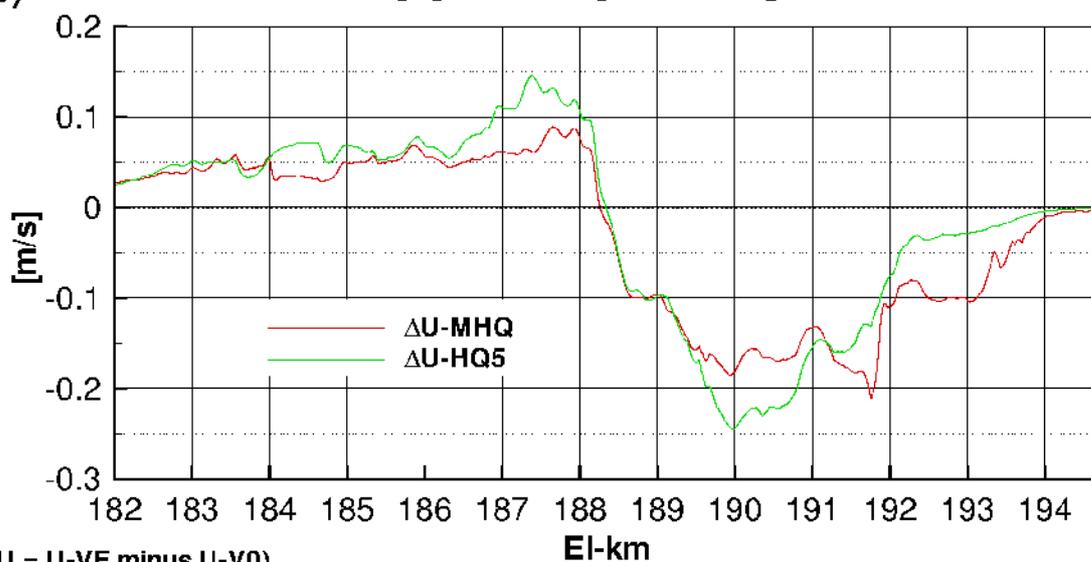
\* entlang der Flussachse

a) Differenz der Wasserspiegellagen entlang der Flussachse bei MHQ, HQ5

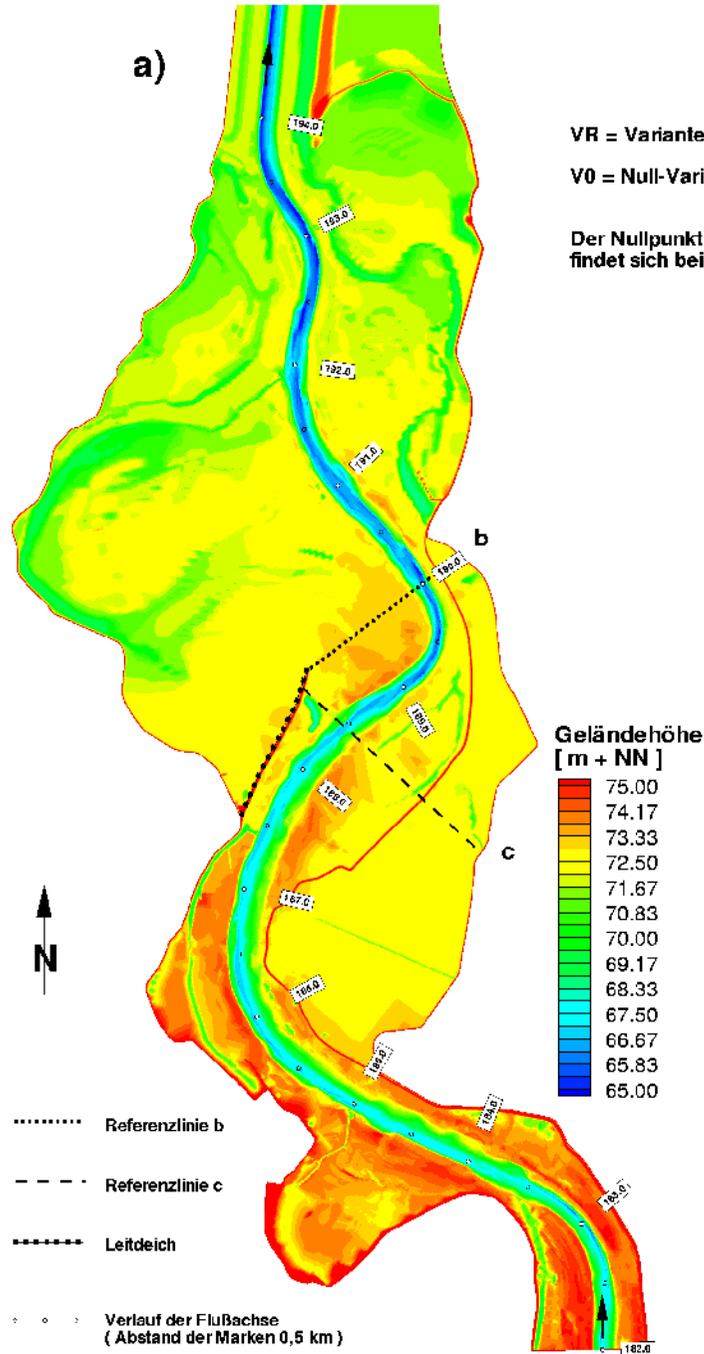


( $\Delta WSP = WSP\text{-VF}$  minus  $WSP\text{-V0}$ )

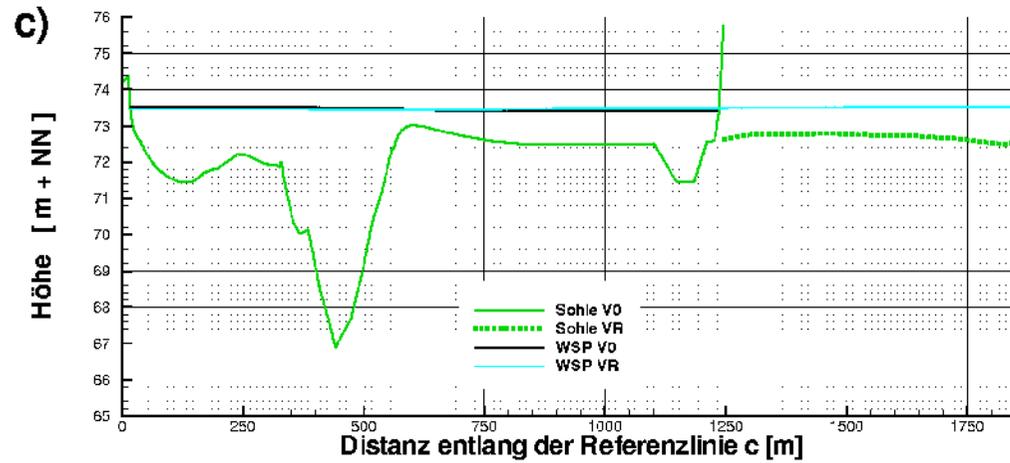
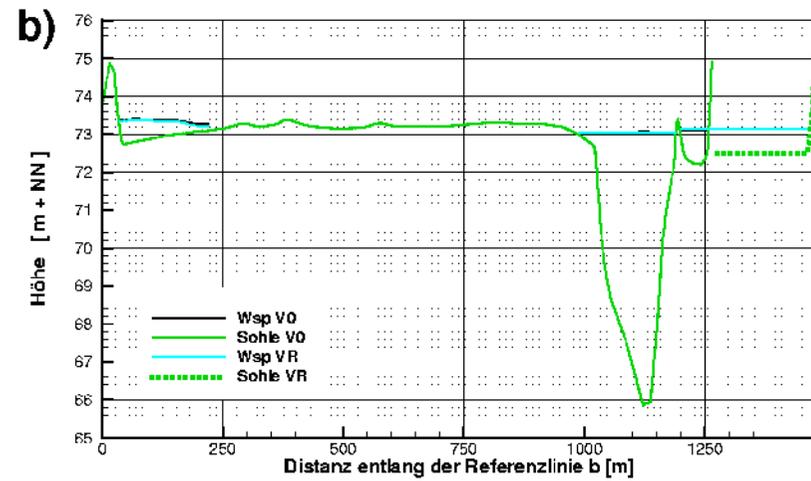
b) Differenz der Strömungsgeschwindigkeit entlang der Flussachse bei MHQ, HQ5

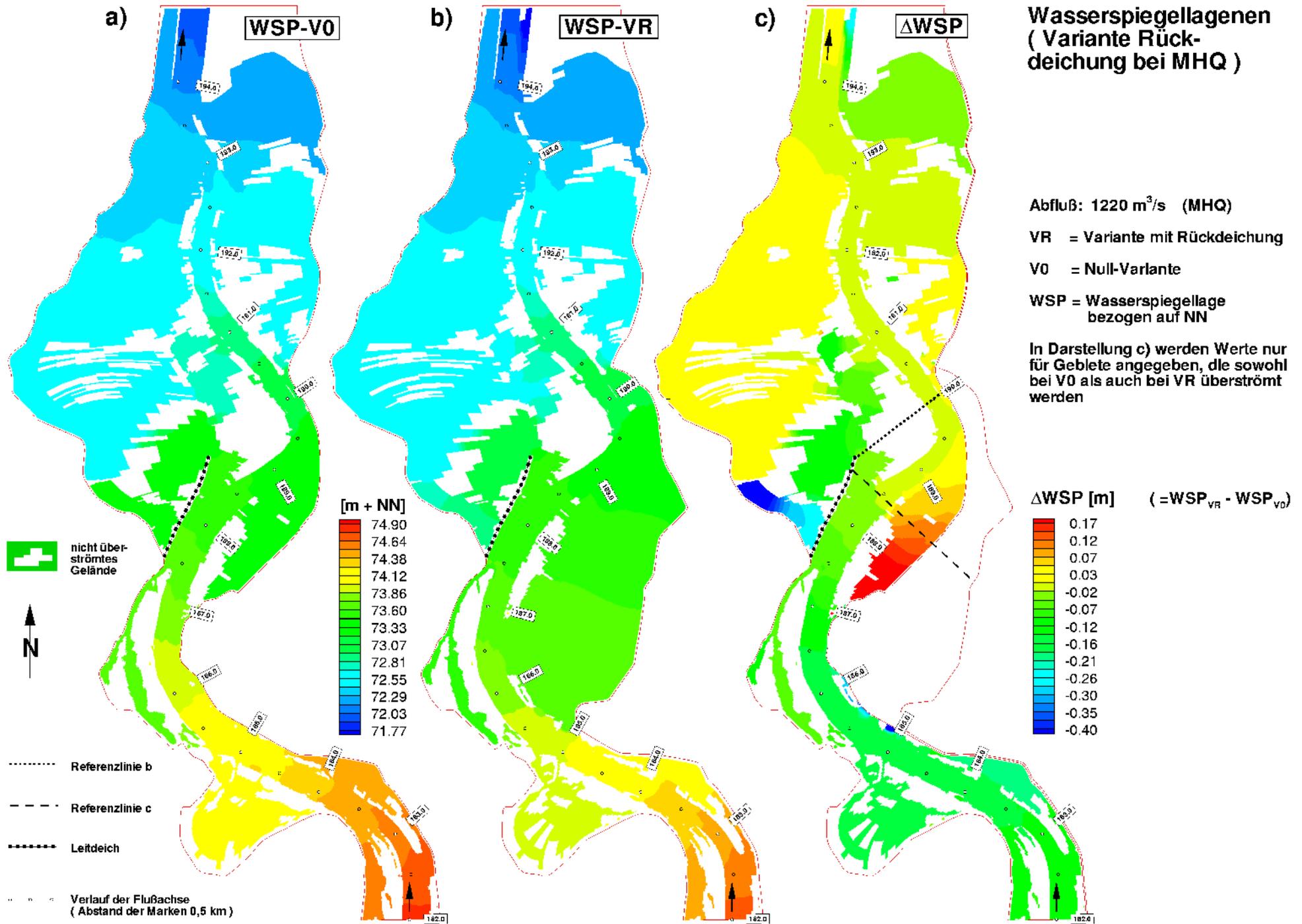


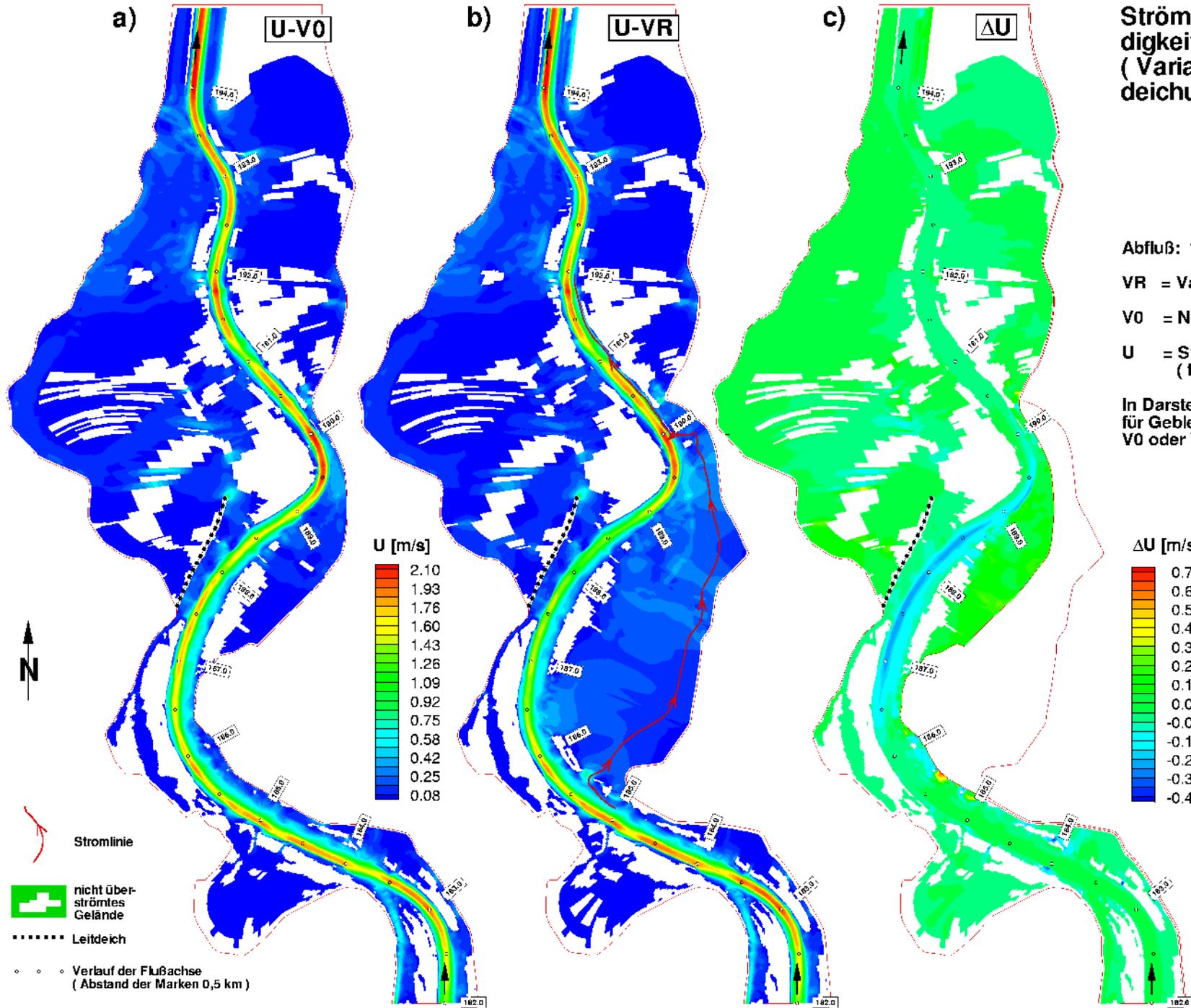
( $\Delta U = U\text{-VF}$  minus  $U\text{-V0}$ )



- a) Geländehöhen
- b) Geländeschnitt und Wasserspiegel entlang der Referenzlinie b
- c) Geländeschnitt und Wasserspiegel entlang der Referenzlinie c (Variante Rückdeichung bei MHQ)







### Strömungsgeschwindigkeiten ( Variante Rückdeichung bei MHQ )

Abfluß: 1220 m<sup>3</sup>/s (MHQ)

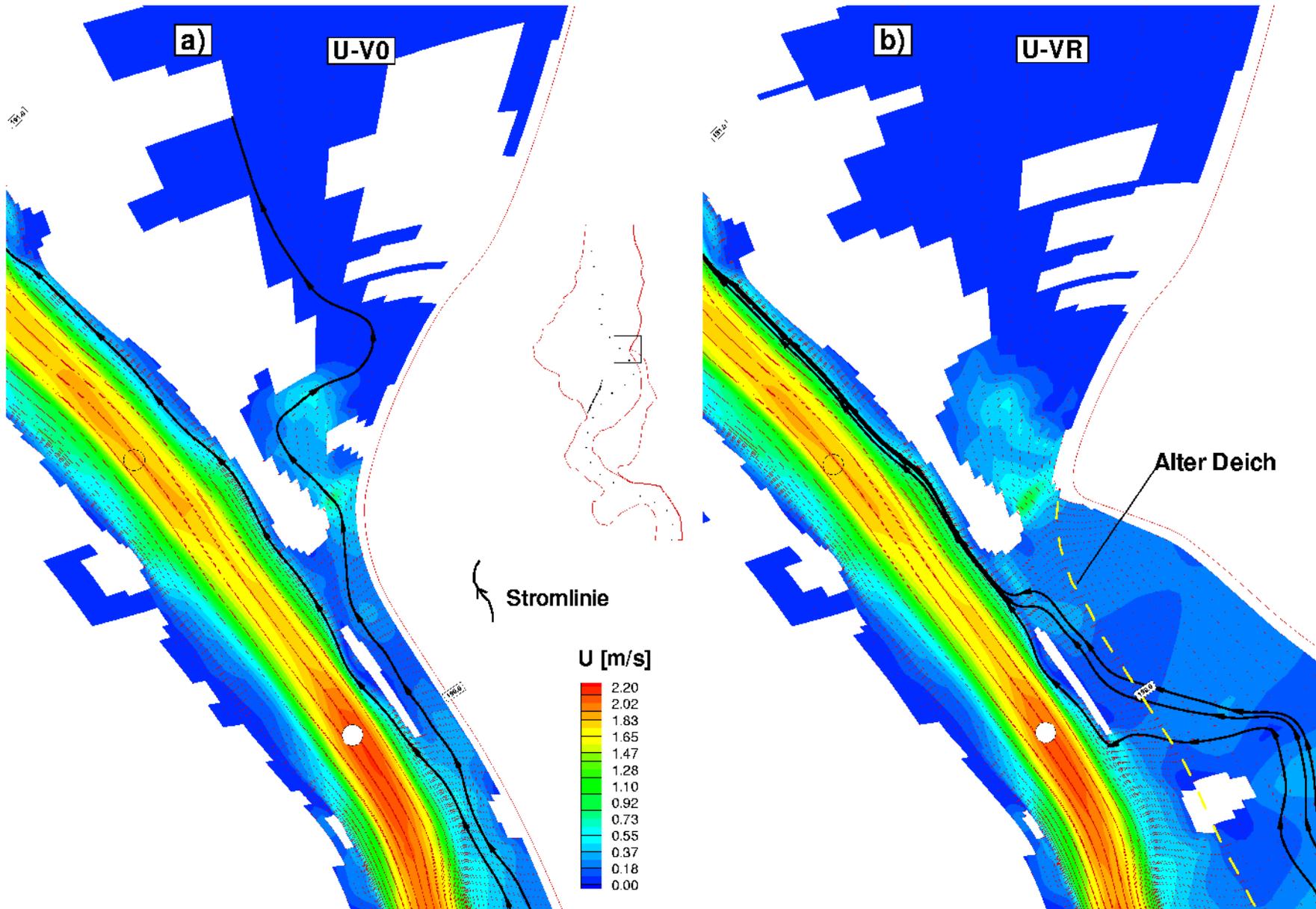
VR = Variante mit Rückdeichung

V0 = Null-Variante

U = Strömungsgeschwindigkeit  
( tiefengemittelt )

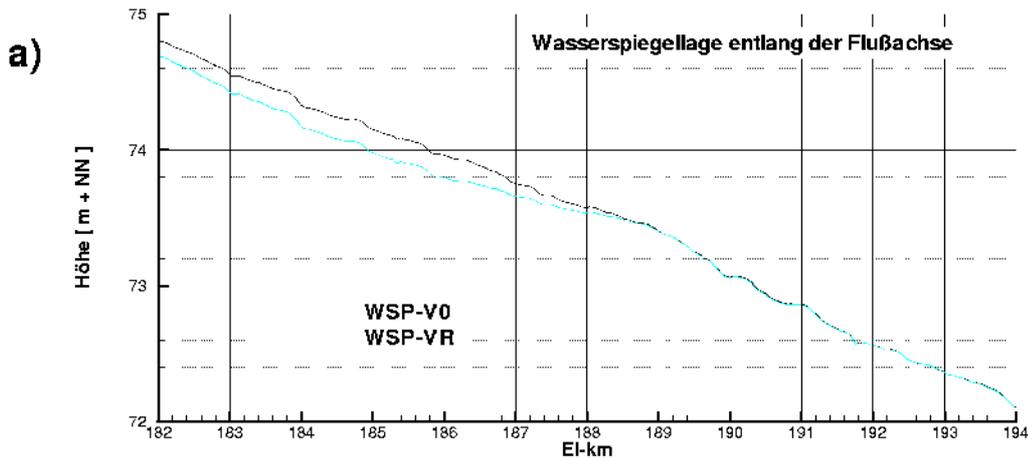
In Darstellung c) werden Werte für Gebiete angegeben, die bei V0 oder VR überströmt werden.

# Detaildarstellung des Strömungsfeldes bei EI-km 190 ( Variante Rückdeichung bei MHQ )



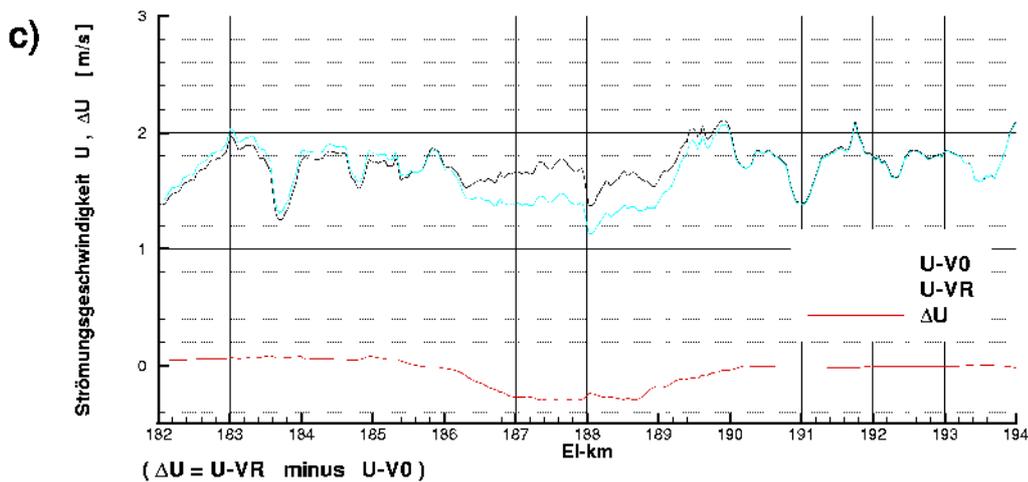
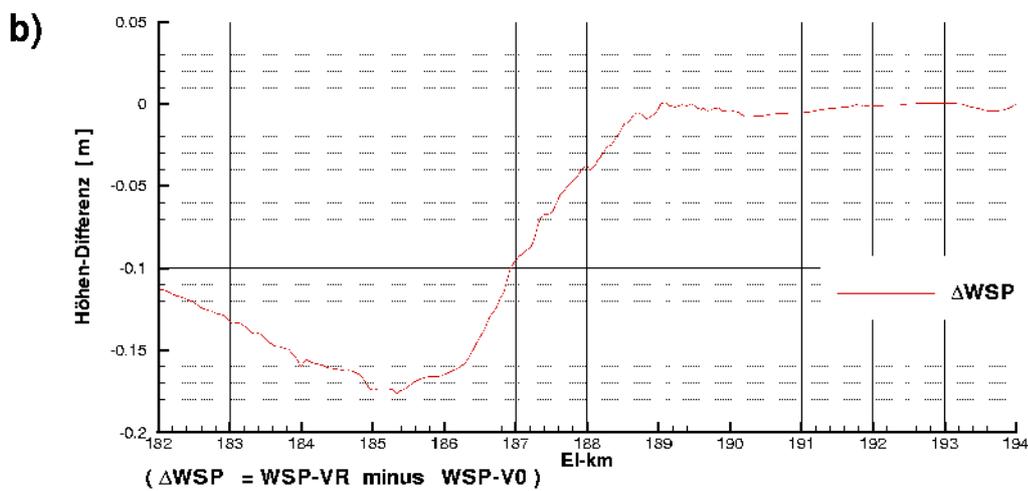
- a) Wasserspiegellagen \*
  - b) Differenz der Wasserspiegellagen \*
  - c) Strömungsgeschwindigkeiten und  
 Differenz der Strömungsgeschwindigkeiten \*
- (Variante Rückdeichung bei MHQ)

\* entlang der Flußachse

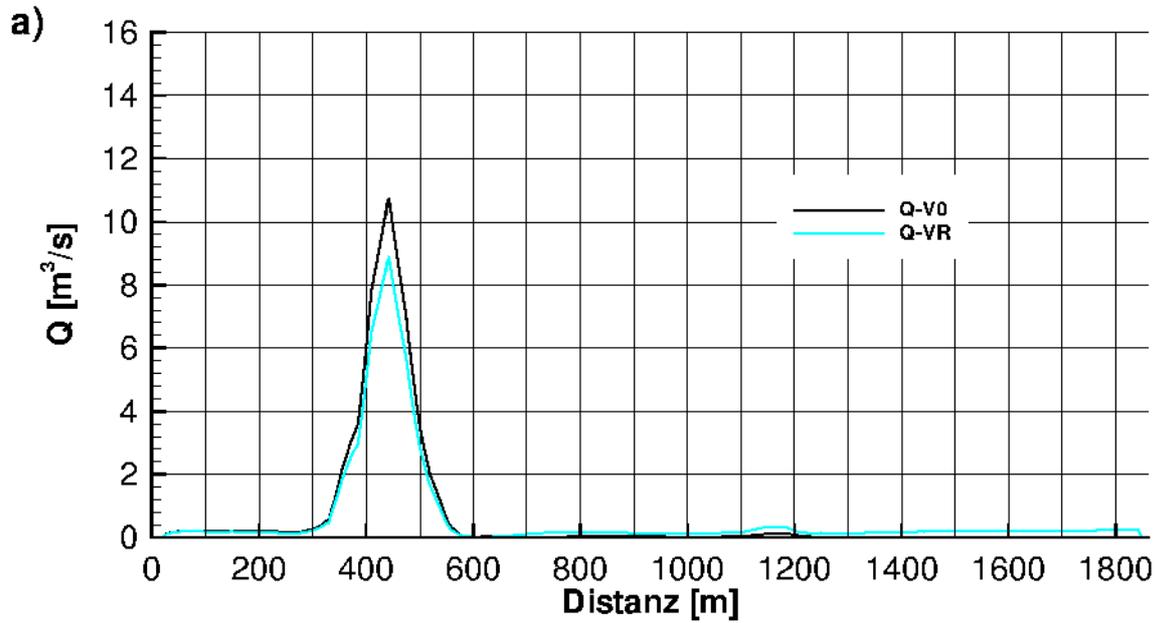


VR = Variante mit  
Rückdeichung

V0 = Null-Variante



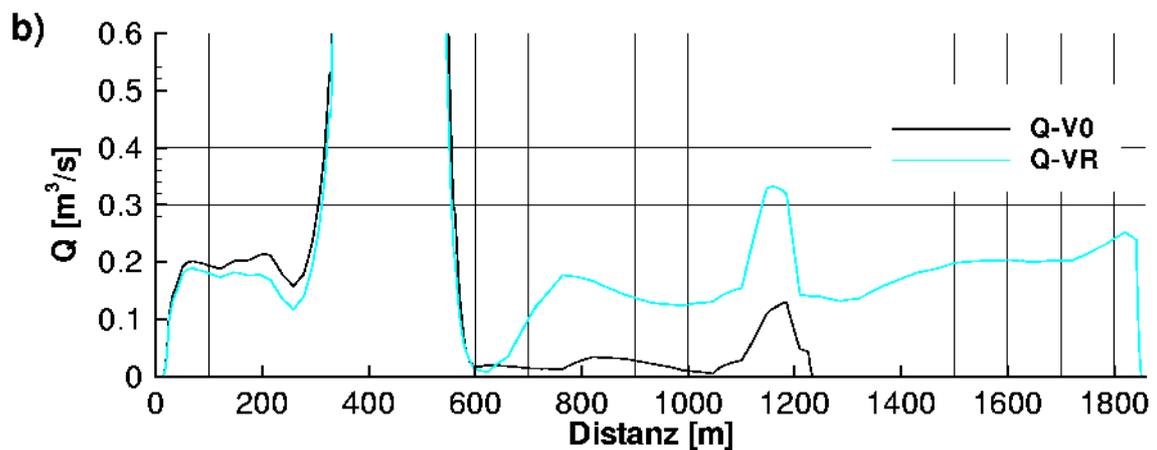
### Abfluß entlang der Referenzlinie c für Rückdeichungs- variante (VR) und Null-Variante (V0) bei MHQ



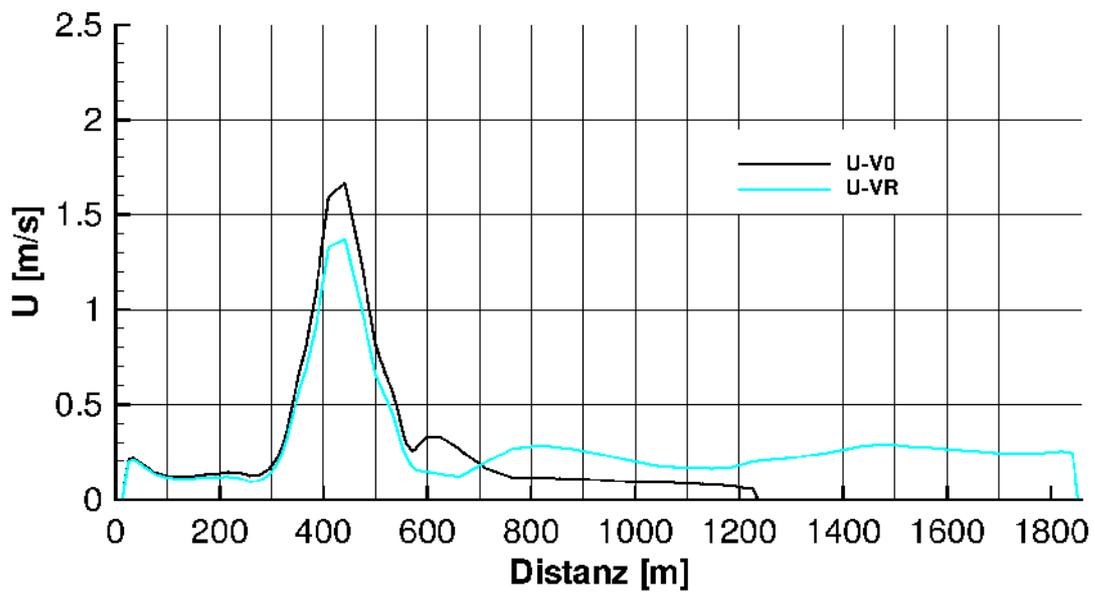
**Q<sub>VR</sub>-Hauptgerinne = 888 m<sup>3</sup>/s**

**Q<sub>V0</sub>-Hauptgerinne = 1085 m<sup>3</sup>/s**

**diff Q-Hauptgerinne = 18,2 %**



### Strömungsgeschwindigkeit entlang der Referenzlinie c für Rückdeichungsvariante (VR) und Null-Variante (V0) bei MHQ

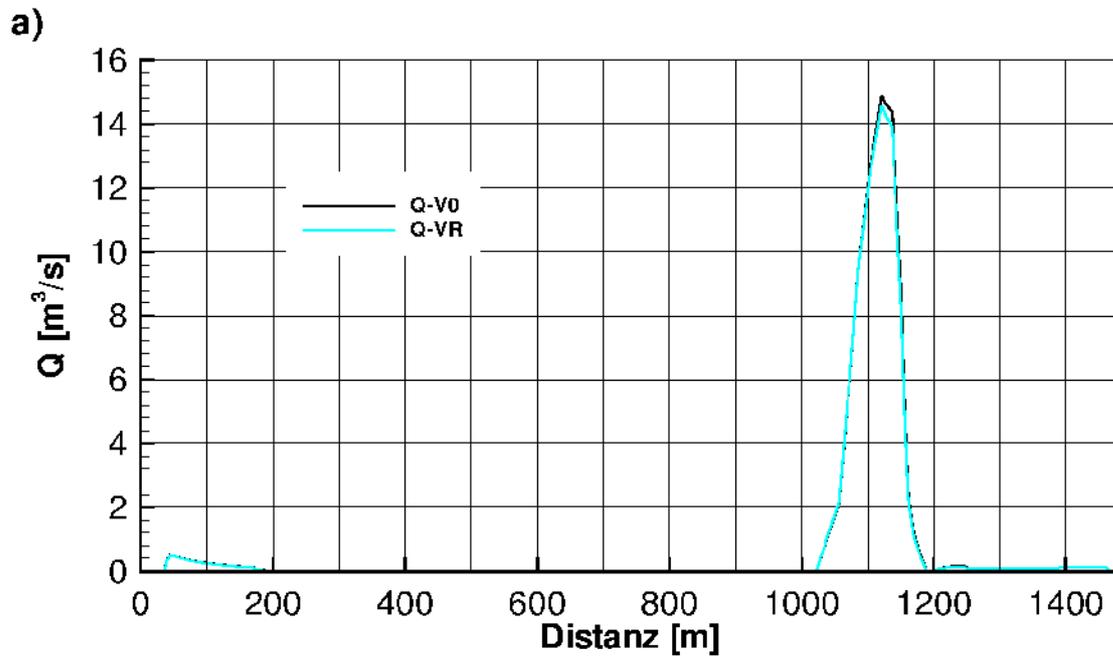


**Max U-V0 = 1,646 [m/s]**

**Max U-VR = 1,368 [m/s]**

**diff  $U_{MAX}$  = -16,89 %**

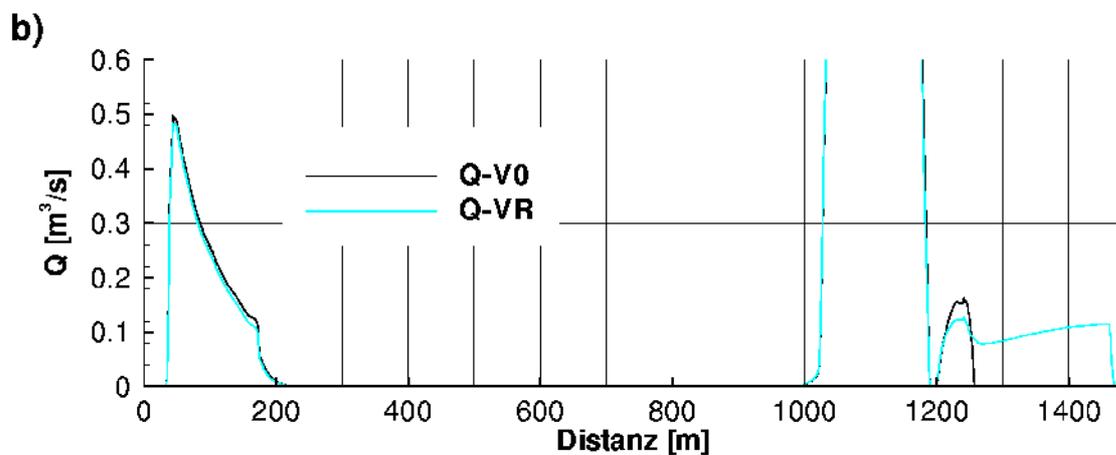
### Abfluß entlang der Referenzlinie b für Rückdeichungs- variante (VR) und Null-Variante (V0) bei MHQ



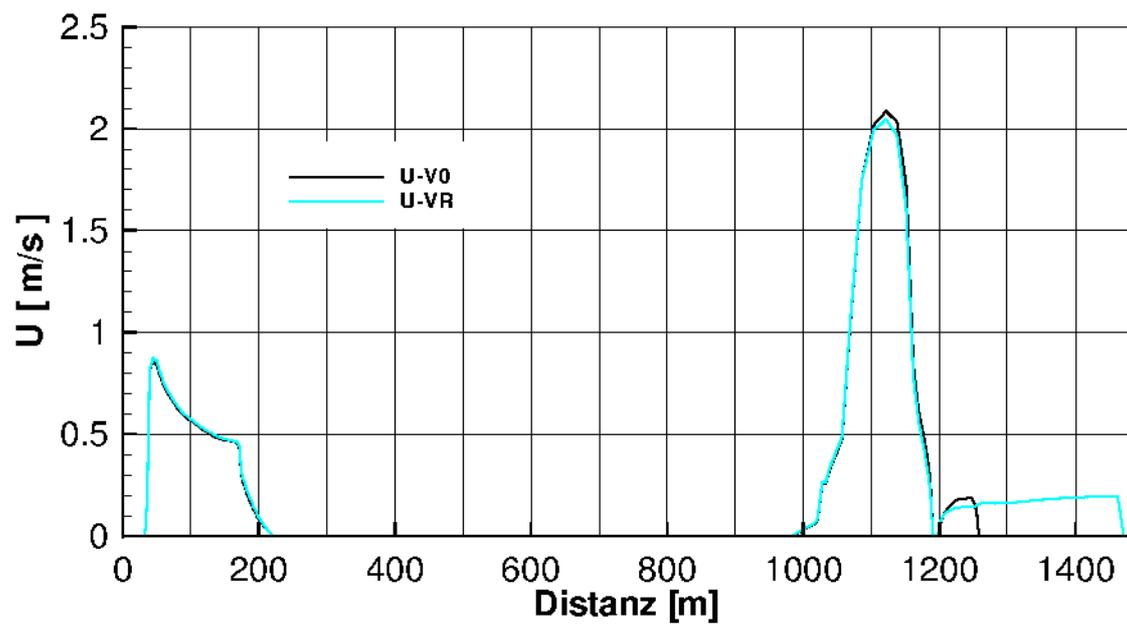
$Q_{VR}$ -Hauptgerinne = 1090 m<sup>3</sup>/s

$Q_{V0}$ -Hauptgerinne = 1113 m<sup>3</sup>/s

diff Q-Hauptgerinne = -2,1 %



## Strömungsgeschwindigkeit entlang der Referenzlinie b für Rückdeichungsvariante (VR) und Null-Variante (V0) bei MHQ

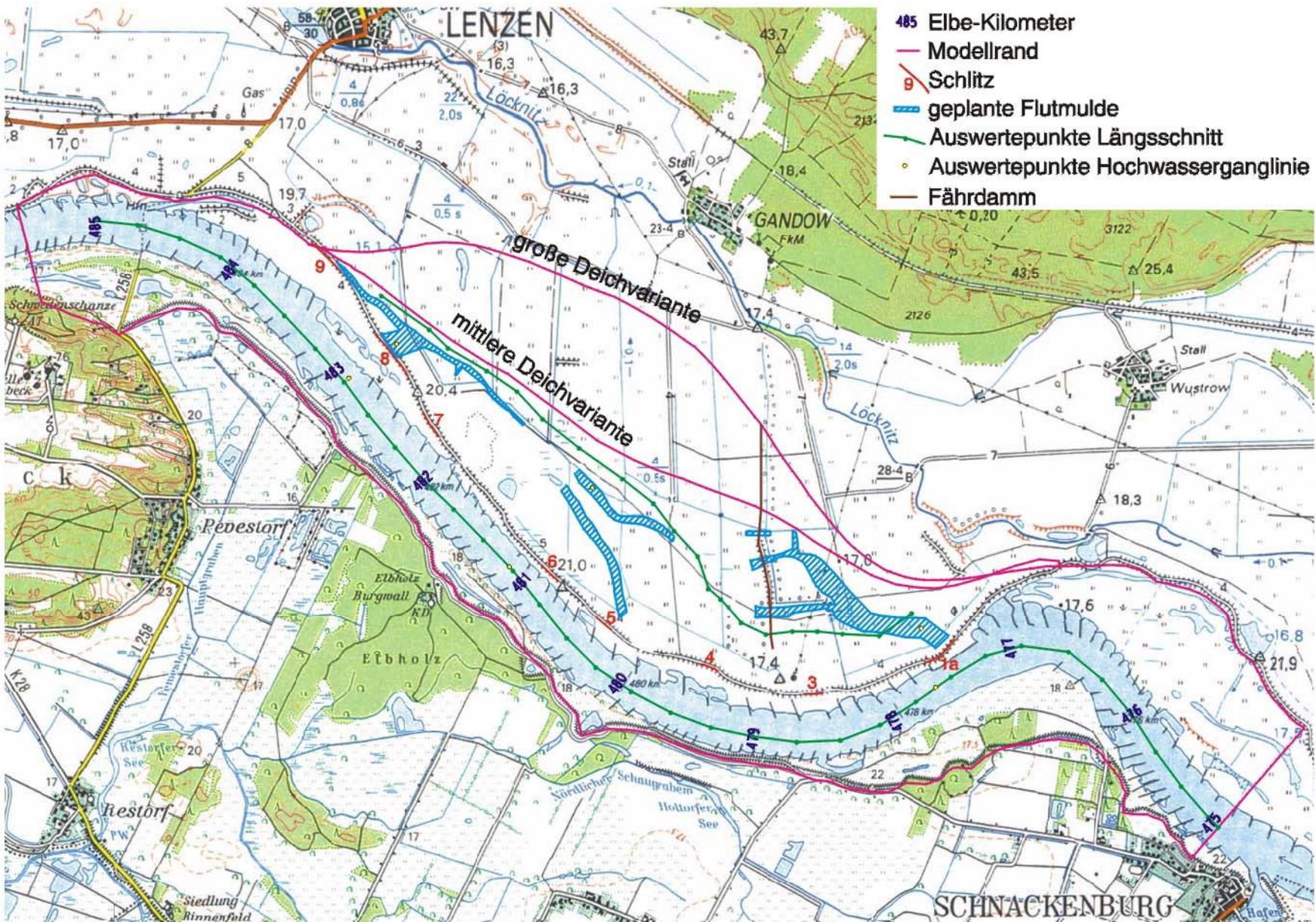


**Max U-V0 = 2,09 [m/s]**

**Max U-VR = 2,05 [m/s]**

**diff  $U_{MAX}$  = -1,9 %**

### 5.2.1 Lageplan

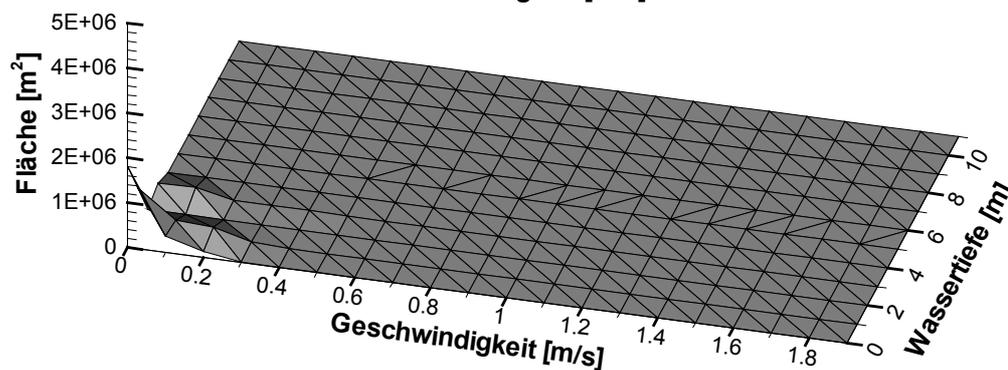
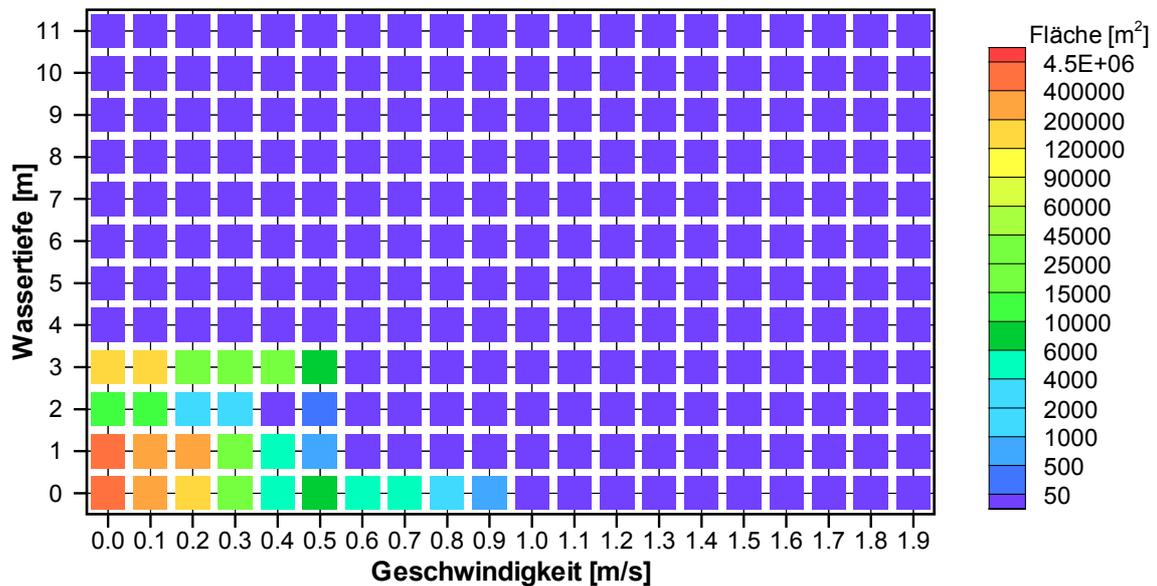


### 5.2.2 Variante 33 Rückdeichungsbereich, HQ<sub>1-2</sub> (1500m<sup>3</sup>/s)

Statistik der mit definierter Geschwindigkeit und Wassertiefe überströmten Flächen im Rückdeichungsbereich (Gesamtfläche: 4,4 km<sup>2</sup>):

Flächenanteil [%]	Fließgeschwindigkeit [m/s]															
	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	
0	41,7	8,4	3,1	0,4	0,1	0,2	0,1	0,1	-	-	-	-	-	-	-	
1	20,9	6,9	5,9	1,0	0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
2	0,3	0,3	0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
3	4,1	4,6	0,5	0,5	0,5	0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

Statistik der mit definierter Geschwindigkeit und Wassertiefe überströmten Flächen im Rückdeichungsbereich  
 Variante 33 Q=1500m<sup>3</sup>/s

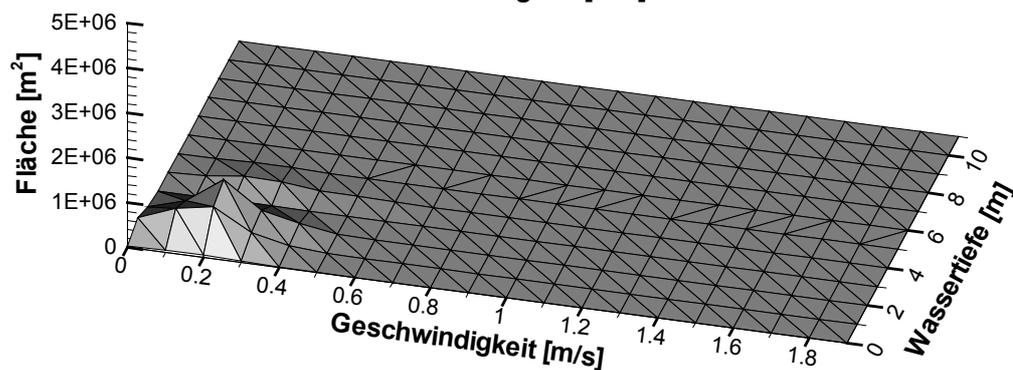
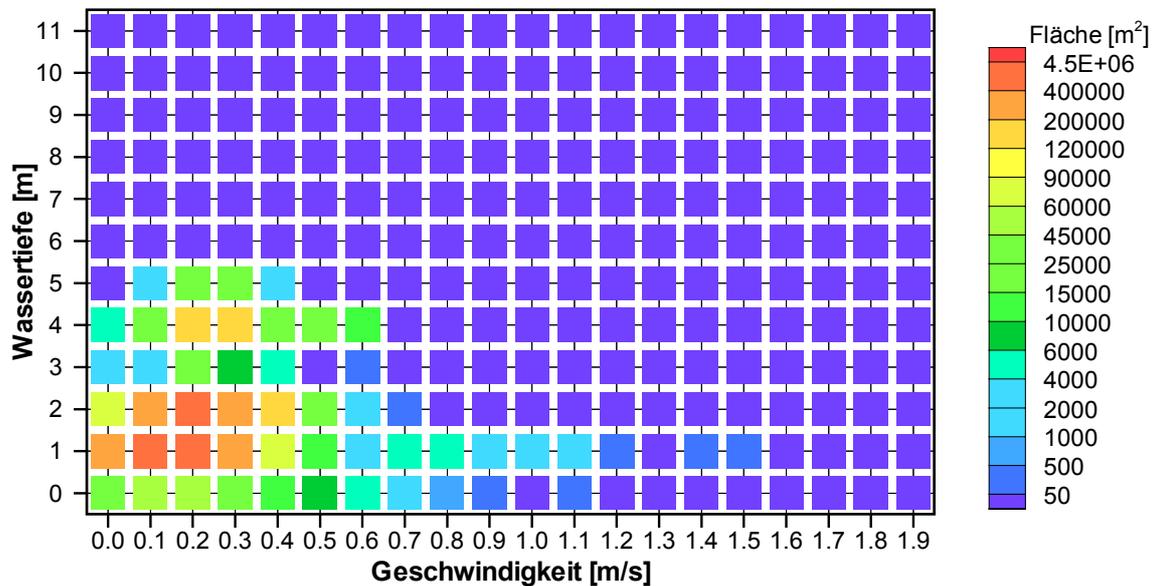


### 5.2.3 Variante 33 Rückdeichungsbereich, HQ<sub>3-5</sub> (2300m<sup>3</sup>/s)

Statistik der mit definierter Geschwindigkeit und Wassertiefe überströmten Flächen im Rückdeichungsbereich (Gesamtfläche: 4,4 km<sup>2</sup>):

Flächenanteil [%]	Fließgeschwindigkeit [m/s]															
	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	
0	0,7	1,3	1,3	0,8	0,3	0,2	0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	
1	5,7	13,1	16,4	5,7	1,5	0,2	0,1	0,1	0,1	-	-	-	-	-	-	
2	1,7	7,2	<b>20,7</b>	7,5	3,5	0,4	0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	
3	-	-	0,4	0,2	0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
4	0,1	0,8	3,3	2,9	0,9	0,6	0,3	-	-	-	-	-	-	-	-	
5	-	-	0,7	0,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

Statistik der mit definierter Geschwindigkeit und Wassertiefe überströmten Flächen im Rückdeichungsbereich  
 Variante 33 Q=2300m<sup>3</sup>/s

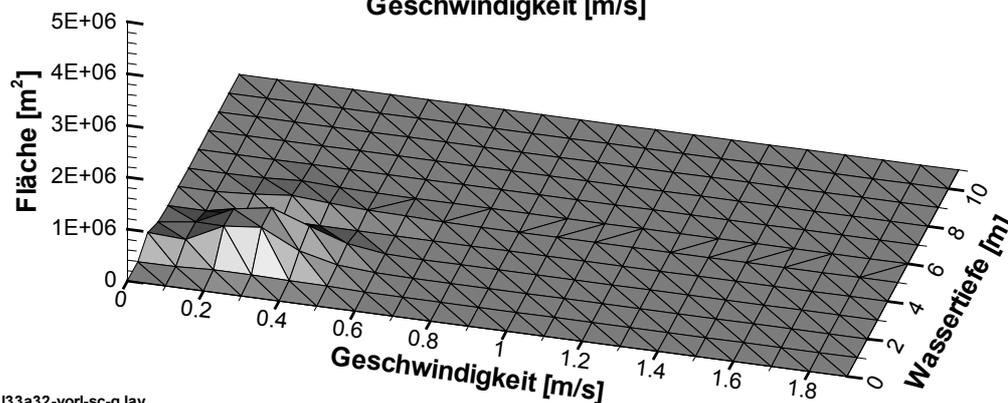
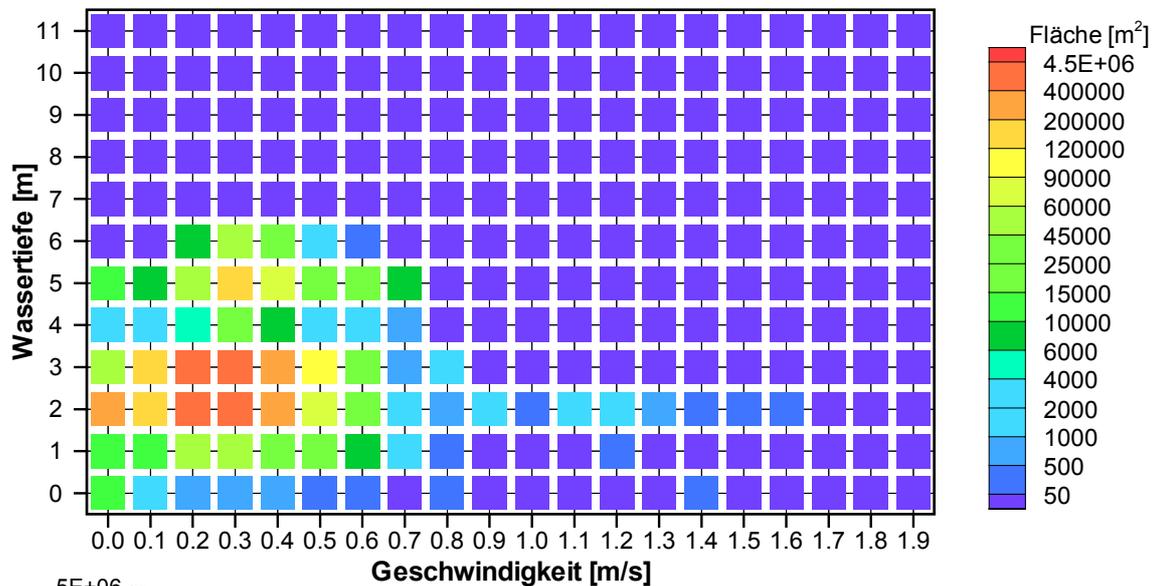


### 5.2.4 Variante 33 Rückdeichungsbereich, HQ<sub>20-25</sub> (3250m<sup>3</sup>/s)

Statistik der mit definierter Geschwindigkeit und Wassertiefe überströmten Flächen im Rückdeichungsbereich (Gesamtfläche: 4,4 km<sup>2</sup>):

Wassertiefe [m]	Flächenanteil [%]	Fließgeschwindigkeit [m/s]														
		0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4
0	0,3	0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1	0,2	0,3	1,1	1,1	0,7	0,5	0,2	0,1	-	-	-	-	-	-	-	
2	4,9	4,0	12,2	13,8	5,5	1,5	0,4	0,1	-	0,1	-	-	0,1	-	-	
3	1,2	3,4	11,4	<b>14,2</b>	8,3	2,6	0,4	-	-	-	-	-	-	-	-	
4	-	-	0,1	0,3	0,1	0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
5	0,3	0,2	1,4	3,0	1,9	0,9	0,7	0,2	-	-	-	-	-	-	-	
6	-	-	0,2	1,2	0,4	0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

Statistik der mit definierter Geschwindigkeit und Wassertiefe überströmten Flächen im Rückdeichungsbereich  
 Variante 33 Q=3250m<sup>3</sup>/s

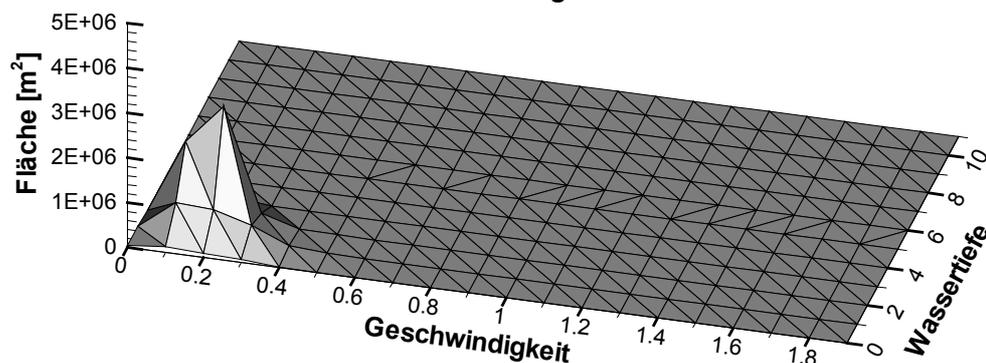
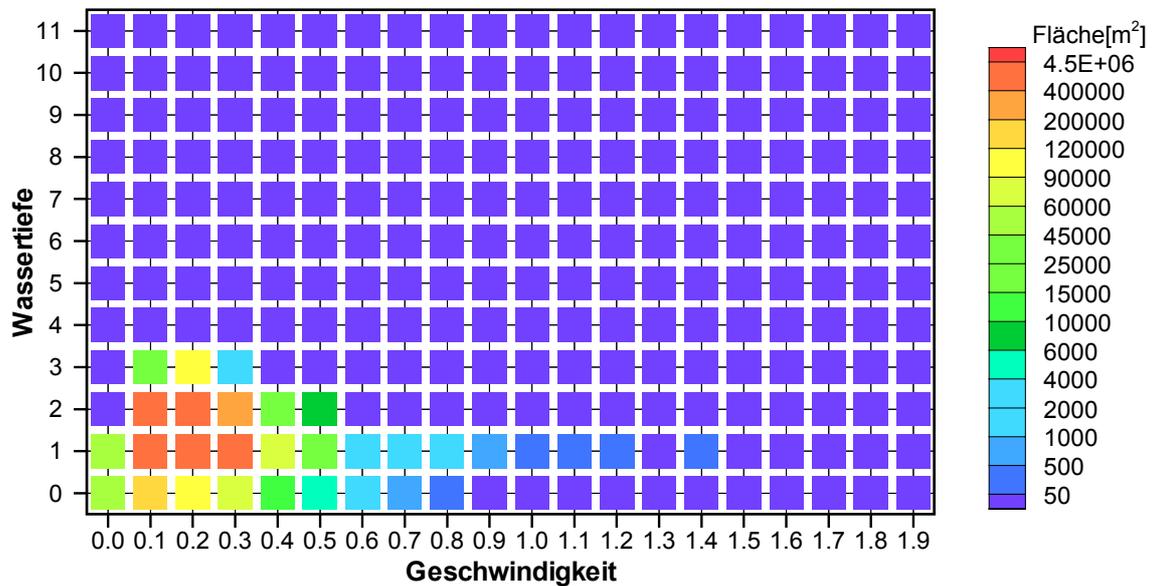


### 5.2.5 Variante 19a Rückdeichungsbereich, HQ<sub>3-5</sub> (2300m<sup>3</sup>/s)

Statistik der mit definierter Geschwindigkeit und Wassertiefe überströmten Flächen im Rückdeichungsbereich (Gesamtfläche: 6,8 km<sup>2</sup>):

Flächenanteil [%]	Fließgeschwindigkeit [m/s]															
	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	
0	0,7	1,9	1,4	1,0	0,2	0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1	0,8	10,1	9,5	6,0	1,0	0,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
2	-	24,0	<b>36,9</b>	3,9	0,3	0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
3	-	0,3	1,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

Statistik der mit definierter Geschwindigkeit und Wassertiefe überströmten Flächen im Rückdeichungsbereich  
 Variante 19a Q=2300m<sup>3</sup>/s



### 5.2.6 Variante 33 Gesamtgebiet, HQ<sub>3-5</sub> (2300m<sup>3</sup>/s)

Statistik der mit definierter Geschwindigkeit und Wassertiefe überströmten Flächen (Gesamtfläche: 12,3 km<sup>2</sup>):

Flächenanteil [%]	Fließgeschwindigkeit [m/s]															
	-	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	
0	2,5	4,2	2,4	0,9	0,1	0,1	0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	
1	2,9	7,7	<b>12,0</b>	6,4	2,5	0,4	0,1	0,1	0,1	-	-	-	-	-	-	
2	0,9	3,8	9,6	4,9	2,6	0,8	0,3	0,1	-	-	-	-	-	-	-	
3	0,1	0,1	0,7	0,9	0,9	0,8	0,7	0,6	0,2	0,2	-	-	-	-	-	
4	0,1	0,4	1,2	1,3	0,8	1,0	1,1	0,8	0,8	0,4	0,2	0,1	-	-	-	
5	-	-	0,3	0,3	0,1	0,2	0,5	0,9	0,7	0,8	0,9	0,6	0,3	0,1	-	
6	-	-	-	0,1	0,1	0,1	0,2	0,6	1,6	1,7	2,9	2,3	1,5	0,2	0,2	
7	-	-	-	-	-	-	-	0,2	0,5	0,9	0,7	0,7	0,7	0,1	-	
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,1	0,1	-	-	-	-	

### Statistik der mit definierter Geschwindigkeit und Wassertiefe überströmten Flächen Variante 33 Q=2300m<sup>3</sup>/s

