

## 4 Einleitung

Nach Abschluss des Projektes standen sämtliche Daten der Feldmessungen in aufbereiteter Form zur Verfügung. Diese konnten nun analysiert und auf Konsistenz geprüft werden. Nur Daten, die konsistent und plausibel waren, wurden zur weiteren Verwendung herangezogen. Daten, die mit geringen Fehlern systematischer oder zufälliger Art behaftet waren, wurden, wenn möglich, mit Hilfe anderer Daten rekonstruiert. Die abiotischen Daten wurden an das Teilprojekt Biologie weitergegeben, das diese für die statistische Analyse weiterverarbeitete. Parallel wurde an der Modellierung der Hydro- und Morphodynamik gearbeitet. Hierbei wurden Berechnungen für stationäre und instationäre Zustände durchgeführt. Weiterhin wurden zusammen mit dem Teilprojekt Biologie verschiedene Buhnenfelder innerhalb des numerischen Modells nach biologischen Aspekten modifiziert und für diese Varianten Berechnungen der Hydro- und Morphodynamik durchgeführt.

## 5 Zusammenfassung der Ergebnisse

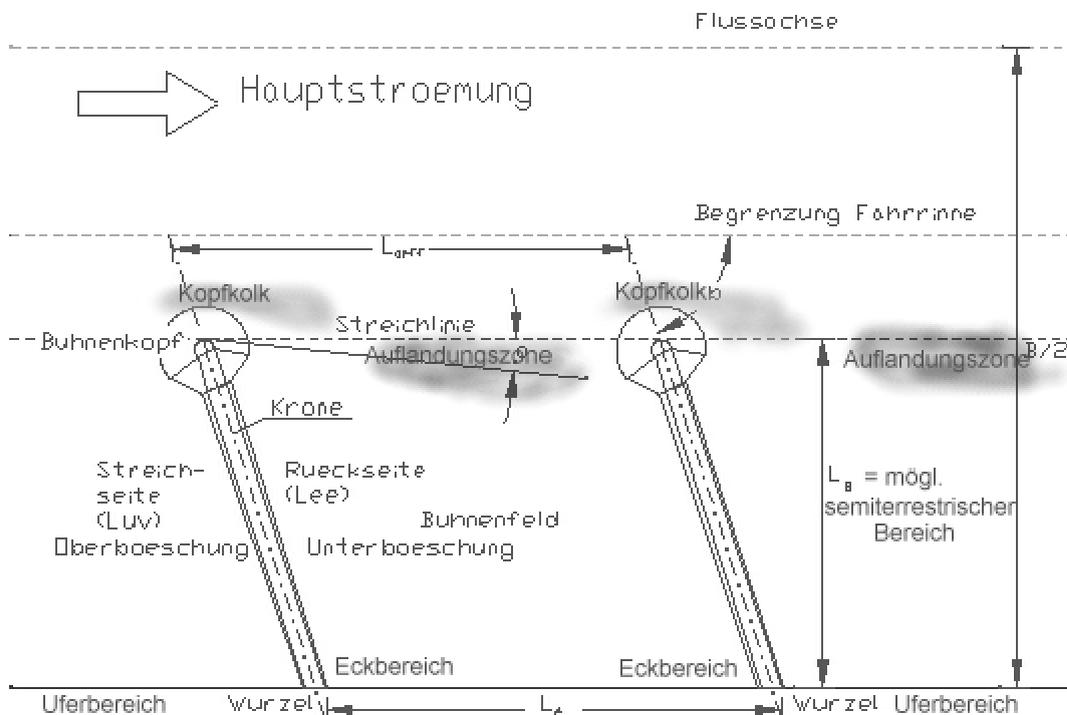


Abbildung 2: Schematische Übersicht über ein Buhnenfeld

Die abiotischen Daten konnten dazu verwendet werden, den Aufbau und die Eichung der numerischen Modelle zu verbessern. Dabei ergaben sich Probleme, da die im ersten Jahr aufgenommenen

Geschwindigkeiten nicht die notwendige Genauigkeit für die statistische Untersuchung lieferten. Im zweiten Jahr wurden deshalb mit einem stark verbesserten Verfahren die Strömungsgeschwindigkeiten in den Buhnenfeldern untersucht. Ebenfalls schwierig gestalteten sich teilweise die Messungen mit dem ADCP, da im Sommer die Wasserstände derart niedrig waren, dass zuverlässige Messungen ohnehin nur in den tiefsten Bereichen des Hauptgerinnes stattfinden konnten. Bei Wasserständen ab Mittelwasser findet Geschiebetransport statt, der ein Messen der Strömung mit dem ADCP durch die Bewegung der Referenzschicht, der normalerweise unbewegten Sohle, erschwert. Aus diesen Gründen wurden im zweiten Jahr punkthafte Felduntersuchungen mit besserem Gerät und dazu gewonnenem Know-how durchgeführt. Hierdurch konnten Lücken größtenteils wieder ausgeglichen werden.

Die für die numerische Modellierung erforderlichen Daten waren in einem unzureichendem Zustand. Es musste viel Zeit aufgewendet werden, um aus verschiedenen Quellen Daten zu einem für die Modellierung geeigneten Ganzen zusammenzuführen. Das Geländemodell, welches schließlich erarbeitet wurde kann daher nur unter Einschränkungen eingesetzt werden. Durch den Einfluss der immer noch andauernden Sanierungsarbeiten und der großen morphodynamischen Aktivität der mittleren Elbe kann sich die Topographie bereits nach kurzer Zeit ändern.

## 5.1 Erhebung der Felddaten

### **Topographie**

Im ersten Projektjahr wurden die Untersuchungsfelder und die Flächen in unmittelbarer Nachbarschaft mehrfach durch geodätische Aufnahmen vermessen kartiert. Dabei konnten die trockenen Bereiche zu Fuß, Flachwasserbereich mit der Wathose und Bereich darüber hinaus nicht mehr aufgenommen werden. Tiefe Bereiche (Streichlinie und Kolke) sind jedoch nur bei NW zu vermessen, was ebenfalls nicht immer gelang. Die Erhebung der Geländedaten diente der Erstellung eines genauen Geländemodells, auf dessen Grundlage alle Ergebnisse der Teilprojekte beispielsweise in Form eines GIS georeferenziert dargestellt werden können. An die Buhnenfelder sich anschließende Auegebiete wurden teilweise mit aufgenommen.

Im zweiten Projektjahr musste die Topographie der Untersuchungsgebiete erneut aufgenommen werden, da im Winter vor dem zweiten Abschnitt ein Hochwasser die bisherige Topographie an einigen Stellen in den Buhnenfeldern so stark veränderte, dass sich ein stellenweise völlig anderes Bild ergab

(siehe Abbildung 9: Gemessene Topographie von 1998 und 1999). Die Aufnahme der Topographie erlaubt im Hinblick auf die morphodynamische Umlagerung eine eher quantitative als qualitative Aussage, welche durch Berechnungen nachgefahren und bewertet werden kann.

Weiterhin wurden Geländedaten der WSA sowie digitalisierte Vorlanddaten (ADAM, GH Höxter) zur Erzeugung eines Geländemodells von Elbekilometer 388 bis 428 verwendet. Eine Befahrung der Flusssohle von Elbekilometer 417 bis 425 (WIRTZ, FU Berlin) lieferte höher aufgelöste Daten als die Linienpeildaten des WSA und wurden ebenfalls integriert.

### **Strömungsgeschwindigkeiten**

Die Strömungsgeschwindigkeiten wurden während der Feldprobenahmen auf zwei verschiedene Weisen gemessen, da sie für unterschiedliche Aspekte verwendet werden sollten. So wurden Einzelpunktmessungen an aquatischen Probestellen des Teilprojektes Biologie durchgeführt, welche der statistischen Korrelation dienen sollten. Weiterhin wurden Profilmessungen durchgeführt, welche für wasserbauliche Fragestellungen herangezogen werden sollten. Im ersten Projektjahr wurden die Einzelpunktmessungen mit einem magnetisch induktiv arbeitenden Strömungsmessgerät (MID) genommen. Im zweiten Projektjahr wurden die Strömungsgeschwindigkeiten mit einem akustisch arbeitenden Gerät (ADV) aufgenommen. Das ADV misst Geschwindigkeiten wesentlich akkurater als das MID (eindimensionale arbeitendes Gerät), da es alle drei Richtungsanteile der Strömung gleichzeitig misst. Von großer Bedeutung sind in diesem Zusammenhang die Geschwindigkeiten, die durch Wellenbewegung, vor allem Schiffswellen, verursacht werden und durch Messung nachgewiesen wurden. Diese Ergebnisse werden dargestellt und diskutiert, können jedoch nicht weiter vertieft werden, da dies innerhalb der Projektlaufzeit aus zeitlichen und finanziellen Gründen nicht möglich ist.

### **Gewässerphysikalische Parameter**

Die Messung abiotischer Faktoren zur Bestimmung der Gewässergüte wurde parallel zu der Einzelmessung der Strömungsgeschwindigkeiten durchgeführt. Im ersten Untersuchungsjahr wurde mit einer WTW Sonde innerhalb des Wasserkörpers gemessen. Es stellte sich allerdings heraus, dass die Werte für Sauerstoff, pH-Wert, Leitfähigkeit und Temperatur über die verschiedenen Buhnenfelder wenig bis überhaupt nicht schwanken. Dieses Messprinzip wurde im zweiten Jahr modifiziert, so dass nicht nur im Wasserkörper sondern auch direkt im vom Teilprojekt Biologie untersuchten Interstitial gemessen werden konnte. Hierzu wurde ein Bodenwasserentnahmeggerät (vergleiche Abbildung 24)

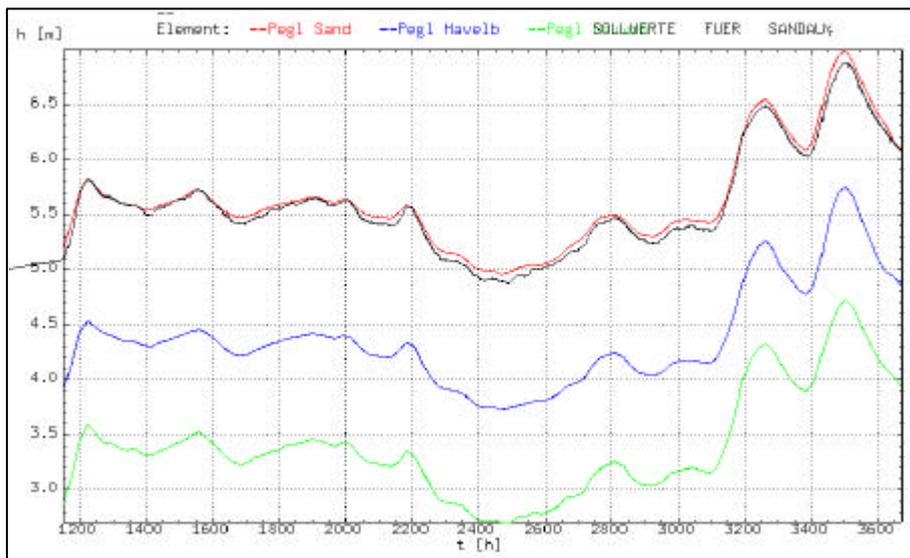
konstruiert, bei dem eine Pumprate durch Messung fest eingestellt und dann Bodenwasser aus einem abgegrenzten Volumen entnommen werden konnte. Aufgrund unterschiedlicher Durchlässigkeiten verschiedener Probenahmeorte ergaben sich jedoch mit dem entwickelten Probenahmegerät Schwierigkeiten da die Pumpleistung mit fallender Durchlässigkeit abnahm. Dies führte zu großen Ungenauigkeiten da die Probefront über die Entnahmemenge nicht mehr exakt bestimmbar waren. Ein weiteres Problem bestand darin, dass sich der Filter bei feinem Material zusetzen konnte. Lletztlich stellt sich heraus, dass die Entnahme des Porenwassers aus dem Interstitial mit den Möglichkeiten innerhalb des Projektes nicht durchzuführen war und so wurden zur Analyse die verfügbaren Werte der Gewässergütemessstellen vor und nach dem Untersuchungsgebiet herangezogen.

## **Sedimententnahmen**

Innerhalb des Projektes wurden Sedimentproben durch Stechrohrbeprobung und einem eigens konstruierten Entnahmegerät genommen. Dabei wurden die Sedimentproben normalerweise an denjenigen Stellen entnommen, an denen auch biologische Untersuchungen stattfanden. Dies erzeugte bereits eine große Anzahl zu untersuchender Proben. Kenngrößen wie Sieblinien, mittlerer Korndurchmesser und organischer Anteil wurden im Nachgang an die jeweiligen Untersuchungen bestimmt.

## **5.2 Numerische Modellierung**

Nach Aufbau der verfügbaren Daten zu einem digitalen Geländemodell wurden zunächst stationäre 2D numerische Rechenläufe durchgeführt. Anhand von Pegelaufzeichnungen, welche für das Untersuchungsgebiet in hoher Dichte (3 Pegel auf 10 Elbekilometer) verfügbar waren, konnten die vom Modell berechneten Wasserspiegellagen gut geeicht werden. Alle drei Pegel messen den Wasserstand dabei hochaufgelöst in 15 Minuten Intervallen. Weitere Eichinformationen lieferten die Querschnittsbefahrungen mit dem ADCP in Form von Geschwindigkeiten welche über die Tiefe integriert mit dem Modell verglichen wurden. Im folgenden stand die Berechnung der Geschwindigkeitsverteilungen in den Buhnenfeldern zu den jeweiligen Probenahmeterminen und Vergleich der gemessenen mit den berechneten Geschwindigkeiten im Vordergrund. Das Hochwasser vom November 1998 wurde instationär gerechnet, da während des Hochwassers ADCP Messungen durchgeführt wurden und mit den Berechnungen verglichen werden konnten.



Für das Jahr 1999 musste ein neues Geländemodell für die Buhnenfelder erstellt werden auf dessen Grundlage dann die neuen Strömungsgeschwindigkeiten in den Buhnenfeldern

berechnet werden

Abbildung 3: Vergleich der vorgegebenen Pegelganglinie des Pegels Sandau (schwarz) mit den berechneten (rot) im geeichten Modell

konnten. Die berechneten Geschwindigkeiten konnten ebenfalls mit den im Buhnenfeld aufgenommenen Geschwindigkeiten durch das ADV verglichen werden. Instationäre Berechnungen wurden vor allem für das Hochwasser im November '98 durchgeführt.

Die morphodynamischen Untersuchungen im Projektgebiet wurden anfangs für stationäre Verhältnisse für die Wasserstände NW ( $Q = 239 \text{ m}^3/\text{s}$ ), MW ( $Q = 547 \text{ m}^3/\text{s}$ ) und HW ( $Q = 1620$ ) durchgeführt. Ziel dieser Berechnungen war die Annäherung an die gemessenen Werte. Instationäre morphodynamische Berechnungen wurden in Form einer vereinfachten Ganglinie für das Hochwasserereignis vom November 1998 durchgeführt wobei erst mit einer einfachen Welle und dann mit der echten Pegelganglinie gerechnet wurde.

## 6 Ergebnisse

### 6.1 Kurzbeschreibung der Buhnenfelder / Untersuchungsgebiete

#### 6.1.1 Buhnenfeld bei Elbekilometer 418,4

Das Buhnenfeld bei Elbekilometer 418,4 ist Teil einer Reihe von Buhnenfeldern auf der rechten Elbseite, welche mit einem planmäßigen Durchbruch, etwa in der Mitte der Buhne saniert wurden. Die

Maßnahme ist interessant, da hier mehrere Buhnen als Pilotversuch in einer neuen Konfiguration eingebaut beziehungsweise saniert wurden. Die Auswirkungen auf den Sedimenthaushalt des Buhnenfeldes sind bedeutend, betrachtet man die beiden Situationen im Vergleich nebeneinander. Mit dem zentral angeordneten Durchbruch sollte vor allem das bessere Durchströmen der Buhnenfelder bei Wasserständen ab MNW ermöglicht werden. Die Durchbrüche sind von trapezartiger Form und sind durch Steinschüttung aus Metallhüttenschlacke (MHS) gegen die Strömung gesichert. Die Breite der Durchbrüche auf Höhe der Krone beträgt etwa 8 m. An der Sohle des Durchbruches beträgt seine Breite noch etwa 3 m. Die Tiefe des Einschnittes von Buhnenkrone zur Oberkante des Durchbruches beträgt etwa 1,5 m. Damit beträgt die Neigung etwa 1:1,5. Das rote Polygon stellt das Gebiet der topographischen Vermessungen dar. Dieses Gebiet stellt in späteren Kapiteln die Datengrundlage für statistische Betrachtungen der abiotischen Parameter (vergleiche 6.4).

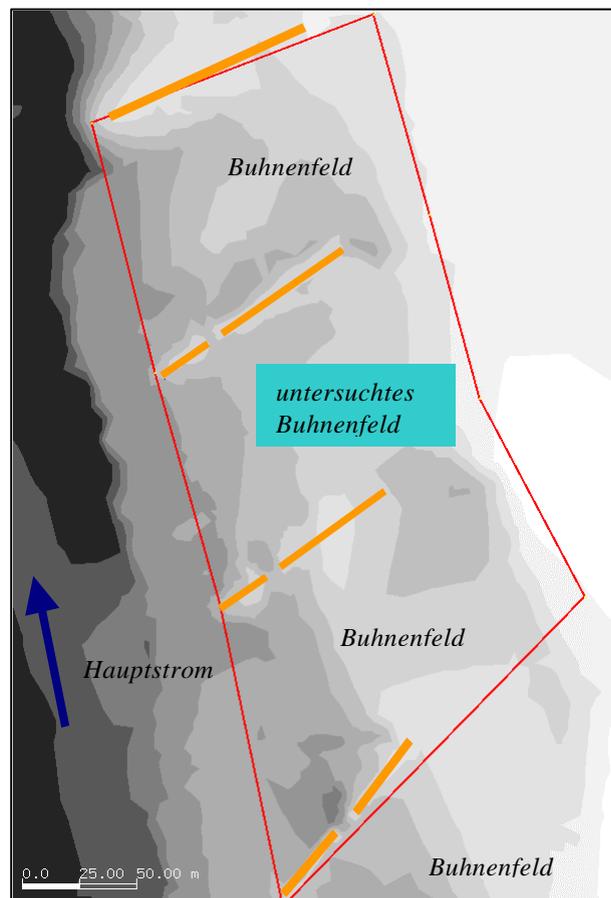
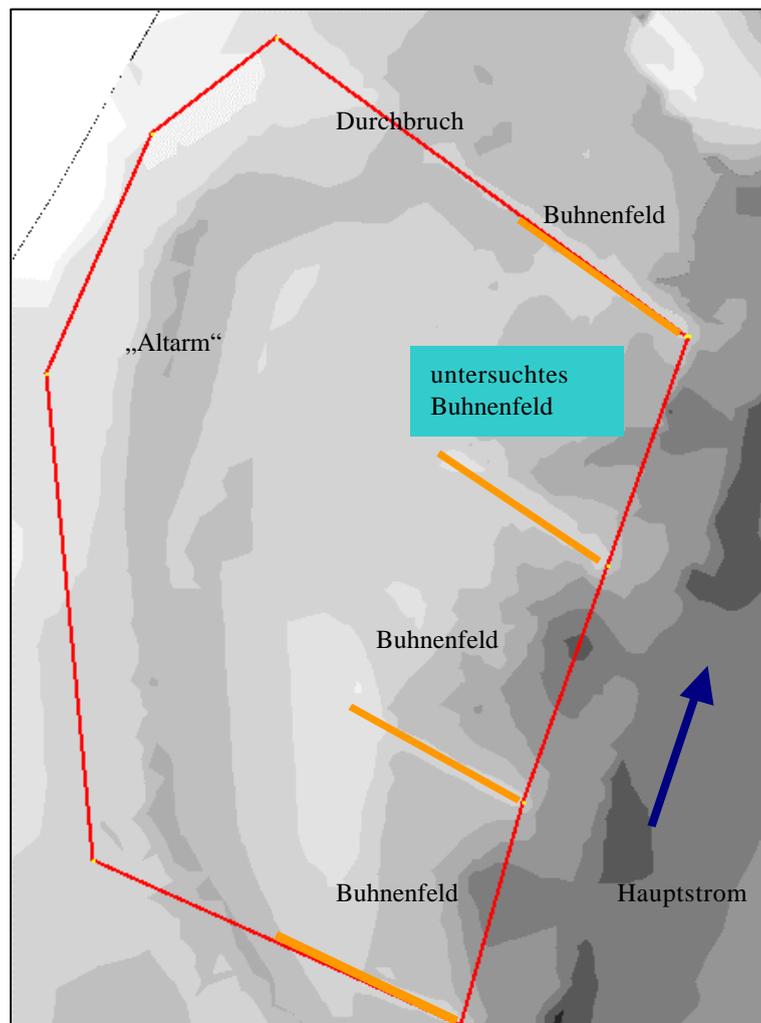


Abbildung 4: Buhnenfeldgruppe bei Elbekilometer 418,4; rechtes Elbufer

Der Einsatz von MHS ist bei ökologisch gesehen umstritten. Es wurden jedoch Untersuchungen an Deckwerken durchgeführt, die eine negative Beeinträchtigung der Uferbiozönose nicht nachweisen konnten [Literaturang. Verein Jordsand].

### 6.1.2 Buhnenfeld bei Elbekilometer 419,9

Das Buhnenfeld bei Elbekilometer 419,9 (Abbildung 5) liegt in Stromrichtung auf der linken Seite und befindet sich in Prallhanglage. Die Buhnen im Vorfeld der eigentlichen Untersuchungsfläche sind Ende der 90 er Jahre saniert worden, da sie im Wurzelbereich durchbrochen waren. Die Buhnen im Untersuchungsfeld weisen ebenfalls Durchbrüche im Wurzelbereich auf, die teilweise jedoch mit Sandsäcken repariert wurden. Im untersuchten Buhnenfeld (siehe Abbildung 5) wurde der Durchbruch im Wurzelbereich jedoch offengelassen. Das Buhnenfeld besitzt damit noch einen rückwärtigen Anschluss an eine Art Altarm, der bei Wasserspiegellagen etwa zwischen NW und MW bereits durchströmt ist.



### 6.1.3 Buhnenfeld bei Elbekilometer 423

Abbildung 5: Buhnenfeldgruppe bei Elbekilometer 419,9; linkes Elbufer

Die Buhnenfeldgruppe bei Elbekilometer 423,4 liegt in einer leichten Linkskurve, wodurch eine ähnliche Prallhanglage wie bei Buhnenfeld 419 gegeben ist. Das untersuchte Buhnenfeld befindet sich in der Mitte des Polygons (vgl. Abbildung 6). Das Buhnenfeld, welches vor dem eigentlich untersuchten Buhnenfeld liegt, ist das erste nach einem Deckwerksverbau (in Abbildung 6 nicht mehr dargestellt), der sich vor und nach der Einfahrt zur Schleuse Havelberg auf der rechten Uferseite befindet. Die Strömung im betrachteten Buhnenfeld kann als gut ausgeprägte Buhnenfeldströmung angesehen werden, da mindestens ein Feld als Vorlauf vor dem untersuchten Buhnenfeld vorhanden sein sollte. Dies ist im Zusammenhang mit repräsentativen Verweilzeiten des Wasserkörpers welches für biologische Fragestellungen relevant ist, von Bedeutung.

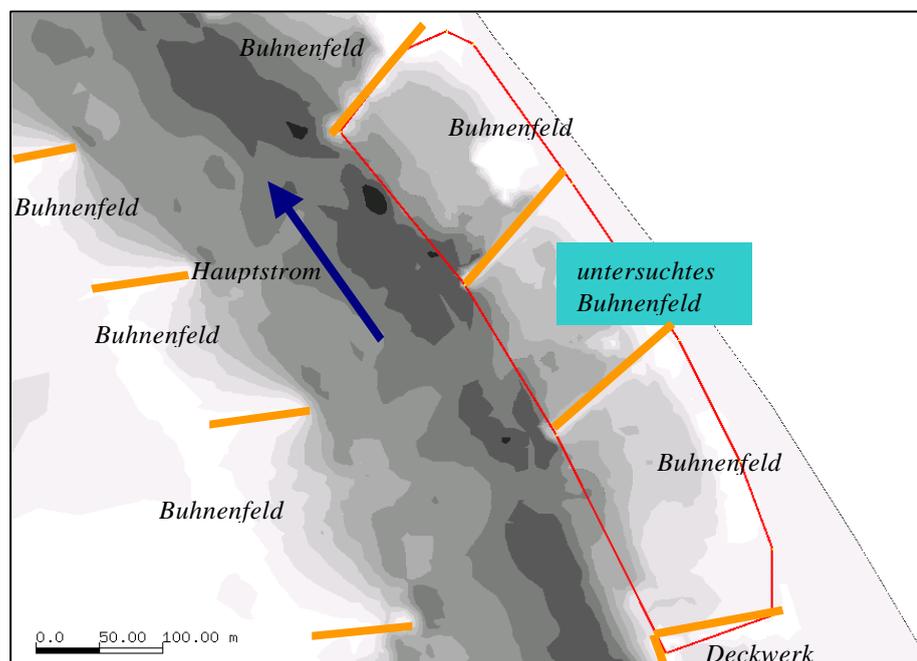


Abbildung 6: Buhnenfeldgruppe bei Elbekilometer 423,4; rechtes Elbufer

Die Sanierung der Buhnen wurde mit Hilfe eines Schwimmbaggers durchgeführt. Saniert wird bei Niedrigwasserlagen wobei auf der Leeseite der beschädigten Buhne eine Fahrrinne für den Schwimmbagger ausgehoben, und dann mit der Schüttung und Profilierung des Buhnenkörpers begonnen wird. Die Art der Bauausführung ist im Sinne der Untersuchung erwähnenswert, da hierdurch auf der Leeseite der Buhne eine besondere Geometrie entsteht, welche durch alleinigen Einfluss von Strömungswirkung in dieser Form nicht entstehen kann. Hierbei fällt bei der Betrachtung der aufgenommenen Tiefen eine Rinne auf der Leeseite der Buhne und gelegentlich ein Schuttkegel aus abgetragenem Material im Leebereich der Buhnenwurzel auf. Dies stellt einen Eingriff in das Buhnenfeld dar, welches Auswirkungen auf Hydro- und Morphodynamik hat.

### 6.1.4 Untersuchungsgebiet (Buhnenfeld) bei Elbekilometer 425

Dieses Untersuchungsgebiet umfasst eine ehemalige Buhnenfeldgruppe auf der rechten Seite der Elbe in leichter Gleithanglage welche aber vollständig versandet sind. Die Buhnenfelder vor diesem Untersuchungsgebiet sowie die Buhnenfelder auf der gegenüberliegenden Uferseite sind in den 90 er Jahren saniert worden. Die ehemalige Buhnenfeldgruppe fällt durch ein sehr breites Ufer mit geringen Geländegradien und grobes (kiesiges) Sediment auf.

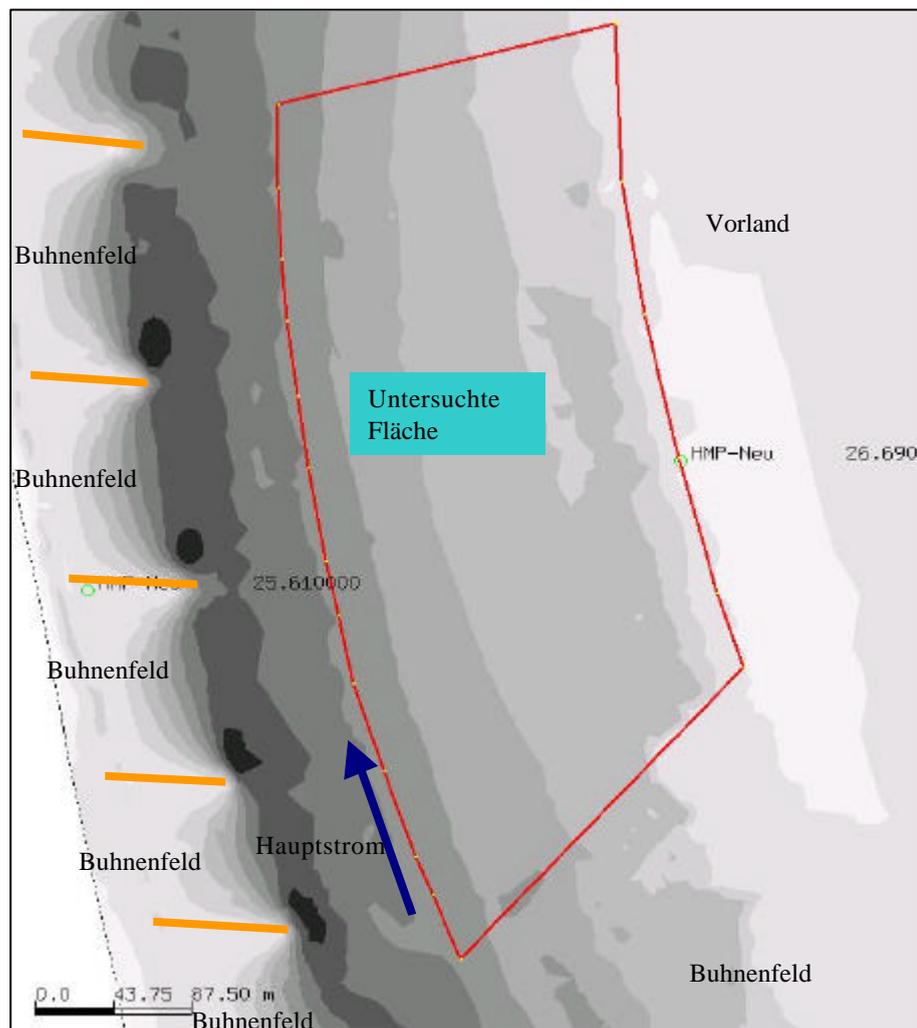


Abbildung 7: Buhnenfeldgruppe bei Elbekilometer 425,2; rechtes Elbufer

### 6.1.5 Untersuchungsgebiet (Buhnenfeld) bei Elbekilometer 427

Dieses Untersuchungsgebiet ähnelt dem Untersuchungsgebiet von Elbekilometer 425. Es befindet sich in Gleithanglage (nach einer 90° Linkskrümmung der Elbe) und ist nicht mit Buhnen ausgebaut. Die Buhnen im Vorfeld der untersuchten Fläche sind noch in ursprünglichem (teilweise zerstörtem) Zustand. Auf der gegenüberliegenden Uferseite des Untersuchungsfeldes befindet sich ein Deckwerksverbau. Der Uferstreifen dieses Untersuchungsgebietes ist bei Wasserspiegellagen zwischen MW und NW etwa hundert Meter breit und damit etwas schmaler als der Uferstreifen bei Untersuchungsfeld 425. Das Ausgangssediment lässt sich als sehr homogen mit steiler Siebkurve im Bereich von Mittelsand charakterisieren.

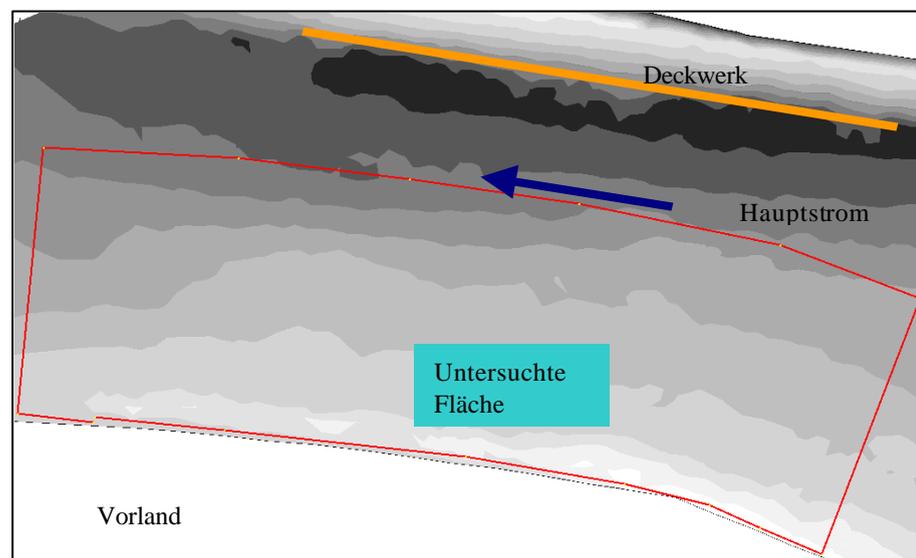


Abbildung 8: Buhnenfeldgruppe bei Elbekilometer 427; rechtes Elbufer

## 6.2 Feldmessungen

### 6.2.1 Topographie durch geodätische Vermessung der Buhnenfelder

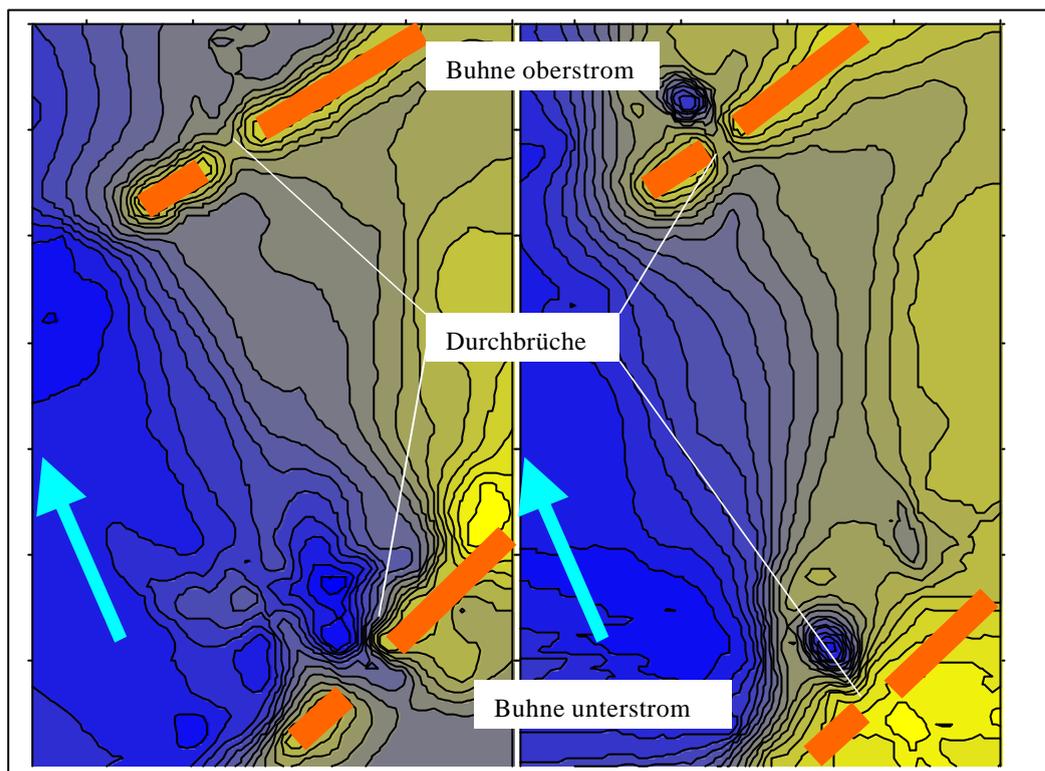


Abbildung 9: Gemessene Topographie von 1998 und 1999 nach einem Hochwasser, Buhnen markiert

Die Geländepunkte welche die Topographie der Untersuchungsfelder detailliert wiedergeben wurden manuell mit einem elektronischen Tachymeter eingemessen und mit Hilfe von WSA - Festpunkten in Gauss - Krüger Koordinaten umgerechnet. Dieses Koordinatensystem erlaubt die Anbindung der bestehenden Datenstruktur an GIS Datenbanken sowie den Austausch von relevanten Informationen auf projektübergreifender Basis. Weiterhin besteht die Möglichkeit, durch vergleichende Geländeaufnahmen topographische Veränderungen zu identifizieren und zur Validierungen morphodynamischer Berechnungen einzusetzen.

Abbildung 9 zeigt die vergleichende Darstellung zweier Buhnenfelder bei Stromkilometer 418 (Sandau) vor (links) und nach (rechts) dem Hochwasser vom November 1998. Die Buhnen sind inklinant, also gegen die Fließrichtung geneigt.

Die Umlagerungen sind überhöht dargestellt und lassen die Veränderungen gut erkennen. Besonders große Veränderungen existieren auf der Leeseite der ober- und unterstromigen Buhnen, da hier nach dem Hochwasser beträchtliche Mengen Geschiebe abgelagert worden sind. Der Kolk an der unteren

Buhne hat sich nach dem Hochwasser noch stärker ausgebildet als im Vorjahr. Gleiches gilt für die obere Buhne in der der Kolk bereits teilweise zusedimentiert war. Auffällig ist auch die Ablagerung von Geschiebe rund um die beiden Durchbruchkolke, die zu abgegrenzten Kompartimenten bei niedrigeren Wasserständen ohne Durchströmung führen. Innerhalb des Buhnenfeldes ist eine Zunahme der Geschiebemenge im Vergleich zur Vorjahrestopographie deutlich. Die Nettodifferenz beträgt 2617 m<sup>3</sup>. Es wurde somit in diesem Buhnenfeld mehr Geschiebe abgelagert als erodiert. Die erneute Aufnahme der Topographie im Untersuchungsjahr 1999 erfolgte in Fortführung der Vermessung aus dem ersten Projektjahr.

Weiterhin wurden Echolotpeildaten der Elbsohle des Elbe-Ökologieprojektes ELBFISCHE an das Projekt übergeben. Es wurde zunächst geprüft, inwieweit sich die bessere Topographie auf die Berechnung der Geschwindigkeiten auswirkt. Im Gegenzug werden die berechneten Geschwindigkeiten dem Elbfische - Projekt zur Verfügung gestellt.

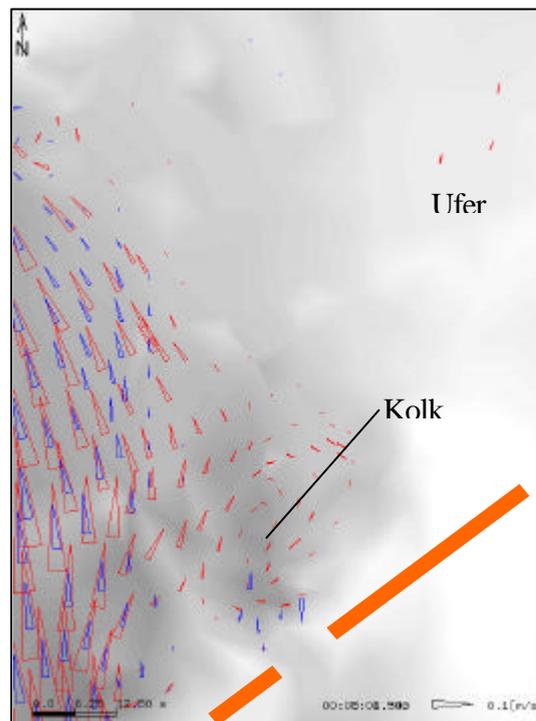


Abbildung 10: Änderung der Strömungsrichtung und Betrag; Rote Vektoren: 1998; Blaue Vektoren 1999, Buhnenfeld bei Elbekilometer(Ausschnitt: Lee, oberstrom) 418,4, Buhne markiert

## 6.2.2 Sedimentuntersuchungen

Die Sedimentuntersuchungen wurden in Anlehnung an die DIN 18123 durchgeführt. Je nach geschätztem Größtkorn sollte, je nach Zusammensetzung, die Probenmenge variieren und sich zwischen 150 g und 2 kg bewegen. Die entnommenen Proben wurden mit wenigen Ausnahmen in

Probebehältnissen der Größe 1 und 2 Liter entnommen. Das Sediment wurde mit einer hierfür konstruierten Schnecke entnommen, was grundsätzlich zu im geologisch Sinne gestörten Verhältnissen im Probegut (durch die Drehbewegung der Schnecke) führte. Somit war es nicht möglich eine Schichtung festzustellen, die weitere Rückschlüsse auf die Sedimentationsgeschichte zugelassen hätte. Bei der hohen Anzahl der Proben war eine aufwendige Probeentnahme nicht möglich. Stellenweise konnten Schichtungen in geringer Mächtigkeit (~ 1 cm und weniger) durch Beobachtung erkannt werden. Die Beprobungstiefe der Schnecke von 15 - 20 cm entspricht etwa der Eindringtiefe des „Airliftsamplers“ den das Teilprojekt Biologie für die Aufnahme aquatischer Organismen nutzte und liefert somit einen vergleichbaren Sedimenthorizont.

Die weitere Behandlung des Probenahmegutes bestand in der Trocknung bei 105 °C und anschließender Trockensiebung da die Gewichtsanteile unterhalb 0,063 mm (Schluffgrenze) in der Regel unter einem Promille lagen. Für Proben mit ersichtlich höherem Feinkornanteil wurde eine Naßsiebung durchgeführt. Aus den gewonnenen Siebrückständen lassen sich die Sieblinie sowie einige der üblichen Kennzahlen zur Beschreibung von mineralischen Lockergesteinen wie mittlerer Korndurchmesser nach Meyer Peter oder nach Führböter, Ungleichmäßigkeitszahl, Sortierungskoeffizient etc. bilden. Die Kennzahlen konnten dem Teilprojekt zur Verfügung gestellt werden.

Im Nachfolgenden werden die Ergebnisse der Sedimentuntersuchungen dargestellt und diskutiert. Dabei wird jedes Probegebiet mit den entnommenen Proben für das erste und danach für das zweite Jahr erläutert. Aussagen, welche den gesamten Charakter des Buhnenfeldes betreffen, sind aufgrund der räumlichen Verteilung der Probestellen nach biologischen (nicht flächendeckenden) Kriterien schwer möglich. Da auf die große Fläche gesehen, nur wenige Proben im Buhnenfeldes genommen wurden, erscheint eine flächige Aussage vor allem durch die meist heterogene Dosition von Sediment fragwürdig. Dies war jedoch auch nicht Ziel des Projektes. Je homogener aber die Gesamtlage des Untersuchungsfeldes ist, umso eher lassen sich auch allgemeine Aussagen treffen. Durch die Einbeziehung von Berechnungsergebnissen wird eine integrale Aussage zur Sedimentverteilung in den Buhnenfelder besser möglich sein, was spätere Kapitel erkennen lassen.

In Abbildung 12 ist gut die unterschiedliche Sedimentologie der einzelnen Untersuchungsflächen zu erkennen. Die dargestellten drei (aus Gründen der Übersichtlichkeit) Siebliniengruppen stehen jeweils für Bodenproben aus einem Untersuchungsgebiet. Die Sieblinien fallen untereinander durch gleiche Steigung auf, was auf eine gute Sortierung innerhalb des Untersuchungsgebietes schließen lässt. Gut ist die steile Sieblinie von Untersuchungsgebiet bei Elbekilometer 427 zu erkennen, welches sehr gleichverteiltes Sediment mit fast vollständigem Anteil einer Korngröße bedeutet.

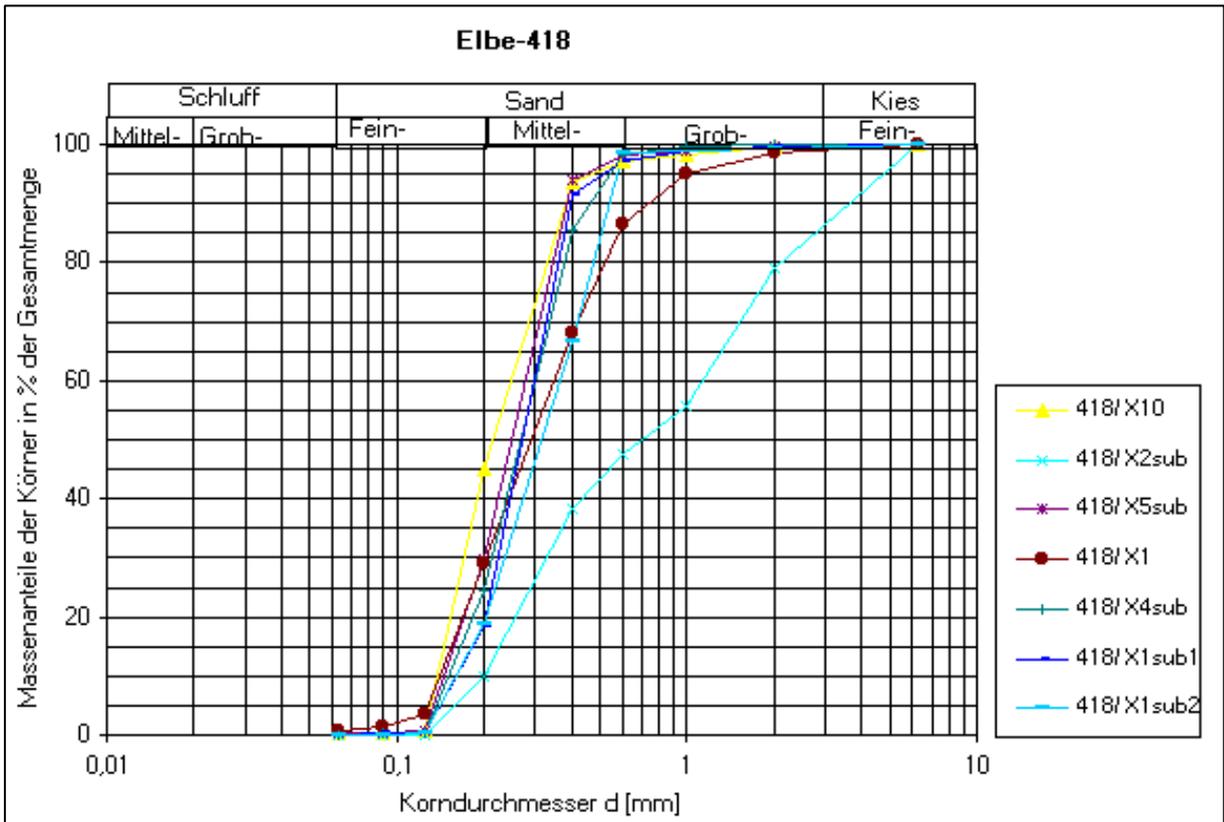


Abbildung 11: Auswahl einiger durch Feldbeprobung ermittelten Siebkurven bei Elbekilometer 418,4 von 1998

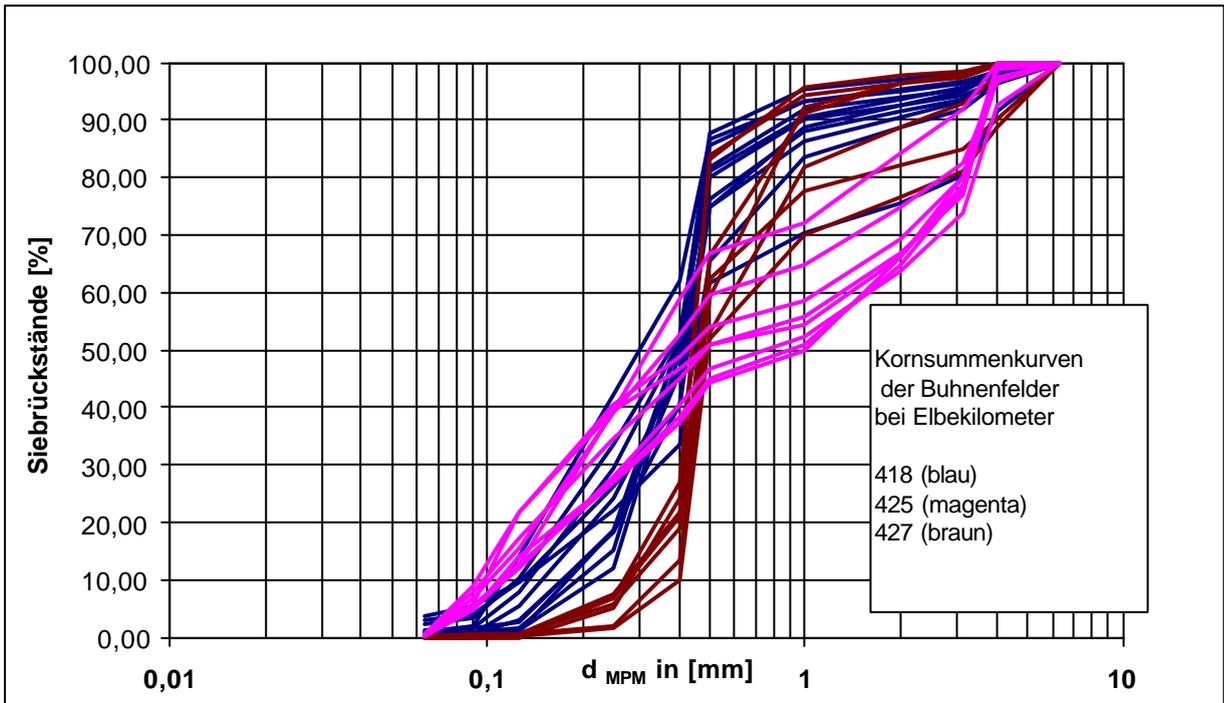
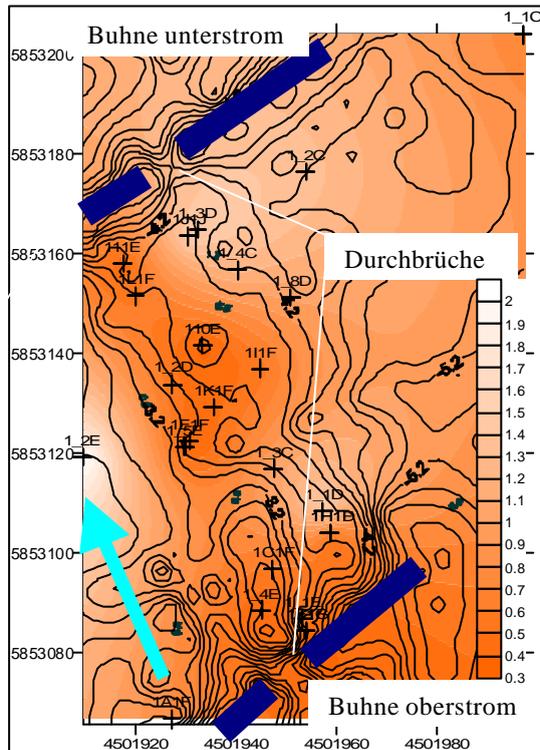


Abbildung 12: Auswahl einiger durch Feldbeprobung ermittelten Siebkurven bei Elbekilometer 418,4 von 1999

Abbildung 11 gibt beispielhaft die Verteilung einiger Sedimententnahmen aus dem Untersuchungsfeld bei Elbekilometer 418 wieder. Die Sieblinien der dargestellten Proben liegen im Mittel- bis Grobsandigen Bereich. Schluffige Anteile sind in den dargestellten Proben kaum vorhanden, jedoch gibt

es durchaus auch Proben mit entsprechenden Anteilen auch wenn diese in der Regel äußerst gering und unter 5 % ausfallen. Der optische Eindruck bei der Probenahme vor Ort täuschte oft als nur eine geringmächtige, oberflächliche Schlammauflage (< 1 cm) den ersten Eindruck einer feineren Probe vermittelt.

Durch die relativ geringe flächenhafte Verteilung der Sedimentproben ist eine Interpolation der



Sedimente mit großen Unsicherheiten behaftet. Auch wenn dies auf den ersten Blick (vgl. Abbildung 13) plausibel erscheint (über die Buhnen wurde hinweg interpoliert !) sollten flächige Aussagen auf der Grundlage nur weniger Proben nicht gemacht werden, da die Strömungsmuster und damit auch die Verteilung der Sedimente normalerweise heterogen ist. Ein Vergleich der gemessenen Proben mit Ergebnissen der morphodynamischen Berechnungen wird an späterer Stelle diskutiert. Unter den genannten Einschränkungen kann man allerdings trotzdem Bereiche erkennen, in denen feines Material wie beispielsweise im Leebereich

Abbildung 13: interpolierte Verteilung aus Sedimentbeprobung bei Elbekilometer 418,4

der oberstromseitigen Buhne und im Bereich der Streichlinie auftritt. Eine Sedimentprobe konnte außerhalb der Streichlinie genommen werden wobei die Korndurchmesser hier wieder größer (heller) werden. Eine weitere Vergrößerung der Substrate ist durch Messung vor dem unterstromseitigen Durchbruch festgestellt worden.

### 6.2.2.1 Sedimentologische Untersuchungen im Jahr 1998

#### ***Buhnenfeld bei Elbekilometer 418,4***

Die sedimentologische Situation im ersten Untersuchungsfeld bei Elbekilometer 418,4 zeigt Abbildung 14 in Form eines Tortendiagrammes aller entnommenen Proben über den dazugehörigen

Korngrößenklassen. In der kleineren Säulengrafik in der rechten unteren Ecke der Abbildung ist die gleiche Information wie in der Tortengrafik in detaillierterer Abstufung dargestellt. In der Säulengrafik erkennt man die genauere Verteilung der einzelnen mittleren Korndurchmesser.

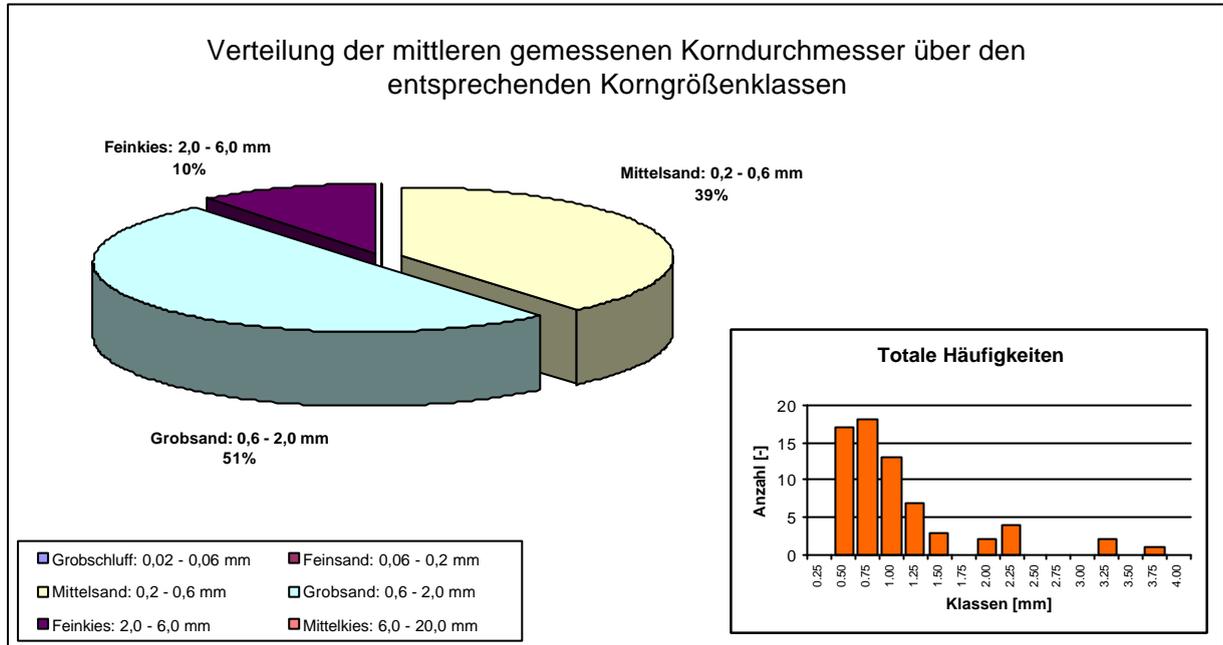


Abbildung 14: Auswertung der Siebanalyse von Proben bei Elbekilometer 418,4

Es fällt auf, dass der  $d_m$ -Wert zum größten Teil bei 90 % der Proben im sandigen Bereich liegen. Eine Unterscheidung des Sohlmaterials innerhalb dieses Bereiches besteht nur noch in der Aufteilung in Fein-, Mittel- und Grobsand. Der dominierende Anteil der Untersuchungen liegt innerhalb des grobsandigen Bereiches. Das Buhnenfeld liegt in einem relativ geraden Flussabschnitt (vgl. Abbildung 1: Einordnung der Untersuchungsgebiete in der geographischen Übersicht

), wobei die Fahrrinne sich auf die dem Untersuchungsgebiet gegenüberliegende Uferseite verlegt, was zu einer schwachen Nährufersituation und für geringere Strömungsgeschwindigkeiten im Bereich der Scherschicht spricht. Dies ist auch die Ursache für die nur schwach ausgebildete Buhnenfeldwalze in diesem Buhnenfeld. Durch die Durchbrüche in den Buhnen tritt bei Lagen etwas unterhalb Mittelwasser verstärkt Durchströmung (auch durch die Durchbrüche) ein was zu einer örtlichen Anhebung der Strömungsgeschwindigkeit, vor allem bei Hochwasser, führt. Dies ist eine mögliche Erklärung für die grobsandigen und feinkiesigen Anteile innerhalb des Buhnenfeldes.

### ***Buhnenfeld bei Elbekilometer 419,9***

Die Sedimente in diesem Buhnenfeld stellen sich nach der Untersuchung, trotz der exponierten Lage, als relativ fein mit zum Teil konsolidierten Muddeschichten in den Leebereichen der stromaufwärtigen Buhnenwurzel dar. Auch insgesamt ist dieses Buhnenfeld das, mit den geringsten Korndurchmessern (vergleiche Abbildung 71, S. 95). Die Sohle des Buhnenfeldes fällt vor der Streichlinie stark ab, sodass die Wassertiefe im Bereich der Scherschicht eine Probenentnahme hier unmöglich machte.

Die Untersuchung der Sedimente ergab integral gesehen ein ähnliches Bild wie das zuvor dargestellte Buhnenfeld mit der Mehrzahl der Proben im sandigen Bereich. Lediglich eine Verschiebung zu feineren Fraktionen ist zu beobachten, welches zunächst auf geringere Strömungskraft, trotz der schwachen Prallhanglage, in diesem Buhnenfeld schließen lässt. Erwähnenswert im Zusammenhang mit den vorgefundenen feinen Sedimenten ist eine große Weide (*Salix Alba*) im Wurzelbereich der oberstromigen Buhne, welche sich in der Fortsetzung der Buhnenwurzel der stromauf gelegenen Buhne befindet. Dies bewirkt bei Hochwassersituationen einen gut ausgeprägten Strömungsschatten mit Effekt auf Strömung und Sedimentation vor allem im Leebereich der nahen Buhnenfeldecke mit konsolidierten feinen Mudden als dominierende Sedimente. Die Sedimente werden hinter dem eigentlichen Buhnenfeld in Richtung Altarm feiner mit mittleren Korndurchmessern unter 0,1 mm.

### ***Buhnenfeld bei Elbekilometer 423,4***

Das Buhnenfeld bei Elbekilometer 423,4 ist innerhalb der untersuchten Buhnenfelder das Untersuchungsfeld, welches einem regulären Buhnenfeld am nächsten kommt. Die Buhnen sind saniert und besitzen ihre planmäßige hydraulische Wirksamkeit. Lediglich die Tatsache, dass sich im Vorlauf des Buhnenfeldes ein Buhnenfeld befindet, welches in direktem Kontakt mit dem Deckwerk der Schleuseneinfahrt Havelberg steht, könnte noch gegen einen typischen Charakter dieses Buhnenfeldes sprechen.

Das Buhnenfeld erscheint bei Lagen unterhalb Mittelwasser als hauptsächlich sandig bis kiesig, wobei sich in den Eckbereichen auch Muddeanteile ansammeln, die Mächtigkeiten im Dezimeterbereich erreichen können und eine Beprobung teilweise schwierig gestalteten. Diese Muddeschichten sind aber teilweise von Sandschichten durchzogen, was auf den erhöhten Transport von Sand bei Hochwasser auch in den Eckbereichen hindeutet.

Dieses Buhnenfeld ist im Vergleich zu den beiden übrigen Buhnenfeldern deutlich gröber, wobei hier der feinkiesige Anteil im Rahmen der Probenahme nun auch eine erwähnenswerte Rolle spielt. Die untersuchten Sedimente wurden zum Teil in unmittelbarer Nachbarschaft eines deponierten Baggerguthaufens (welcher als solcher erst im Laufe der Probenahme erkannt wurde) gewonnen, sodass hier mögliche untypische Bedingungen vorlagen, da der feinkiesige Anteil der Buhnenfeldsedimente dadurch beeinflusst werden könnte. Auch dieses Buhnenfeld weist einen hohen Grobsandanteil auf, ähnlich dem Buhnenfeld bei Elbekilometer 418,4.

### ***Untersuchungsfeld bei Elbekilometer 425,2***

Das Untersuchungsfeld bei Elbekilometer 425,2 ist nicht mehr als Buhnenfeld zu bezeichnen, da die Buhnen hier vollständig versandet sind. Die Fläche stellt sich optisch als sehr breites Kiesufer in leichter Gleithanglage dar und weist dafür stellenweise sehr grobe Sedimente auf. Bei Mittelwasserlagen ist die Fläche bereits vollständig überflutet, wobei durch die Abwesenheit der Buhnen sich ein homogen ausgerichtetes Strömungsfeld mit wesentlich höheren Strömungsgeschwindigkeiten einstellt als in den zuvor untersuchten Buhnenfeldern. Durch die geringen Geländegradienten fällt die Fläche bei sinkendem Wasserstand sehr plötzlich über große Teile trocken.

Die Sedimentuntersuchungen ergaben die schon bei der Probenahme optisch erkennbaren erwarteten gröberen Sedimente. Lediglich zum Ufer hin wechselte das Sediment seinen kiesigen Charakter zum mehr sandigen Bereich. Die Proben zur Fahrrinne hin, welche sich aufgrund der besonderen Lage etwa in der Mitte zwischen den Mittelwasserborden befanden, wechselten von kiesigen wieder zu sandigen Proben.

### ***Untersuchungsfeld bei Elbekilometer 427***

Dieses Untersuchungsfeld liegt direkt nach einer 90° Kurve auf der Gleithangseite. Auch bei diesem Probenahmegebiet fehlen die Buhnen, weil sie zerstört beziehungsweise zugesandet sind. Die Verteilung der mittleren Korndurchmesser ist typisch für die Gleithanglage mit steiler Sieblinie, welches auf das Vorhandensein von quasi nur einer Fraktion spricht. Die wenigen gröberen Fraktionen im feinkiesigen Bereich wurden hauptsächlich in den flussnahen Bereichen vorgefunden, wohingegen das Ufer unterhalb der Mittelwasserborde (auch ein beliebter Badestrand) als sehr enggestuft bezeichnet

werden kann.

### 6.2.2.2 Sedimentologische Untersuchungen im Jahr 1999

Am Ende des ersten Untersuchungsjahres ereignete sich an der Elbe ein Hochwasserereignis vom Ausmaß eines HW<sub>6</sub> welches die Sedimente und auch Topographien teilweise stark beeinflusste. Die Auswirkungen auf die Kornverteilungen vor allem im Vergleich zum Vorjahr sind unter Umständen noch stärker als sonst, da sich 1998 als sehr trockenes Jahr mit äußerst niedrigen Wasserständen und entsprechend geringen Geschwindigkeiten in den Buhnenfeldern herausstellte.

#### ***Buhnenfeld bei Elbekilometer 418,4***

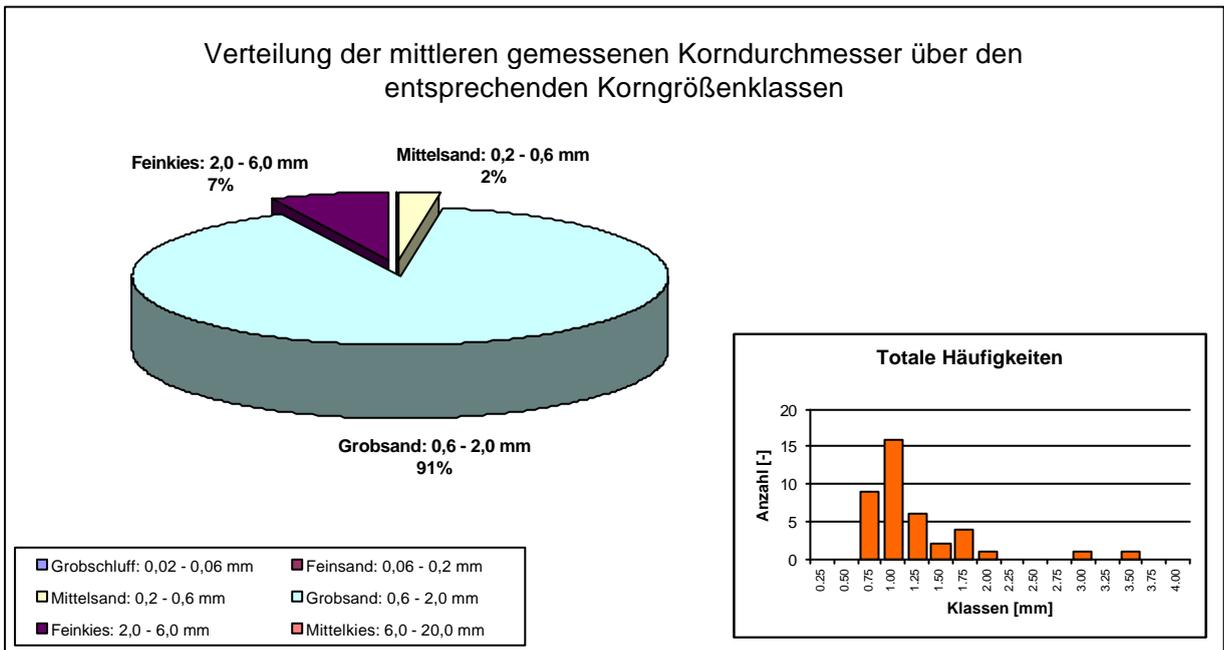


Abbildung 15: Auswertung der Siebanalyse von Proben bei Elbekilometer 418,4

Das Buhnenfeld bei Elbekilometer 418,4 zeigt im Folgejahr nicht nur große Veränderungen der Topographie, sondern auch entsprechende Verschiebungen der Kornzusammensetzung zu größeren Fraktionen im sandigen Bereich. Interessant ist, dass der Feinkiesanteil um drei Prozent zurückgegangen ist, sich jedoch annähernd kein Mittelsand mehr im Untersuchungsfeld befindet.

### ***Buhnenfeld bei Elbekilometer 419,9***

Interessant ist auch die Veränderung des Buhnenfeldes bei Elbekilometer 419,9, da sich hier ein umgekehrter Trend zu feineren Fraktionen hin entwickelt hat. Dies ist möglicherweise eine Folge der gewählten Probestellen, möglicherweise aber auch ein Effekt infolge der höheren Wasserstände. Zum ersten Mal tritt Feinsand als Äquivalent des mittleren Korndurchmessers in Erscheinung. Proben welche in den Eckbereichen des Buhnenfeldes entnommen wurden, enthalten außerdem auch einen hohen Schluffanteil ( $< 0,063$  mm). Die Gründe für eine Verschiebung der Kornfraktionen zu feinerem Material hin liegen aber möglicherweise auch am Strömungsschatten eines großen Weidenbaumes mit einem Stammdurchmesser von mehr als einem Meter und tief herabhängendem Geäst, vor allem bei Hochwasser. Andererseits kommt als Quelle feiner Sedimente auch das bei Hochwasser überschwemmten Hinterland mit dem quasi Altarmgerinne in Frage. Dieser Altarm durchschneidet Bodenschichten mit hohem Auelehmanteil der erodiert und an geeigneter Stelle wieder abgelagert werden könnte. Hier kann die Analyse der Strömungsgeschwindigkeiten im numerischen Modell möglicherweise weiteren Aufschluss bringen. Möglicherweise ist die Anzahl der entnommenen Proben von 15 im Jahr 1999 auch nicht ausreichend um eine allgemeine Aussage im Vergleich zum Vorjahr zu treffen.

### ***Buhnenfeld bei Elbekilometer 423,4***

In Abbildung 76 ist die Veränderung der Kornzusammensetzung wieder deutlich als Verschiebung zu größeren Fraktionen zu erkennen. Der Anteil an Mittelsand als geringstem Anteil ist im Vergleich zur Situation des Jahres 1998 konstant geblieben. Lediglich der Anteil an Grobsand ist zurückgegangen und der Anteil von Feinkies ist um 17 % auf 44 % angestiegen.

### ***Untersuchungsfeld bei Elbekilometer 425,2***

Am deutlichsten sind die Veränderungen am Untersuchungsfeld bei Elbekilometer 425,2 zu erkennen. Hier hat sich die Fraktion vollständig in den kiesigen Bereich hineinverlagert. Neben dem sehr hohen Anteil von Feinkies sind auch 3 % der Proben vollständig im mittelkiesigen Bereich. Bedenkt man, dass sich die mittleren Korndurchmesser aus der gesamten Sieblinie errechnen, dann können die Größtkörner einer Siebprobe noch deutlich über ihrem nominellen Bereich liegen, das heißt bis in den Grobkies hinein. Dies spielt zwar für Betrachtungen den Geschiebetrieb betreffend keine Rolle, da hier ohnehin mit einem mittleren Korndurchmesser gerechnet wird, für biologische Prozesse aber ist es durchaus nicht gleichgültig, in welchem Bereich das Größtkorn liegt.

### ***Untersuchungsfeld bei Elbekilometer 427***

Das Probenahmegebiet bei Elbekilometer 427 besitzt wie bereits beschrieben keine Buhnen und ist im Jahr 1998 durch eine sehr steile Sieblinie im vorwiegend grobsandigen Bereich aufgefallen. Durch das Hochwasser hat sich allerdings auch hier eine leicht veränderte Situation eingestellt. So sind die Anteile des Grobsandes konstant geblieben, während sich der Mittelsandanteil verringert hat und in gleichem Maße der Feinkiesanteil gestiegen ist.

## **6.2.3 Organischer Anteil**

Der organische Anteil stellt ein Maß für den Gehalt organischer Substanz einer Bodenprobe dar (zum Beispiel abgestorbene / lebendige pflanzliche und tierische Bestandteile). Diese muss zunächst durch Entzug des freien Haftwassers bei 105 °C getrocknet werden und anschließend nach DIN 18128 in einem Muffelofen bei 550°C bis zur Massenkonzanz geglüht werden. Die Versuche, die ausgewertet worden sind, zeigen eine deutliche Tendenz zu sehr niedrigen organischen Anteilen von weniger als 1 %, jedoch treten vereinzelt wiederum auch sehr hohe Anteile an organischen Substanzen von mehr als 10 % bis 40 % auf. Der Median liegt bei 0,83 %, welches nach DIN 1054 einen nicht bis schwach organischen Boden bedeutet. Die hohen Werte sind vornehmlich Proben aus Bereichen mit organischen Mudden, welche beim Beprobieren nicht selten gasförmige Schwefelwasserstoffverbindungen freisetzen. Die Ablagerung von Mudden in Buhnenfeldern scheint

indes typisch zu sein, denn es wurden an zahlreichen Standorten, vornehmlich in den strömungsberuhigten Bereichen, auch konsolidierte Mudden vorgefunden, die eine Probenentnahme zum Teil schwierig gestalteten. Unter dem Aspekt der Kontaminierung der vornehmlich feinen Bestandteile u. a. mit Schwermetallen stellt sich hier möglicherweise ein Kriterium an die ökologische Bauart von Buhnenfeldern eben diese Ablagerungen auch konstruktiv beziehungsweise durch Strömungsdruck zu reduzieren.

#### 6.2.3.1 Untersuchung des organischen Anteils im Jahr 1998

In Abbildung 16 wurden alle Proben eines Untersuchungsgebietes gemittelt und daraus ein mittlerer Wert gebildet. Die organischen Anteile sind insgesamt, wie schon erwähnt, sehr gering, was in einem Sandstrom nicht unerwartet ist. Trotzdem gibt es Unterschiede in den Buhnenfeldern, die ähnlich wie bei der Verteilung der Sedimente in den Untersuchungsgebieten für bestimmte Besonderheiten stehen. So scheint der organische Anteil mit der Schlufffraktion in Verbindung zu stehen, da sich die höchsten Gehalte bei Elbekilometer 418,4 und 419,9 einstellen, genau dort, wo auch die Feianteile am höchsten sind. Zwischen den beiden Probegebieten gibt es auch deutliche Unterschiede von drei Prozent. Die Anteile orientieren sich gut erkennbar an der Mittelsandfraktion. Fällt diese Fraktion in der Kornzusammensetzung ab, so vermindert sich auch der Anteil an organischem Material. Hierbei ist zu erwähnen, dass das Untersuchungsgebiet bei Elbekilometer 418,4 durch ein Durchbrechen der Buhnen bei der Sanierung vor wenigen Jahren ja eigentlich besser durchströmt sein sollte. Möglicherweise hat sich die Situation im Vergleich zu der Situation vor der Sanierung gebessert. Hierüber liegen jedoch keine Daten vor.

Die Probenahmegebiete bei Elbekilometer 423,4, 425,2 und 427 erreichen nicht die organischen Anteile der ersten beiden Buhnenfelder, besitzen auch keinen so hohen Anteil an Mittelsand.

Ein weiterer Grund für die zwar insgesamt niedrigen, jedoch durchaus nachweisbaren organischen Gehalte ist in der langen Niedrigwasserperiode zu finden. Beobachtungen zu verschiedenen Jahreszeiten legen dies nahe, wurden jedoch nicht gesondert untersucht.

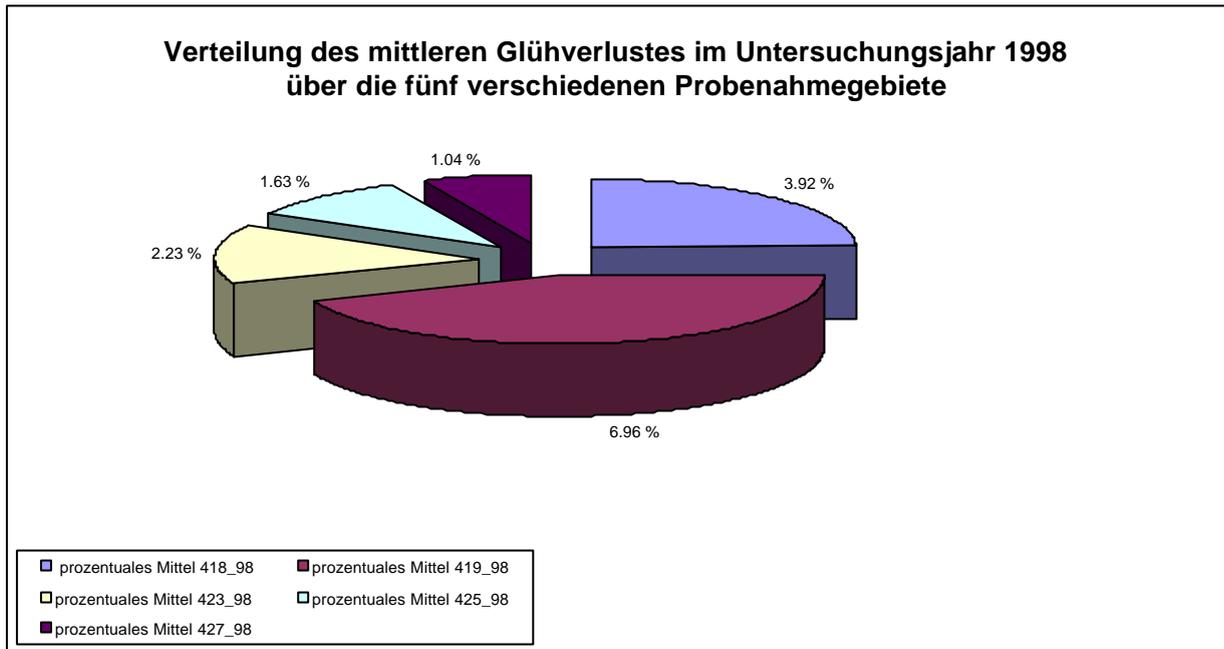


Abbildung 16: Mittlerer organischer Anteil der Bühnenfelder/Untersuchungsgebiete im Jahr 1998

### 6.2.3.2 Untersuchung des organischen Anteils im Jahr 1999

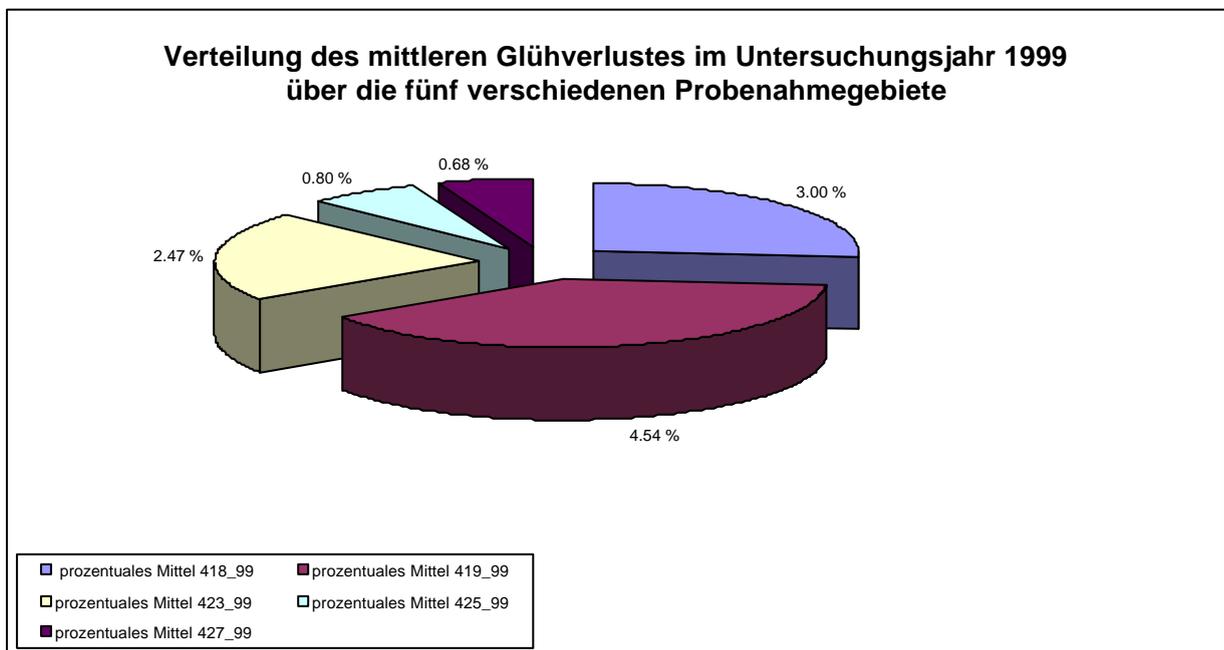


Abbildung 17: Mittlerer organischer Anteil der Bühnenfelder/Untersuchungsgebiete im Jahr 1999

Bei den Untersuchungen im Folgejahr fand sich von der Tendenz her genau der gleiche Trend wie in den Untersuchungen aus dem Jahr 1998. Problematisch ist die Tatsache, dass die Probenahmestellen nicht an den gleichen Stellen wie im Vorjahr liegen, sondern von ihnen abweichen oder es kamen neue hinzu, da bestimmte Stellen des Vorjahres durch Ablagerungen infolge des Hochwassers nicht mehr

beprobte werden konnten. Auch hat sich der Anteil der gesamten organischen Masse in den Proben im Jahr 1999 mit Ausnahme des Buhnenfeldes bei Elbekilometer 423,4 verringert. Dies könnte mit dem Rückgang an feinem Material zusammenhängen, was aus den Kornverteilungen im Jahr 1999 ebenfalls deutlich ersichtlich ist. Lediglich Buhnenfeld 419,9 fällt aus dieser Annahme heraus, da in diesem Buhnenfeld die Feinanteile angestiegen sind, jedoch der organische Anteil in 1999 ebenfalls abgefallen ist. Die Kornfraktionen stehen somit für eine Ableitung des organischen Gehaltes nicht ohne weiteres zur Verfügung. Es scheint vielmehr die Art und Weise zu sein, inwieweit organisches Material bestimmter Herkunft als Suspensa in das Buhnenfeld einströmen kann und dort dann die Möglichkeit hat sich abzusetzen. Dies ist die wahrscheinlichere Erklärung, da sich in der Art der Verteilung, ähnlich wie die Geometrie des Buhnenfeldes, in den zwei Jahren wenig geändert hat. Die höheren Gehalte können somit auch auf die niedrigeren Geschwindigkeiten im Jahr 1998 und den damit besseren Möglichkeiten zum Absetzen von feinem Material zurückzuführen sein.

Eine weitere mögliche Erklärung des geringeren organischen Gehaltes in den nach dem Hochwasser 1998/1999 erhöhten Feinsedimentanteilen bei Untersuchungsfeld 419,9 kann darin liegen, dass das Feinsubstrat im schluffigen Bereich aus den Auelehmen des davor liegenden Altarmkomplexes stammt, der nicht den hohen organischen Anteil besitzt und damit das Problem der Erosion des Hinterlandes durch Messung bestätigen würde. Anbei bemerkt unterscheidet sich die Vegetation in diesem Buhnenfeld stark von den übrigen Untersuchungsflächen, was auf eine ebenfalls andere Nährstoff beziehungsweise Bodensituation hindeuten lässt.

## 6.2.4 Geschwindigkeitsuntersuchungen

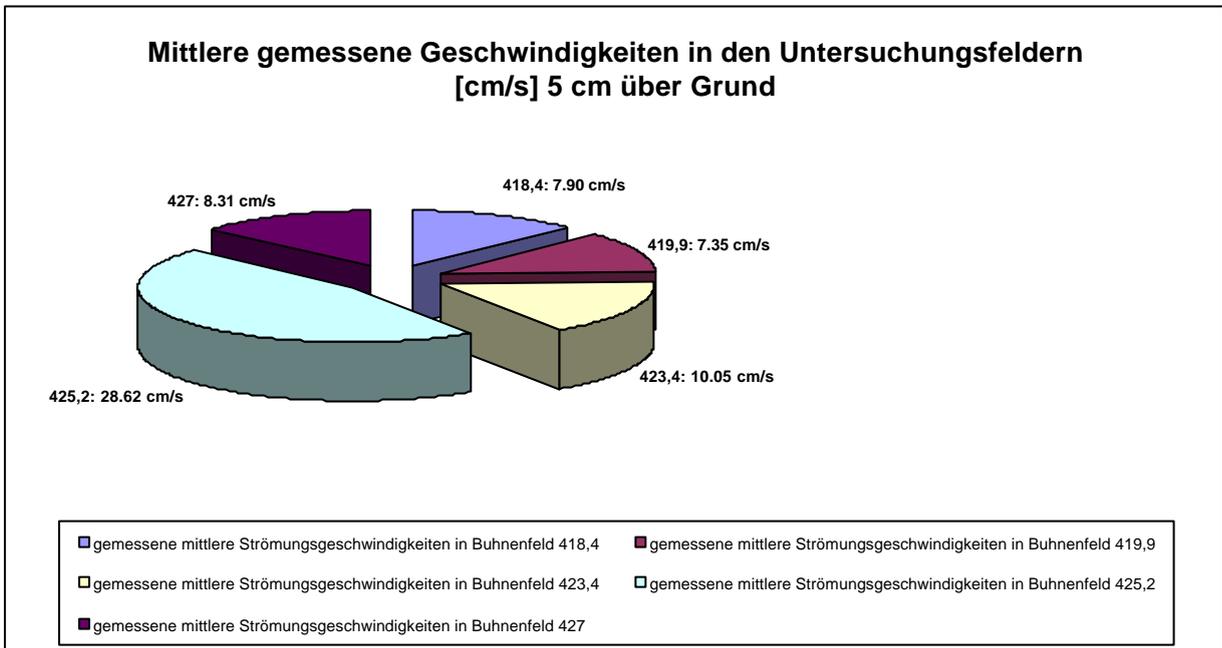


Abbildung 18: Gemittelte Strömungsgeschwindigkeiten aus ADV-Messungen

Die Strömungsgeschwindigkeiten wurden unter zwei unterschiedlichen Aspekten gemessen. Einerseits sollten die Strömungsdaten dem Teilprojekt Biologie zur Verfügung gestellt werden, damit dort vorhandene Korrelationen mit biotischen Parametern gefunden werden, andererseits sollten mit den aufgenommenen Strömungsgeschwindigkeiten die Hydrodynamik im numerischen Modell geeicht und verifiziert werden.

Die Geschwindigkeiten wurden insgesamt mit drei verschiedenen Methoden bestimmt. Im ersten Probejahr wurde an den biologischen Probestellen (Einzeluntersuchungen) mit einem analog arbeitenden magnetisch induktiven Gerät (MID) von der Herstellerfirma *Marsh McBirney* gemessen, welches die Strömungsgeschwindigkeit in einer Richtung erfasst. Die Messungen der Strömungsgeschwindigkeiten im Flussschlauch wurden mit einem akustischen Doppler Profilierer (ADCP) von der Firma *RDI* durchgeführt. Im zweiten Jahr konnten die Strömungsgeschwindigkeiten mit einem akustischen Doppler Strömungsmesser (ADV, *Nortek*) für die biologischen Probestellen und dem ADCP für die Profilmessung im Flussschlauch durchgeführt werden. Die beiden letztgenannten Messgeräte sind sehr genau und ermöglichen eine hohe Auflösung der Strömungsgeschwindigkeit mit geringen Varianzen.

**Methodik:** ADV und ADCP sind Messgeräte zur Bestimmung der Fließgeschwindigkeiten in Oberflächengewässern. Voraussetzung zur Messung ist das Vorhandensein ausreichend vieler Partikel

im Fluid, welche sich mit der Fließgeschwindigkeit mitbewegen. An der Elbe sowie an jedem natürlichen Gewässer ist dies fast immer der Fall, da hier ein ausreichender Anteil an in Suspension befindlichen Partikeln vorhanden ist. Etwas schwieriger ist es, wenn in sehr sauberem Wasser gemessen werden muss (beispielsweise im Labor). Hier müssen bei schlechten „Signal zu Rausch Bedingungen“ Partikel (Seeding) zugegeben werden.

Im Buhnenfeld wurde punktuell an den Stellen gemessen, wo limnologische Untersuchungen durchgeführt wurden. Das Messvolumen ist relativ klein (3 - 9 mm) und ermöglicht Messungen in Bodennähe, da auch das Probevolumen nicht durch das Messgerät „verbaut“ ist wie bei der *Marsh McBirney* Sonde. Die Messungen wurden immer über dem gleichen Sohlhorizont durchgeführt, welcher sich 5 cm über der Sohle befand. Die Entfernung über Grund wurde aus praktischen Überlegungen heraus festgelegt, da die Sonde bei manchen Probestellen aufgrund von weichen Sohlsubstraten (Mudden) etwas eingesunken ist. Die zeitliche Abtastrate einer ADV-Messung beträgt höchstens 25 Hz. Diese Auflösung ist ausreichend, um turbulente Fluktuationen qualitativ und quantitativ zu erfassen. Gemessen wurde je nach Instationarität zwischen 1 und 5 Minuten und mit 20 Hz, um gute Mittelwerte zu erhalten. Da in der Elbe sehr viele Partikel im Wasser mitbewegt werden, ist das Verfahren sehr gut geeignet, die Strömungsgeschwindigkeiten zu messen. Ein weiterer Vorteil ist die gleichzeitige Erfassung aller drei Raumrichtungen der Strömung. Während der Messungen und vor allem bei der Auswertung wurde erkannt, dass sich die Strömungsrichtung und auch der Betrag sehr oft ändern. Dieses Ergebnis war bereits sehr erstaunlich und nicht ohne weiteres zu erklären. Da die Änderung der Richtung bei einem Messgerät, welches nur in einer Richtung misst, zwangsläufig zu großen Fehlern führen muss, wurden die MID-Messungen aus dem ersten Untersuchungsjahr verworfen und an ihrer Stelle Modellgeschwindigkeiten aus dem geeichten Modell herangezogen. Bei einer eindimensionalen Messung müsste man während der Messung ständig die Richtung der Geschwindigkeit kennen, um die Sonde dann entsprechend mitzudrehen und diesen Fehler zu vermeiden. Dies ist allerdings unter den geschilderten Meßbedingungen nicht möglich.

Besondere Beachtung ist den Auswirkungen von Schiffswellen zu schenken, die ebenfalls eingehender dargestellt werden. Hier besteht weiterer Forschungsbedarf, da die Auswirkungen von Schiffswellen in ihrer Bedeutung auf biogene Prozesse noch nicht genau untersucht wurden. Auch von der Sedimentdynamik unter Schiffswellen sind noch viele Fragen ungeklärt.

Das ADCP kann komplette Strömungsprofile aufmessen, wobei das Messprinzip grundsätzlich nach dem Doppler Verfahren arbeitet. Das Gerät ist an das Messboot montiert und wird je nach Wasserstand zwischen bekannten Punkten über den Fluss gefahren. Hierbei entsteht das Querprofil, welches neben der Geschwindigkeitsinformation auch den Abfluss zum gegebenen Zeitpunkt für das aktuelle Profil ermittelt. Das ADCP ermittelt ebenfalls aus der Verschiebung über der Sohle seine

aktuelle Position, wodurch der Fahrweg ermittelt wird und dadurch auch die augenblickliche Position des Bootes bekannt ist. Mit Messgeräten dieser Art wurden bereits viele Problemstellungen erfolgreich bewältigt, wie beispielsweise Sekundärströmungsnachweis in Flussbiegungen, Geschwindigkeitsprofilmessungen, Planktonwanderung oder Bestimmung von Suspensionsfracht nach geeigneter Anpassung.

#### 6.2.4.1 Messungen der Strömungsgeschwindigkeiten mit dem ADV

Die folgenden Abbildungen zeigen einige Beispiele von Strömungsmessungen mit dem ADV. Die Strömungen wurden, wie oben schon beschrieben, grundsätzlich 5 cm über der Sohle gemessen. Das Messgerät wurde an einer Stahlstange von circa 2 cm Durchmesser montiert und dann an die zu messende Stelle gebracht. Gemessen werden konnte entweder vom verankerten Boot für tiefere Stellen oder auch direkt mit der Wathose und dem Boot als Arbeitsplattform in der Nähe. Jede Stelle wurde mit einem elektronischen Tachymeter eingemessen. Parallel zur Erfassung der Strömungsgeschwindigkeit konnte durch Ablesen der Skala an der Messstange die Wassertiefe an der entsprechenden Stelle gemessen werden. Die Messung, welche an einem Laptopbildschirm mitverfolgt werden kann zeigt jeweils ein Zeitfenster von definierbarer Länge, was einen großen Vorteil gegenüber der Messung mit dem MID darstellt, bei dem nur der momentane Wert analog angezeigt wurde. So konnte der Verlauf der Geschwindigkeit mitverfolgt und Messfehler beispielsweise durch Einsinken der Sonde erkannt werden.

Abbildung 19 zeigt eine Messung über wahrscheinlich relativ weichem Grund im Bereich der uferseitigen Scherschicht. Ein Problem ist, dass das Probestänge durch sein Gewicht in dem weichen, muddeartigen Untergrund nicht immer getragen wird und die Gefahr besteht, dass es einsinken kann. Wenn das Gestänge an einer Böschung steht (was unter Wasser verborgen bleibt), kann das Probevolumen durch nachlaufendes Sediment des Hanges zulaufen und eine Messung kann ebenfalls fehlerhaft werden. Da die Untersuchungsstelle in Abbildung 19 im Mai aufgrund der großen Wassertiefe sedimentologisch nicht erfasst werden konnte, kann keine Aussage über das Material, das möglicherweise muddehaltig war, gemacht werden. Die Strömungsgeschwindigkeiten von 10 cm/s und darüber lassen sehr wahrscheinlich nicht auf lose Muddeablagerungen schließen, sondern legen eher eine Messung an einer Böschung mit nachlaufendem Sediment nahe. Tatsächlich ist die Messung nach etwa 100 s nicht mehr zu verwerten, was sich gut in dem Abfallen der Strömungsgeschwindigkeiten und der immer stärkeren Winkelabweichung der Strömung (hellblaue Linie auf rechter y-Achse)

äußert. In dieser Messung wurde dann der Teil, der definitiv falsch war, abgeschnitten und nur die ersten 90 s für die Berechnung der mittleren Strömungsgeschwindigkeit herangezogen. Weiterhin zeigt die Messung allerdings auch sehr anschaulich, dass es keinesfalls immer nur eine präferierte Strömungsrichtung gibt, sondern dass diese sich im Laufe der Zeit deutlich verändern kann. Dieser Effekt kann in einer eindimensionalen Messung zu drastischen Fehlmessungen führen, nämlich dann, wenn gerade eine Komponente gemessen wird, die sich auf einem lokalen Minimum befindet (zum Beispiel x-Komponente in Abbildung 19 bei  $t=30$  s).

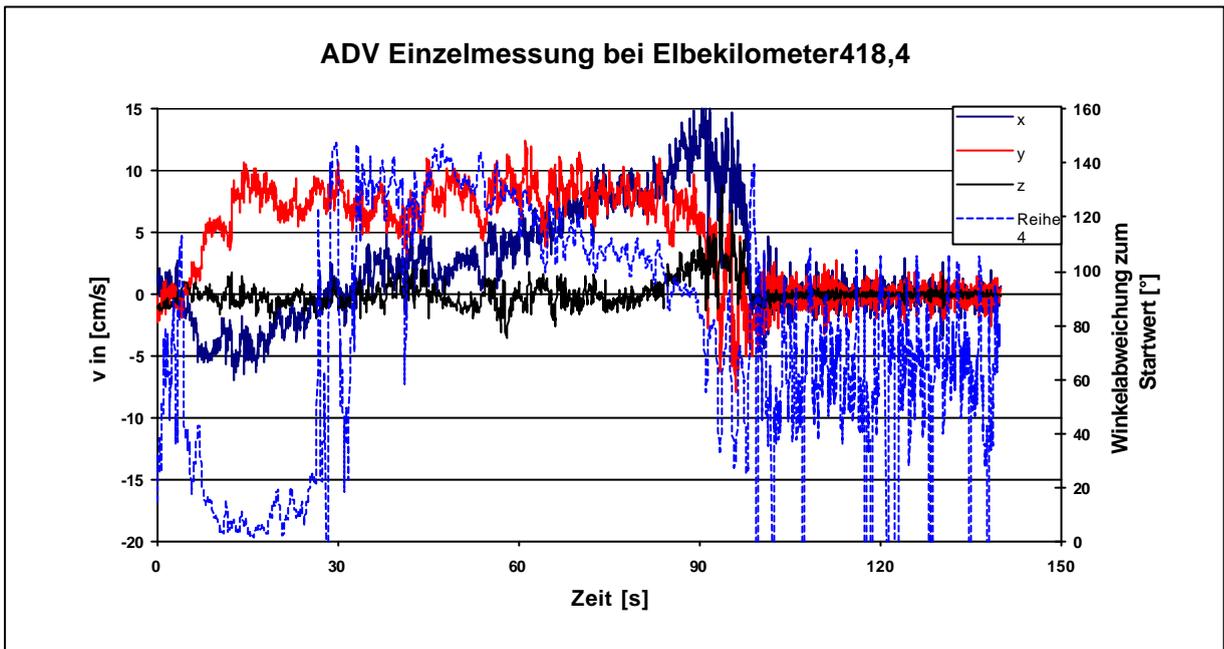


Abbildung 19: Beispiel einer Strömungsmessung mit zu weichem oder zu steilem Untergrund (418,4; E2)  
 Abbildung 20: ADV-Messung, Probestelle 418-12 im Mai 1999

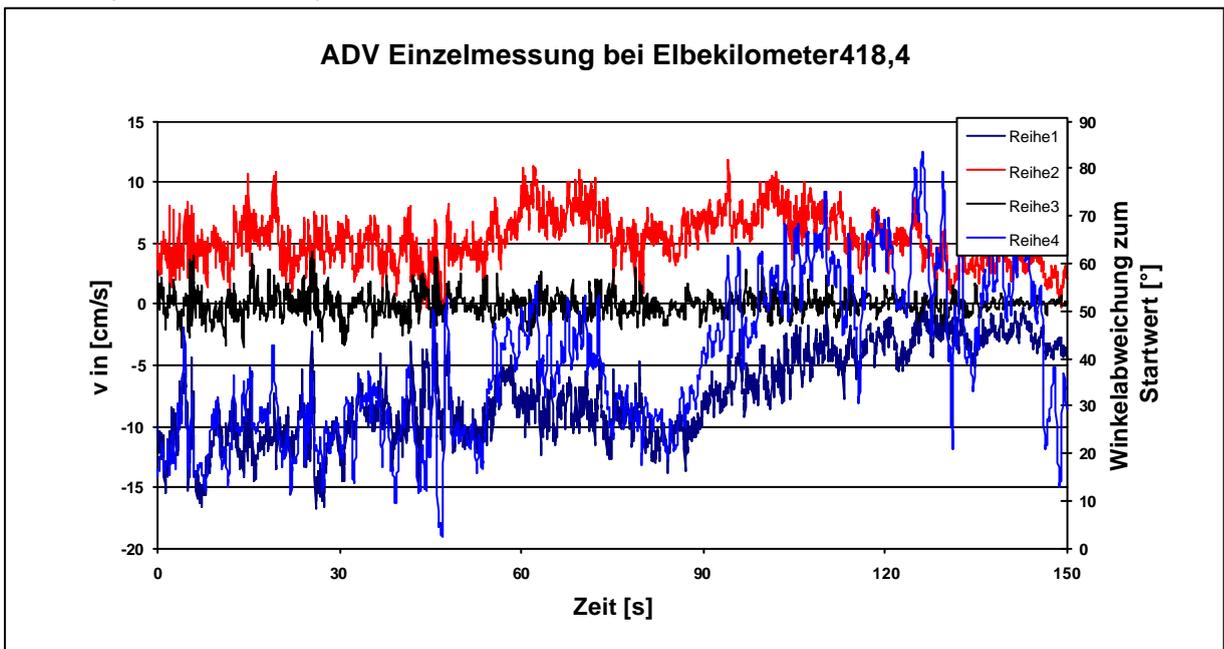


Abbildung 20 zeigt eine Messung, in der die Strömungsrichtung sich nicht so stark ändert wie bei der vorigen Probestelle, jedoch ist gegen Ende der Messung ein Abfallen der Strömungsgeschwindigkeit

auf niedrigere Werte zu beobachten. Dies ist nur durch eine längere Messung zu erklären und deutet auf mögliche langwelligere Schwingungen des Buhnenfeldes hin.

Abbildung 20 zeigt eine ADV-Messung in einem Buhnenfeld im Juni 1999. Die Messdauer betrug insgesamt 300 s. In der Darstellung bleibt der Betrag bis auf die letzten 30 s relativ konstant bei circa 10 cm/s. Die vertikalen Geschwindigkeiten (schwarze Linie) bewegen sich um den Basiswert 0 und werden nur durch turbulentes Rauschen von diesem Mittelwert abgelenkt. Die ebenen Geschwindigkeiten  $v_x$  und  $v_y$  schwanken zwar, sind aber auch mehr oder weniger stationär.

Aus Abbildung 20 lässt sich gut erkennen, dass für diese Messung ein kürzeres Messintervall unvorteilhaft gewesen wäre. Hätte man lediglich eine Minute beispielsweise zwischen den Zeitpunkten 120 s und 150 s gemessen, wäre der Mittelwert nur halb so groß, statt 10 cm/s nur 5 cm/s und dank der quasistationären Verhältnisse wäre aufgrund der geringen Standardabweichungen ein Fehler nicht aufgefallen. Bei der Messung der Geschwindigkeiten wurden die Empfehlungen des Elbfische - Projektes zur Messdauer eingeholt. Diese hatten bereits im Vorjahr umfangreiche Messungen mit einem ADV in Buhnenfeldern durchgeführt. Es sei an dieser Stelle erwähnt, dass instationäre Geschwindigkeitsverteilungen in den Buhnenfeldern trotz stationärer Strömung in der Elbe bereits 1998 durch die FU Berlin gemessen wurden. Diesen Sachverhalt geben auch die Messungen im vorliegenden Projekt wieder und werden in der nächsten Abbildung noch besser dargestellt. Begleitende hydrodynamische Untersuchungen zu instationären Strömungen induziert durch Buhnenfelder finden im Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft zur Zeit im Rahmen einer Studienarbeit an einem physikalischen Buhnenmodell statt. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen werden weiteren Aufschluss in die instationäre Strömung in Buhnenfeldern bringen.

### 6.2.5 ADV - Messungen unter dem Einfluss von Schiffswellen

Die Abbildung 21 stellt Geschwindigkeiten über einen Zeitraum von circa 5 min dar, wobei auf der x-Achse die Zeit in S und auf der y-Achse die Geschwindigkeit in cm/s angezeigt wird.

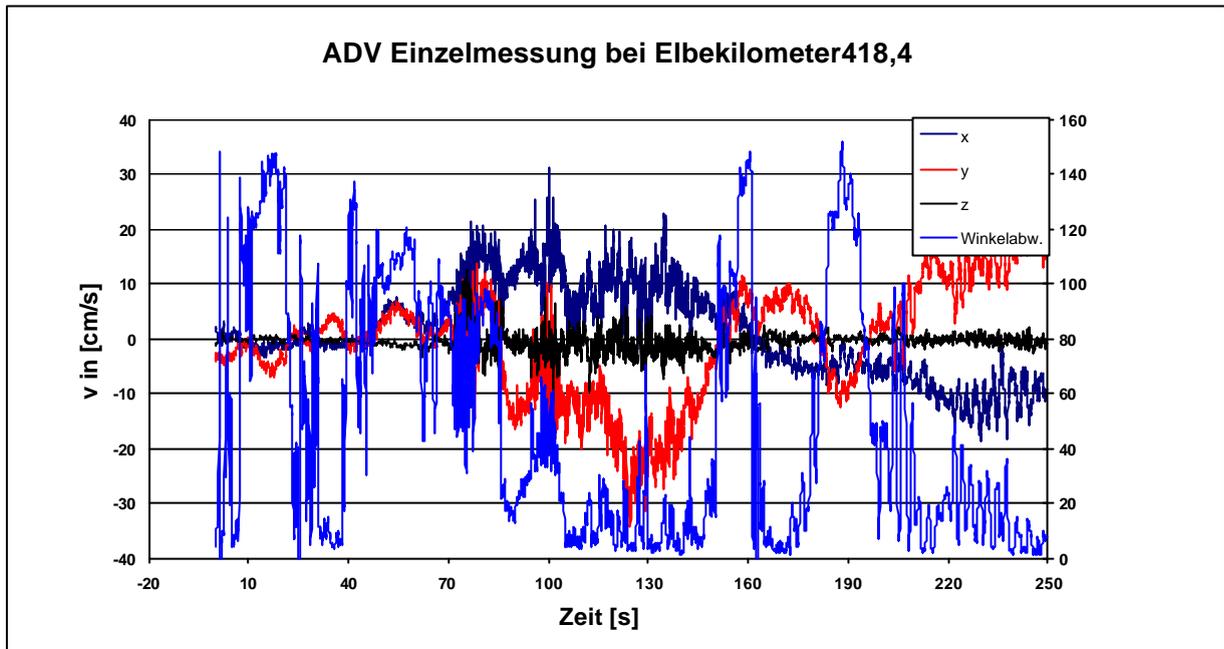


Abbildung 21: Geschwindigkeitsganglinien einer ADV-Messung unter Einfluss von Schiffswellen

Das Buhnenfeld, in dem diese Messung ausgeführt wurde, ist als repräsentativ im Vergleich mit anderen Buhnenfeldern zu sehen. Die ausgewählte Probestelle diente als Standort eines Ekklektors, eines Probenahmegerätes der Universität Marburg zum Fang flugfähiger Insekten (Imagines), die nach dem Schlüpfen im benthischen Bereich aufsteigen und gefangen werden.

In Abbildung 21 sind mehrere Phasen eines Ereignisses zu erkennen, welches als "Güterschiff fährt an einem Buhnenfeld vorbei" zu beschreiben ist.

Anfangen bei  $t = 0$  s liegen die Geschwindigkeiten bei circa 4 - 10 cm/s, im Mittel 5 cm/s. Nach etwa 60 s Messung passiert das Güterschiff das Buhnenfeld auf Talfahrt. Mit dem fallenden Wasserspiegel hervorgerufen durch die fahrdynamischen Eigenschaften des Schiffes, steigen die Geschwindigkeiten an der Probestelle auf 15 - 18 cm/s an, was eine Verdopplung der bisher vorhandenen Geschwindigkeiten bedeutet. Die Messung zeigt eine weitere Zunahme der Geschwindigkeiten durch die herannahenden Wellen. Zum Zeitpunkt  $t = 100$  s schließlich treffen die durch das Güterschiff verursachten Wellen an der Probestelle ein. Bei den mitunter recht kurzen Gütermotorschiffen der Elbe ist zwischen Bug- und Heckwelle kein großer zeitlicher Abstand. Nach Werten von bis zu 35-40 cm/s klingen die Geschwindigkeiten wieder auf 10 cm/s ab. Die Dauer der hauptsächlichen Wellenbelastung liegt somit zwischen  $t = 75$  s und  $t = 150$  s. Innerhalb dieser Zeit

können sich Organismen, die an hohe Geschwindigkeiten nicht angepasst sind, möglicherweise nicht mehr halten und können von der Strömung abtransportiert werden. Sofern Organismen (auch Fischlaich) dies überleben, ist ungewiss, wohin sie dann durch die Strömung verdriftet werden.

Nachdem sich die Situation zwischen den Zeitpunkten  $t = 160$  s und  $t = 200$  s beruhigt hat, treffen nun die reflektierten Wellen des anderen Ufers am Messpunkt ein und sorgen erneut für einen Anstieg der Geschwindigkeiten, allerdings nicht mehr in dem Ausmaß wie zu Beginn der Belastung.

Wie in obigem Beispiel erläutert, wirken sich Schiffswellen im Flachwasser stark auf das Geschwindigkeitsniveau aus und können dieses kurzfristig deutlich anheben. Damit sind Wasserspiegelschwankungen des normalen Abflussgeschehens mit den bekannten Auswirkungen auf die Geschwindigkeit zumindest biologisch gesehen zu relativieren wenn nicht sogar zu vernachlässigen. Besonders bedeutend sind jedoch Wellen für die Organismen im Flachwasser beziehungsweise in den semiterrestrischen Flächen, da gerade zur Fortpflanzungszeit die Wassertiefen geringer werden und damit Wellen größere Geschwindigkeiten in den Buhnenfeldern verursachen können. Der Einfluss von Schiffswellen auf die untersuchte Biozönose ist im Augenblick eine Unbekannte, die nicht näher untersucht werden kann, da dies nicht Gegenstand des ursprünglichen Forschungsauftrages war und auch keine Ressourcen dafür zur Verfügung stehen. Es wäre trotzdem zu begrüßen, wenn zu dieser Problematik weiterführende Untersuchungen durchgeführt werden könnten, die den Kenntnisstand über den Einfluss von Schiffswellen auf die Lebensgemeinschaften in Flachwasserhabitaten verbessern würden.

## 6.2.6 ADCP Messungen

In der Hydrometrie sind seit mehreren Jahren akustische Messgeräte immer häufiger anstelle der traditionellen Methoden wie beispielsweise Flügel, Induktionssonde oder aufgrund Differenzdruck arbeitende Geräte, anzutreffen. Dies ist aufgrund der einfachen Handhabung, der gesteigerten Präzision und der vielfach sofort digital verfügbaren Daten auch ein entscheidender Vorteil. Des Weiteren besteht die Möglichkeit auch mehrere Tiefenschichten simultan zu untersuchen. Dies ist gerade das Hauptanwendungsgebiet der Profilerer, die durch ein Boot von einem Ufer zum anderen bewegt auch die Geschwindigkeitsverteilung über ein vollständiges Profil ermitteln. Aus Projektmitteln wurde zu Beginn des Projektes von der Firma RDI ein sogenanntes „Broadband ADCP“ angeschafft, mit welchem noch genauer als mit bereits existierenden „narrow Band“ Geräten gemessen werden konnte. Dies hängt daran, dass Schallsignale unterschiedlicher Frequenz den Wasserkörper mit mehr oder weniger Verlusten durchwandern können. Dies wird wichtig vor dem Hintergrund, dass mit einem Gerät verschiedene akustische Umgebungen herrschen. Beispielsweise ist aus Sicht der Genauigkeit einer Geschwindigkeitsbestimmung ein langsames tiefes Gewässer etwas ganz anderes als ein schnelles, dafür aber flaches Gewässer.



Die Messungen mit dem akustischen Profiler wurden vorrangig aus Gründen der Modellkalibration und des Modellbetriebes durchgeführt. Hierzu waren Messungen des Abflusses erforderlich, der sich bei einer Querprofilbefahrung neben den Strömungsgeschwindigkeiten ergibt.

Abbildung 22: ADCP Messgerät am Geräteträger

In Abbildung 23 ist eine Auswahl vom 10. November 1998 an drei verschiedenen Untersuchungsstellen dargestellt. Die blauen Säulen stehen für die Messung mit den ADCP, die roten für die Werte, die sich aus der Schlüsselkurve des Hauptpegels Tangermünde ergeben. Die Abweichungen zeigen bereits eine Notwendigkeit des Einsatzes eines ADCP zur genaueren Modellierung eines bestimmten Abflusszustandes, da offenbar Fehlmengen auftreten, die sich beispielsweise durch das Überströmen der Vorländer ergeben. Da mehrere Profile bei den jeweiligen Stellen gefahren wurden, ist auch eine Aussage über die Güte der Abflussermittlung möglich, die sich mit wenigen Ausnahmen (vergleiche 1. Messung in Abbildung 23) als sehr konstant herausstellt. Es wurden daher immer mehrere Messungen

durchgeführt, damit eine fehlerhafte Messung als solche erkannt werden konnte. Mögliche Fehlerquellen sind beispielsweise starker Wellengang, Strauchwerk unter der Oberfläche oder Luftblasen (infolge Seegang) im Bereich der keramischen Schallsensoren.

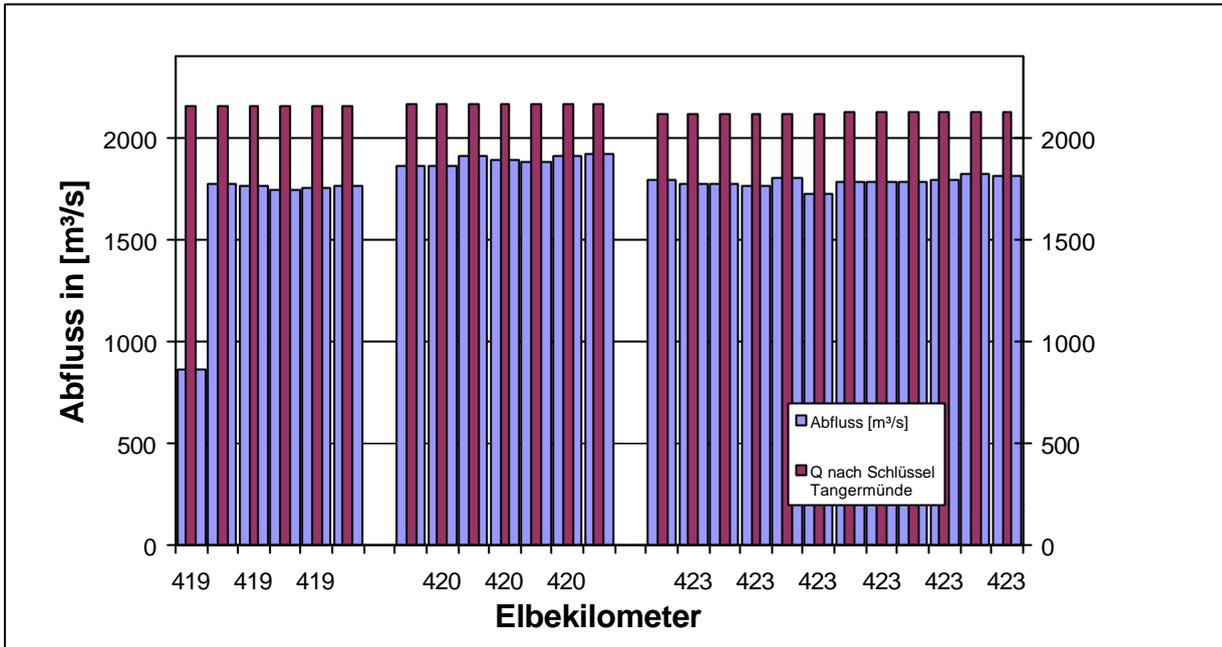


Abbildung 23: Gemessene Abflüsse an einigen Fließprofilen während des Hochwassers vom November 1998

## 6.2.7 Gewässerphysikalische Parameter

Die gewässerphysikalischen Parameter wurden 1998 an den limnologischen Probestellen im Wasserkörper gemessen, was zu größtenteils gleichen Werten innerhalb eines Beprobungszeitpunktes führte. Aus diesem Grund erschien die Zuhilfenahme von Zeitreiheninformationen von Messstellen der Landesumweltämter für sinnvoll. Für die Erfassung der gewässerphysikalischen Parameter wurde am Institut 1999 ein Gerät gebaut (vergleiche Abbildung 24, S. 39), mit dem die Parameter  $O_2$ , pH-Wert, Leitfähigkeit und Temperatur des Interstitials gemessen werden konnten. Das Gerät saugt über einen Stechzylinder das Porenwasser aus den oberen 15 cm der Gewässersohle ab. Das entnommene Wasser wird unmittelbar im Anschluss an einer Sondengruppe vorbeigeführt, wobei die oben genannten Parameter bestimmt werden. Das Messprinzip ist anwendbar bei gut durchlässigen Böden, das heißt wenn hohe Durchlässigkeiten gegeben sind. Die Sonde wird in die Ufersohle eingepresst. Sofort danach wird mit dem Abpumpen des Wassers begonnen. Kurzschlussströmungen sind bei den durchschnittlichen Durchlässigkeiten in der Elbe nicht zu erwarten und wurden durch die Messung auch nicht nachgewiesen. Lediglich bei sehr langer Messzeit macht sich das Zufließen von Flusswasser durch die Kornmatrix bemerkbar, welches allerdings gut durch die Messung identifiziert

werden kann.

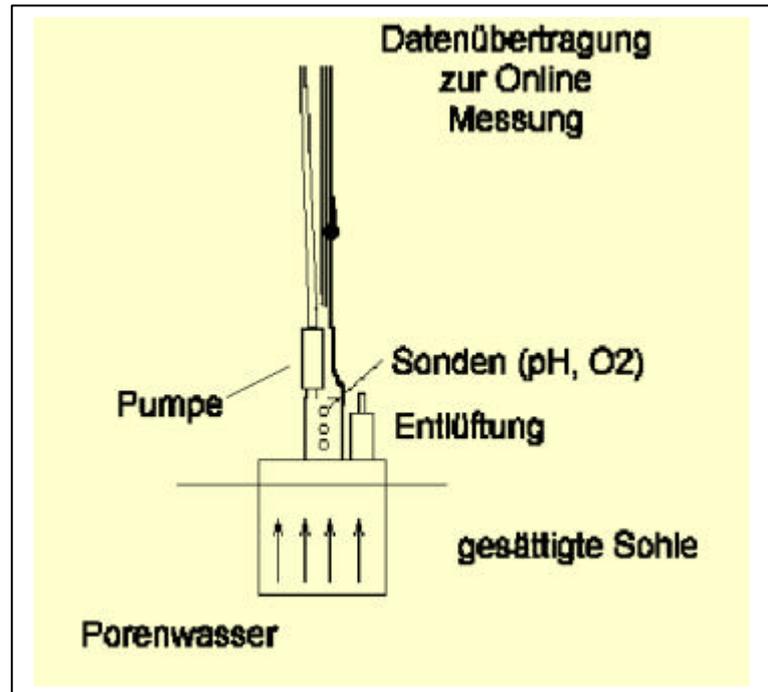


Abbildung 24: Entwickeltes Porenwasserentnahmegerät

Gepumpt wurde mit einer konstanten Rate von 2 l/min. In der Abbildung 25 ist der pH-Wert und der Sauerstoffgehalt als Funktion über die Zeit aufgetragen. Es ist gut zu erkennen, dass sich die Konzentrationen mit zunehmender Messzeit rasch abbauen.

Die Ergebnisse können für die statistische Analyse sehr wichtig sein, da verschiedene Horizonte der Sohle durch die gewässerphysikalischen Werte repräsentiert werden. Die Gleichmäßigkeit der jeweiligen Parameterkurven deutet auf globale Abbauprozesse im Porenraum hin und ließe sich möglicherweise durch weitere Analysen durch einen einfachen Ansatz an die Geschwindigkeit ankoppeln. Je nach vorhandenem Grundtransport im Flusskörper beginnt der Abbau bei verschiedenen Höhen des jeweils betrachteten Parameters. Auffallend ist der sehr steile Gradient der Parameter vor allem bei Sauerstoff. Dieser fällt innerhalb 15 - 20 S auf ein relativ niedriges Niveau ab und nähert sich dann einem Endwert

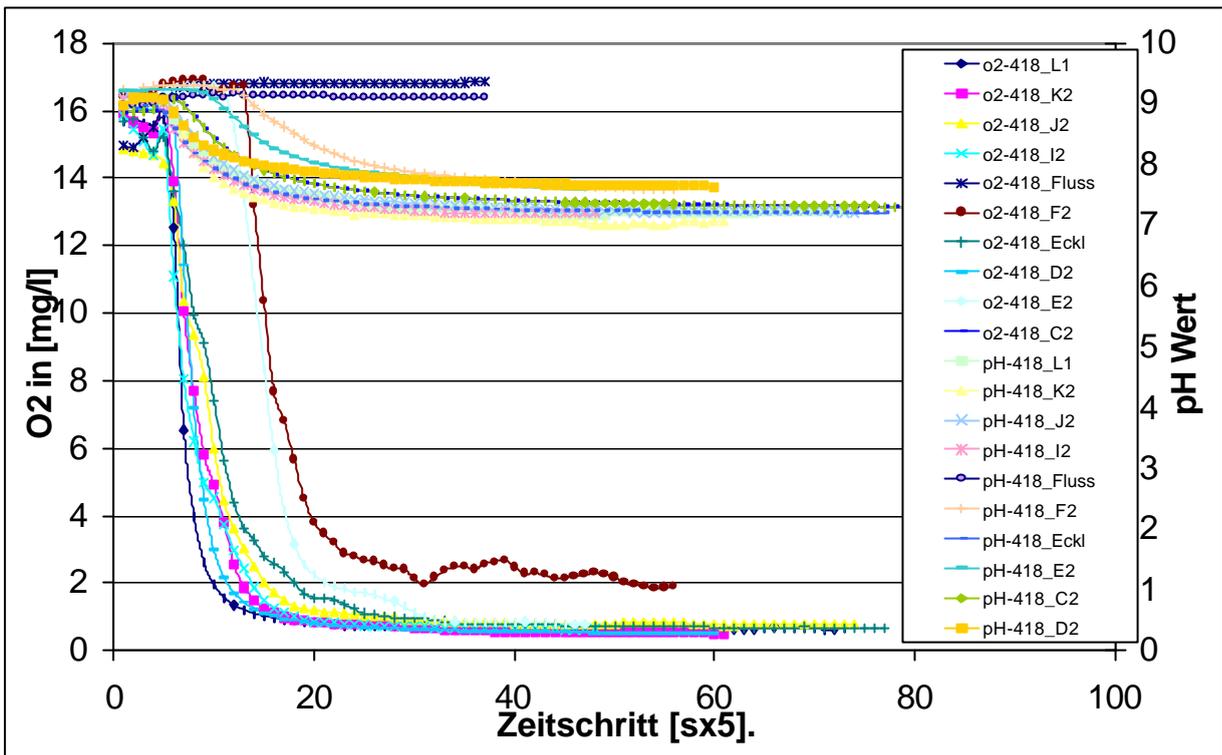


Abbildung 25: PH-(flache Ganglinien) und Sauerstoffzeitreihen (steile Ganglinien) im Pumpversuch

asymptotisch. Biologisch gesehen ist nach circa 50 - 60 S ab Pumpbeginn des Interstitialwassers ein Schwellenwert erreicht, in dem benthische Organismen normalerweise nicht mehr existieren. Bauartbedingt muss, bevor Wasser aus der Kornmatrix an den Sonden vorbeigeführt werden kann, zunächst das Totvolumen aus dem Messzylinder gepumpt werden. Dieses dauert circa 20 s. Die kritische Konzentration ist artverschieden und hängt von vielen Faktoren ab. Sie ist durchschnittlich für *Taeniopterix nebulosa* 5,1 mg/l, *Dinura* 3,1 mg/l und *Cloeon* 2,2 mg/l. Ein Wert von 3 mg Sauerstoff pro Liter ist nach circa 40 s erreicht. Dies entspricht bei gleichbleibender Pumprate von 2 l/s, 200 mm Sondendurchmesser und einem Porenanteil von 0,3 einer kritischen Tiefe (ab Sohloberkante) von 22,3 cm. Leider ergaben sich Probleme beim Pumpen aus undurchlässigeren Böden wie den verfestigten Mudden, sodass für einige Untersuchungsstellen keine Werte entnommen werden konnten.

## 6.3 Numerische Berechnungen

### 6.3.1 Eingesetztes HNM Modell TIMOR

Das Strömungsmodul BUBBLE ist der HN Rechenkern für das System TIMOR. Es stellt die hydrodynamische Basis zur Verfügung, auf die weitere Module zurückgreifen. BUBBLE simuliert

Wasserspiegellagen und Durchflüsse infolge einer Vielzahl von treibenden Einflüssen in Flüssen, Seen und Küstengewässern. Der Wasserspiegel und die Durchflüsse werden auf einem variablen Finite - Elemente - Netz (FEM) berechnet, wobei Tiefenstruktur und Widerstandsverhalten vorgegeben sein müssen. Das 2D HN-Modell BUBBLE löst die vertikal integrierten Gleichungen für Massen- und Impulserhaltung in zwei horizontalen Dimensionen, wobei die folgenden Effekte Berücksichtigung finden:

- Barometrischer Druckgradient
- Konvektiver Impulstransport
- Windreibung an der Oberfläche
- Corioliskraft
- Impulsquellen und Senken (Wellenbrechen, Reibung, Turbulenz)

Die Gleichungen werden mit einem expliziten Schema mit der Finiten-Element-Technik mit einem Bubble-Funktions-Ansatz auf einem Dreiecksgitternetz gelöst. Aufgrund des expliziten Schemas ist der Zeitschritt im Modell dem Courant-Kriterium unterworfen, das bei höherer räumlicher Auflösung auch einen kürzeren Zeitschritt fordert.

Als Eingabe für BUBBLE werden folgende Daten benötigt:

- Bathymetriedaten
- Widerstand der Sohle
- Zeitschritt
- Impulsdispersionskoeffizient (Wirbelviskosität) infolge Turbulenz
- Anfangs- und Randbedingungen (Wasserstand und Durchflüsse)
- Windstärke und -richtung

Verschiedene Variablen wie Wasserstände, Strömungsgeschwindigkeiten und -richtungen, auch in Komponenten von x- und y-Richtung, können über einen Postprozessor in Form von Zeitreihen und 2-dimensionalen Feldern sowie Schnitten ausgegeben werden.

Das Modellsystem TIMOR beinhaltet das Strömungsmodul BUBBLE und mehrere Module für die morphologischen Berechnungen. Es berechnet und bilanziert auf demselben Rechengitter wie BUBBLE den Sedimenttransport getrennt in Suspensions- und Geschiebetransport mit bis zu 12 Kornfraktionen.

TIMOR kann zur Berechnung von Feststofftransporten und Umlagerungserscheinungen in vielen Gewässertypen verwendet werden, einschließlich der Berechnung von Transportvorgängen in Tidebecken, Seegatten und anderen Küstengebieten, in denen sowohl Tideströmungen als auch welleninduzierte Strömungen vorkommen.

Der Geschiebetransport kann mit verschiedenen Formeln berechnet werden. Die Konzentration der Suspension wird mit einem dynamischen „Pick-up Ansatz“ berechnet, so dass auch Nichtgleichgewichtsbedingungen simuliert werden können.

Sedimenttransportraten werden getrennt nach den einzelnen Kornfraktionen nach dem Konzept der kritischen Bodenschubspannungen auf Basis der Größen Wasserstand, tiefengemittelte Strömungsgeschwindigkeit, Korngröße und Betrauheit berechnet. Die Umlagerungen werden dann mit der Bodenevolutionsgleichung im gewählten morphologischen Zeitschritt ermittelt und direkt an das Strömungsmodul BUBBLE übergeben.

Als Ausgaben sind vor allem die Sohlhöhenänderungen und die Suspensionskonzentrationen in einer 2-dimensionalen Darstellung von Interesse. Die Auswertung aller anderen physikalischen Größen, wie Transportraten oder Anteile der einzelnen Kornfraktionen in 2-dimensionaler Isoflächendarstellung oder 1-dimensionaler Darstellung entlang eines Schnittes, sind mit dem Postprozessor ebenfalls möglich.

### **6.3.2 Hydrodynamische Modellierung**

Die Modellierung der hydrodynamischen Bedingungen wurde während der Projektlaufzeit mit dem 2D tiefengemittelten Programm BUBBLE durchgeführt. Gegenwärtig können mit 2D HN Programmen Flussabschnitte mit einer Länge von über hundert Kilometern in vertretbarer Zeit auf einer Workstation simuliert werden. Da allerdings die Berechnung der Hydrodynamik in den Buhnenfeldern im Vordergrund stand, ergab sich in der endgültigen Modellvariante auf wenigen Flusskilometern eine Knotenzahl von über 80.000, sodass eine kürzere Modellstrecke von den Rechenzeiten aus betrachtet praktikabler erschien. Da auf dem untersuchten Flussabschnitt bereits drei Pegel mit Werten alle Viertelstunde genutzt werden konnten, wurde eine Modelllänge von Elbekilometer 415 (nahe Sandau) bis 427 (Neuwerben) festgelegt. Zusätzlich zu den Pegelinformationen standen überdies auch die gemessenen ADCP - Profile und die in den Buhnenfeldern ermittelten Geschwindigkeiten zur Eichung für diesen Abschnitt zur Verfügung. Aufgrund der zum Teil ungenauen Datenbestände der Vorländer und des Flussschlauches macht eine großräumigere Betrachtung auch kaum Sinn.

Im ersten Projektjahr wurden die numerischen Modelle aufgebaut und verschiedene stationäre und instationäre Berechnungen durchgeführt. Darunter waren noch Simulationen mit einem größeren Modell von Tangermünde (Elbekilometer 388) bis Neuwerben (Elbekilometer 427). Als Eichinformationen standen im ersten Jahr die Pegelinformationen zur Verfügung und das Modell wurde eingefahren. Vergleiche mit aufgenommenen ADCP Messungen waren jedoch, aufgrund der niedrigen

Wasserstände auf sinnvoller Basis durchzuführen, da das ADCP Mindestwassertiefen von etwa 2 m für eine Messung mit Aussage benötigt. Dies änderte sich allerdings bereits am Ende von 1998 und im Jahr 1999, sodass dann im zweiten Projektjahr ausreichend Messungen zur Verfügung standen, mit denen die Modellergebnisse geprüft werden konnten.

Im Untersuchungsjahr 1999 lag der Schwerpunkt darin, die gemessenen neuen Geschwindigkeiten im Probenahmezeitraum auf der Grundlage einer veränderten Topographie (nach dem Hochwasser) nachzumodellieren. Hierzu wurde die neue Topographie den 1999er Berechnungen zugrundegelegt und mit den gemessenen Geschwindigkeiten (ADV und ADCP) verglichen. Weitere Berechnungen wurden mit den Abflusswerten von 1998 durchgeführt, um den Fehler durch die Vernachlässigung der neuen Topographie abschätzen zu können. Die Ergebnisse bestätigten die Annahme, dass unter Vernachlässigung der Topographie zum Teil große Unterschiede zur gemessenen Strömungsgeschwindigkeit auftraten.

Der Vergleich von gemessenen zu berechneten Geschwindigkeiten für die Topographie von 1998 sowie 1999 ist in Abbildung 26 beispielhaft am Buhnenfeld bei Elbekilometer 418 dargestellt. Auffällig ist die Differenz der Berechnungen von 1998 zu 1999. Gemessen wurde in den Buhnenfeldern immer an mehreren Stellen. Die Strömungsgeschwindigkeit wurde beispielsweise direkt vor den Buhnenköpfen, jeweils an der oberen und der unteren Buhne gemessen. Dies wurde deshalb durchgeführt, weil das Teilprojekt der Universität Marburg hier Hartsubstratbeprobungen durchgeführt hat. Im Buhnenfeld wurden jeweils Proben aus Stellen größerer Wassertiefe genommen, die teilweise in der Scherschicht Buhnenfeld - Hauptstrom lagen (siehe dazu auch Methodik, Abschnitt Biologie), sowie einige flache Stellen beprobt. Aufgrund der starken Wasserspiegelschwankungen kann nur für einige Proben der Grundsatz einer Beprobung immer an der gleichen Stelle durchgeführt werden. Dies trifft nicht für Probestellen in bereits zu Beginn der Probenahme flachen Bereichen zu, da diese im Sommerhalbjahr trocken fallen und eine Verlagerung dieser Proben notwendig ist.

**Messungen am Buhnenkopf:** Diese Messungen sind durch die Bezeichnungen BUK1 sowie BUK2 gekennzeichnet und lagen jeweils an der Spitze des Buhnenkopfes in einer meist gleichen Wassertiefe. Je nach Buhnenoberfläche variieren hier die Rauheiten erheblich. Es gibt Buhnen mit neuer Metallhüttenschlacke-Schüttung und solche mit den noch alten Pflastersteinen aus Granit. Im ersten Fall ist der Rauheitsbeiwert wesentlich größer. Dieser Sachverhalt wurde in der Berechnung nicht berücksichtigt, sondern es wurde mit einem einheitlichen Rauheitsbeiwert für die Buhnen gerechnet. In Abbildung 26 ist zu erkennen, dass die gemessenen Geschwindigkeiten der ersten Buhne weit größer sind als die berechneten. Weitere Gründe für die Abweichung sind in der Unsicherheit der genauen Lage der Flusssohle zu suchen, die erst seit April 2000 durch eine Echolotbefahrung der FU Berlin besser bekannt ist.

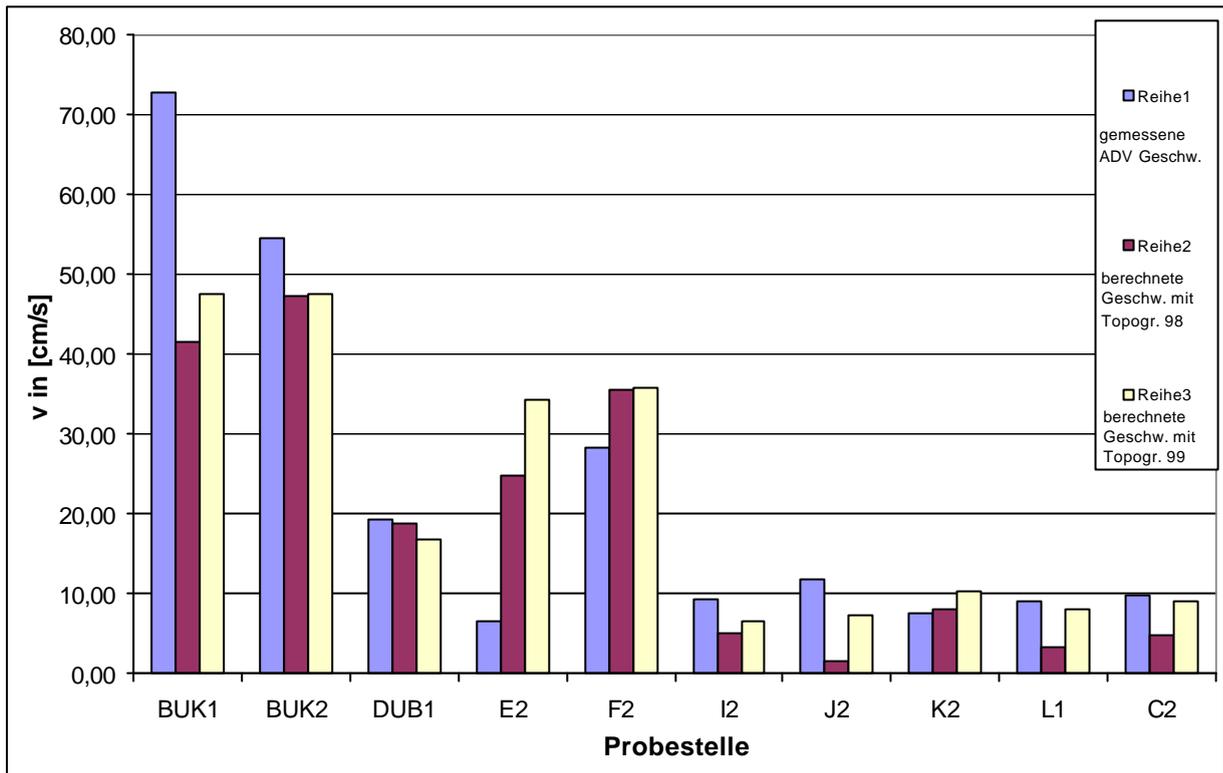


Abbildung 26: Vergleich von gemessenen und berechneten Geschwindigkeiten 1998, 1999 für das Buhnenfeld bei Elbekilometer 418.

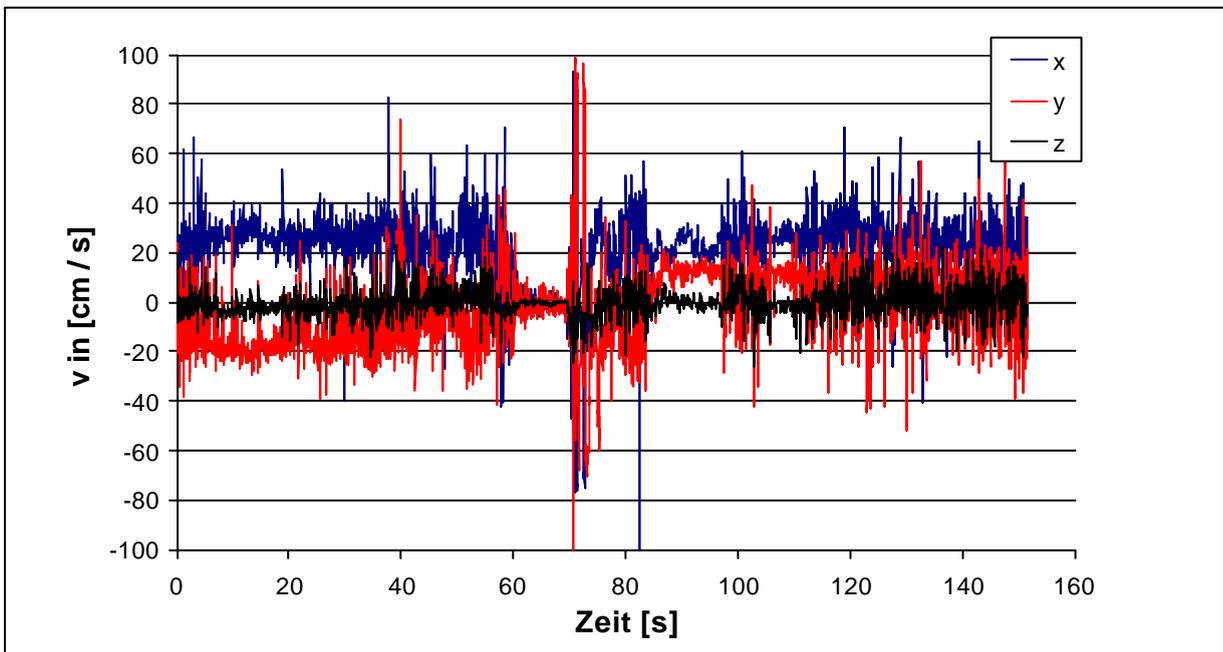


Abbildung 27: Gemessene instationäre Strömung in der Nähe der Scherschicht

**Bereich Streichlinie:** Die nächsten drei (in Abbildung 26) Messstellen sind durch die Bezeichnung E2, F2 sowie DUB1 gekennzeichnet. Diese drei Probstellen liegen in der Nähe der Streichlinie (vor allem E2), im Buhnendurchbruch (DUB1) der oberen Buhne, sowie zwischen Streichlinie und Ufer in

mittleren Tiefenbereichen. Während DUB1 und F2 die gemessenen Geschwindigkeiten gut treffen, liegt E2 bei weitem über dem tolerierbaren Maß der Abweichung. Der Fehler lässt sich möglicherweise in der Durchführung der Messung finden, vergleiche Abbildung 27. Die Strömung unterliegt an dieser Stelle offenbar sehr starken zeitlichen und betragsmäßigen Schwankungen. Durch die schwierigen Messbedingungen (etwa 3 m Wassertiefe, Winddrift und Strömung) konnte die angestrebte Messdauer von 5 min an dieser Stelle nicht erreicht werden.

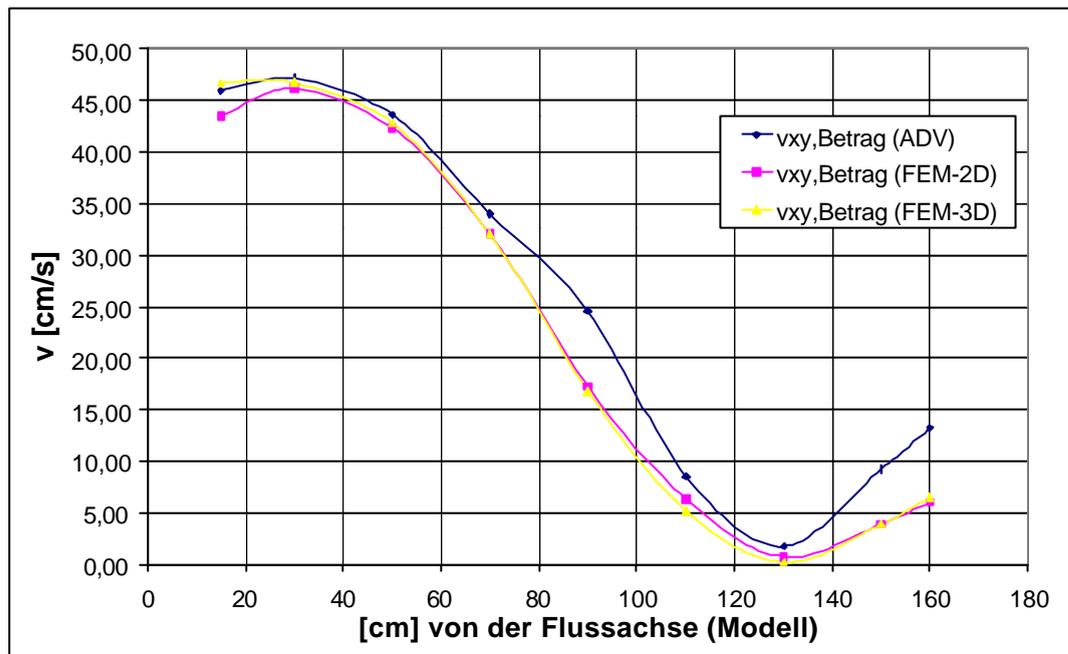
Eine weitere Erklärung der ungleichförmigen Geschwindigkeit kann in dem Einsinken der Sonde in Feinstsubstrat (Schlick), der sich vorwiegend in der Scherzone ablagert, liegen. Sinkt die Sonde ein, ist ein Messen nicht mehr möglich und das Gerät liefert völlig unplausible Werte. Diese Werte sind jedoch vom Betrag her deutlich größer und treten unregelmäßiger in Erscheinung als dies in Abbildung 27 der Fall ist. Die niedrigen Geschwindigkeiten am Anfang und Ende der Messung beziehungsweise die nahezu konstante Phase in der Mitte der Messung sind Anzeichen dafür, dass sich die Strömung mit der Zeit ändert. Betrachtet man lediglich die Phase hoher Geschwindigkeit also zwischen  $t = 10 - 90$  s dann liegt der Maximalwert der Geschwindigkeiten (zyanfarbene Linie) immer noch nicht bei den berechneten knapp 30 cm/s sondern als maximaler Betrag nur bei circa knapp 20 cm/s.

Eine mögliche Erklärung der Überschätzung der Geschwindigkeit durch die Berechnung liegt unter Umständen daran, dass 2D gerechnet wurde und dies in der Nähe der Scherschicht eine nicht mehr praktikierbare Vorgehensweise darstellt, da die Strömung hier stark räumlich ist. Die 3D Strömung wird zur Zeit berechnet, es liegen für diesen Wasserspiegel aber noch keine Ergebnisse vor. Weiterhin finden in einem physikalischen Modell Untersuchungen dazu statt, die weiteren Aufschluss geben sollen.

**Semiterrestrischer Flachwasserbereich:** Die Messungen der Geschwindigkeiten an den Probestellen I2, J2, K2, L1 und C2 stimmen (vgl. Abbildung 26), legt man die neue Topographie zugrunde, sehr gut mit den gemessenen mittleren Geschwindigkeiten überein. Dies ist schon deshalb sehr positiv, da in den flachen Bereichen auch die meisten biologischen Beprobungen durchgeführt wurden.

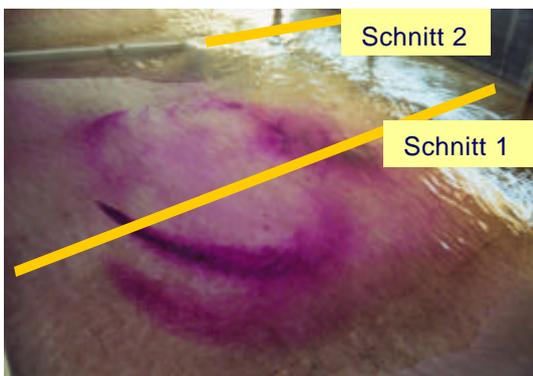
### 6.3.2.1 Hydrodynamische Untersuchungen am hydraulischen Modell

Innerhalb des Projektes wurde ein physikalisches Modell am Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft aufgebaut, welches einen geraden, mit Buhnen verbauten Abschnitt der Elbe nachbilden sollte. Innerhalb dieses Modells wurden u. a. die Strömungsgeschwindigkeiten zweier Buhnenfelder durch ein feines Messraster mit dem ADV aufgenommen. Dabei wurden zwei verschiedene Wasserstände, welche Mittelwasser und Hochwasser entsprechen eingesteuert. Durch numerische Simulation wurde das physikalische Modell exakt nachgebildet und Berechnungen für die gemessenen Wasserstände durchgeführt. Dies sollte die Zuverlässigkeit oder Einschränkungen der



eingesetzten Modelle aufzeigen. Dabei wurde ein 2D sowie 3D finite Elemente Verfahren eingesetzt.

Abbildung 28: Vergleich von gemessenen (ADV) zu berechneten Geschwindigkeiten an Schnitt 1



Anhand von zwei unterschiedlichen Schnitten (Abbildung 29) wurden jeweils die gemessenen Geschwindigkeiten den berechnet gegenübergestellt. Der erste Schnitt (Abbildung 28) führt dabei von der Flussmitte durch die Streichlinienmitte zum gegenüberliegenden Ufer. Der zweite Schnitt führt von der Flussmitte zum Buhnenkopf.

Abbildung 29: Schnitte zum Vergleich zwischen physikalischem und numerischen Modell

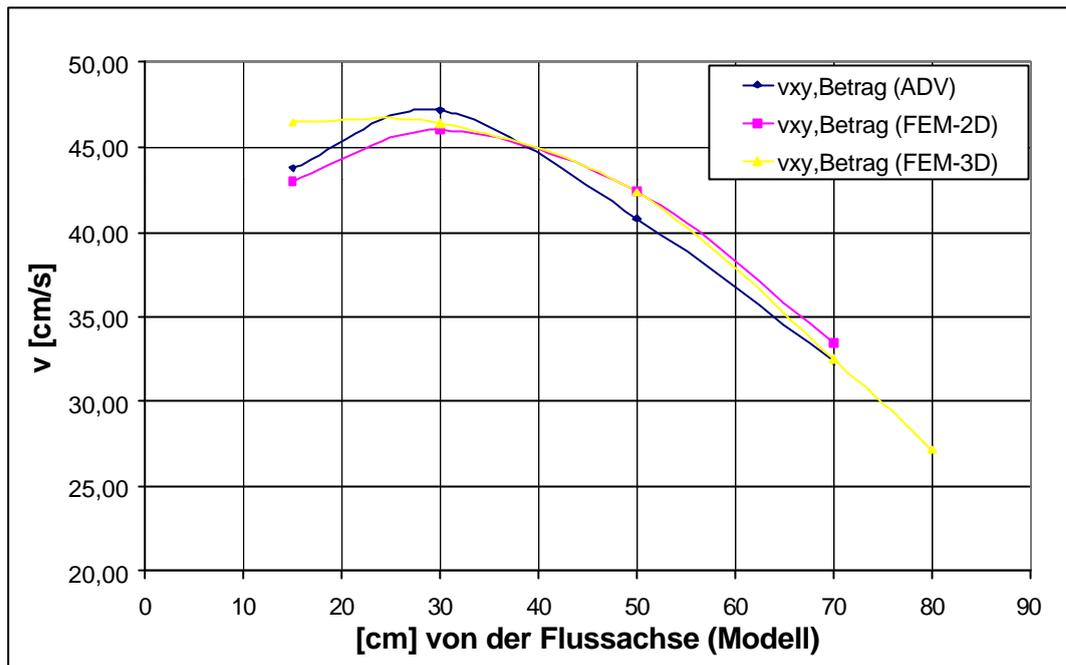


Abbildung 30: Vergleich von gemessenen (ADV) zu berechneten Geschwindigkeiten an Schnitt 2

Aus den beiden letzten Abbildungen wird deutlich, dass es keine großen Unterschiede zwischen 2D und 3D Modellierung an den gezeigten Schnitten gibt. Die tiefengemittelte Simulation liegt in Abbildung 30 sogar näher an den gemessenen Werten als die 3D Simulation. Abweichungen existieren im Bereich der Streichlinie (Abbildung 28, bei  $s = 70 - 100\text{cm}$ ), was durch den verwendeten Turbulenzansatz zu begründen ist. Ob ein  $k-\varepsilon$  Verfahren hier die gemessenen Geschwindigkeiten besser abgebildet hätte wurde nicht näher geklärt. Die Ergebnisse des Vergleichs führten jedoch in der weiteren Projektbearbeitung zur Verwendung des 2D Modells, da hier auch die Rechenzeiten um eine Größenordnung niedriger waren als bei dem 3D Modell.

### 6.3.2.2 Strömungsgeschwindigkeiten im Buhnenfeld bei Elbekilometer 418,4

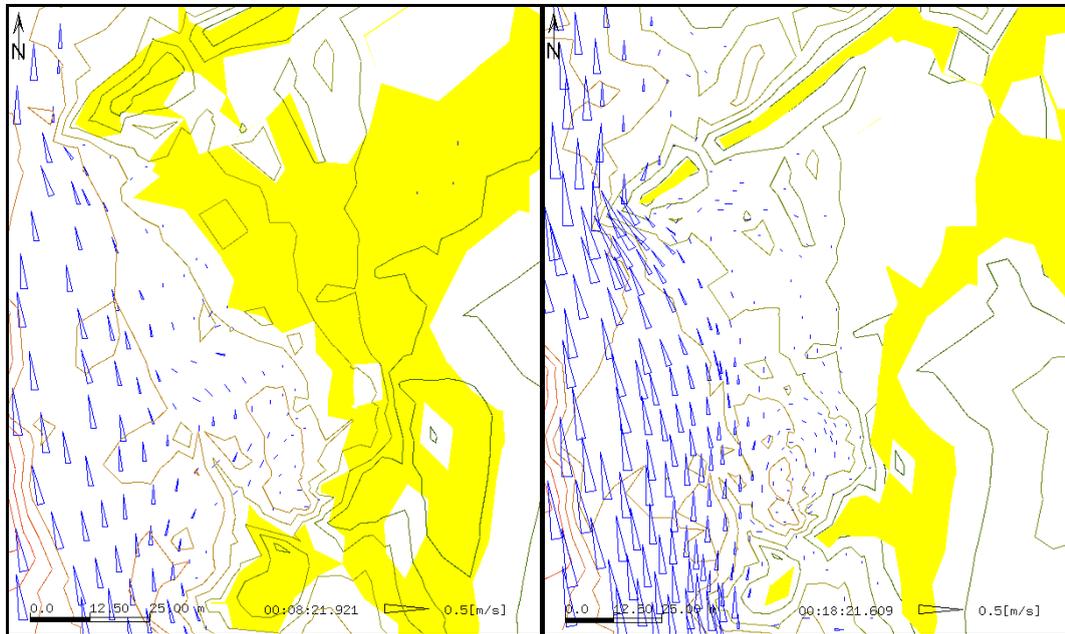


Abbildung 31: Berechnete Geschwindigkeitsverteilungen im Buhnenfeld bei Elbekilometer 418,4 bei Niedrigwasser (links) und Mittelwasser (rechts)

In Abbildung 31 sind die Geschwindigkeitsvektoren über dem ersten Untersuchungsgebiet dargestellt. Die gelben Flächen stellen trockene Bereiche dar. Im ersten der fünf untersuchten Buhnenfelder findet sich bei Niedrigwasserlagen keine Buhnenfeldwalze. Das Buhnenfeld ist bei Niedrigwasserlagen lediglich schwach durchströmt, in den inneren Eckbereichen, nahe der Buhnenwurzel, finden leichte Rezirkulationsströmungen statt, welche vor allem im Bereich der stromaufwärtigen Buhnenwurzel zur Sedimentation von feinstem Material führen. Bei Mittelwasser ist vor allem im Bereich der Streichlinie ein Anstieg der Geschwindigkeit gut zu erkennen. Jedoch ist auch bei diesen Wasserspiegellagen keine große Wirkung durch die vorhandenen Durchbrüche zu erkennen. Große Teile des Buhnenfeldes in Ufernähe sind annähernd gar nicht durchströmt.

### 6.3.2.3 Strömungsgeschwindigkeiten im Buhnenfeld bei Elbekilometer 419,9

Das Buhnenfeld bei Elbekilometer 419,9 ist durch die Prallhanglage weit mehr der Strömung ausgesetzt als das erste Buhnenfeld. Dies erkennt man aus ## bereits recht gut an der wesentlich höheren Geschwindigkeit im Bereich der Streichlinie. Auf diese Art wird auch wesentlich mehr Impuls in das

Buhnenfeld übertragen, was sich auf die Geschwindigkeiten sowie den Stoffaustausch in diesem Buhnenfeld auswirkt. Ebenfalls gut zu erkennen ist, dass bei Mittelwasser die stromabwärtige Buhne bereits überströmt ist, was bei diesem Flusskilometer mit dem schlechten Zustand der Buhnen zu erklären ist. In diesem Buhnenfeld ist die Buhnenfeldwalze auch bei niedrigen Wasserständen gut zu erkennen.

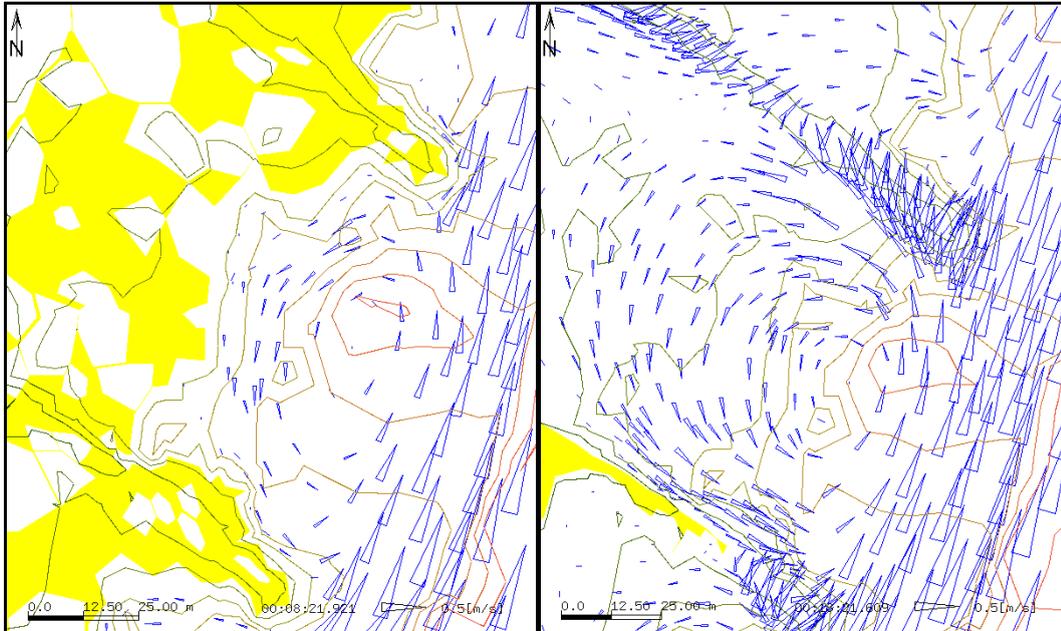


Abbildung 32: Berechnete Geschwindigkeitsverteilungen im Buhnenfeld bei Elbekilometer 419,9 bei Niedrigwasser (links) und Mittelwasser (rechts)

#### 6.3.2.4 Strömungsgeschwindigkeiten im Buhnenfeld bei Elbekilometer 423,4

Das Buhnenfeld, das sich von der Strömung am deutlichsten von den übrigen unterscheidet ist das Untersuchungsfeld bei Elbekilometer 423,4. Die Buhnenfeldwalze findet sich sowohl bei niedrigen als auch bei mittleren Wasserspiegellagen wieder. Außerdem existiert in diesem Feld eine zweites Walzensystem, welches bei Mittelwasser gut im stromabwärtigen Teil des Buhnenfeldes zu erkennen ist. Im Eckbereich der stromaufwärtigen Buhne ist eine sekundäre Walze zu erkennen. Insgesamt sind die Strömungsgeschwindigkeiten in diesem Buhnenfeld den Geschwindigkeiten des vorigen im Betrag ähnlicher als dem ersten Buhnenfeld. Durch die Sekundärwalze mit den verbundenen niedrigen Strömungsgeschwindigkeiten ist in diesen Bereichen mit Ablagerung von feinstem Material zu rechnen. Auch dieses Buhnenfeld befindet sich in einer Prallhanglege, sodass auch hier die Strömung im Bereich der Streichlinie bereits wesentlich größer als bei dem ersten Untersuchungsfeld ist.

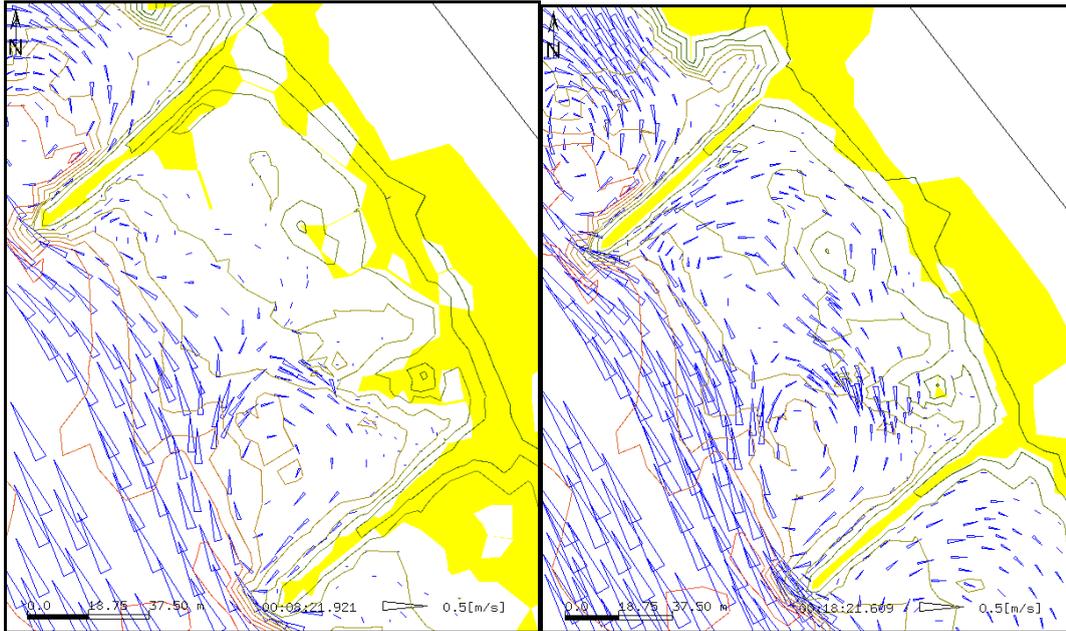


Abbildung 33: Berechnete Geschwindigkeitsverteilungen im Buhnenfeld bei Elbekilometer 423,4 bei Niedrigwasser (links) und Mittelwasser (rechts)

### 6.3.2.5 Strömungsgeschwindigkeiten im Buhnenfeld bei Elbekilometer 425,2

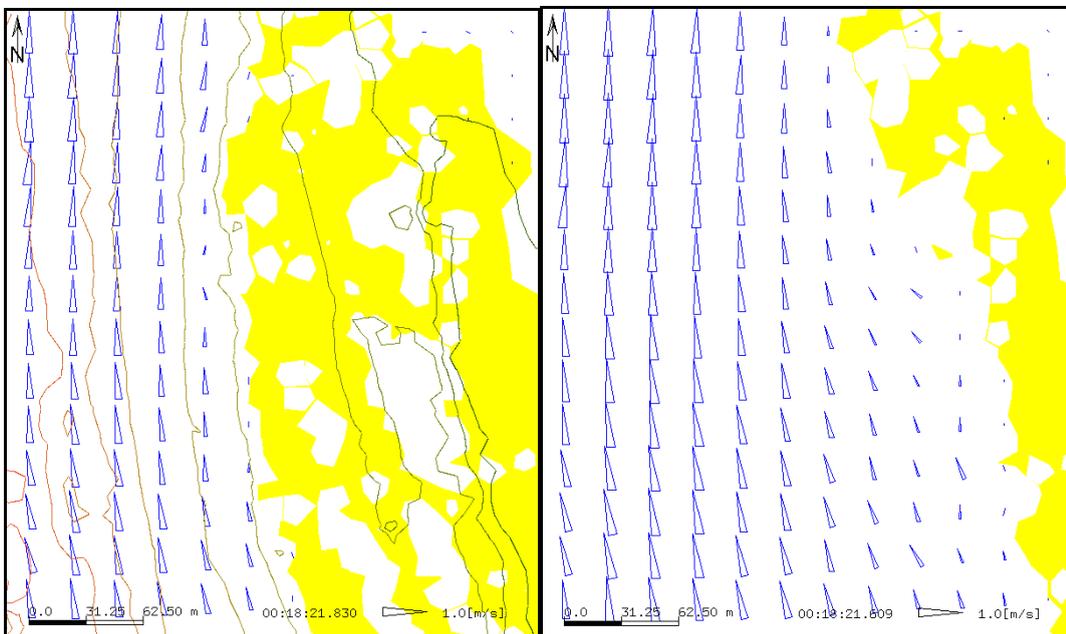


Abbildung 34: Berechnete Geschwindigkeitsverteilungen im Buhnenfeld bei Elbekilometer 425,2 bei Niedrigwasser (links) und Mittelwasser (rechts)

Das Untersuchungsfeld bei Elbekilometer 425,2 und auch das bei Elbekilometer 427 ist kein Buhnenfeld, da die Buhnen hier vollständig versandet sind (Elbekilometer 425) oder gar nicht erst existieren (Elbekilometer 427). Daher fallen diese beiden Untersuchungsflächen vollständig aus dem

Rahmen, was sich auch in der Zusammensetzung der Sedimente gut zeigt. Die Aufenthaltszeiten des Flusswassers sind wesentlich geringer als bei einem Buhnenfeld. Die Geländegradien sind ebenfalls bei beiden Untersuchungsflächen geringer wie im Vergleich zu den drei Buhnenfeldern. So herrschen im Mittelwasserfall hohe Strömungsgeschwindigkeiten, vor allem bei Elbekilometer 425 vor, die zwischen 30 und 60 cm betragen. Das Untersuchungsfeld bei Elbekilometer 427 liegt in einer Gleithanlage und weist damit nicht so hohe Strömungsgeschwindigkeiten auf. Bei beiden Untersuchungsflächen ist jedoch die Dynamik der Flächen welche in Abhängigkeit des Wasserstandes trockenfall beziehungsweise nass sind sehr hoch.

### **6.3.3 Morphodynamische Modellierung**

Die Kenntnis von Kornverteilungen und Sedimentumlagerungen ist für die Prognose von Lebensgemeinschaften im benthischen Bereich eine Grundvoraussetzung. Hierin spiegelt sich unmittelbar das Projektziel wieder, weshalb diesem Punkt eine zentrale Rolle bei den Arbeiten zukam. Wie bereits aus Kapitel 6.3 hervorgegangen ist, stellt der Aufbau der Geschwindigkeiten sowie die Verteilung der Wassertiefen und Sohlgradienten eine von Buhnenfeld zu Buhnenfeld stark variierende Situation dar, was sich erst recht in der Verteilung der Sohlsubstrate bemerkbar macht. Berechnet wurden Kornverteilungen für unterschiedliche Wasserstände, sowie für ein Hochwasserereignis aus dem Jahr 1998. Weiterhin wurden Berechnungen für eine Studie angestellt, bei der die Buhngeometrie durch ökologischen Überlegungen seitens des Teilprojektes Biologie abgeändert wurden.

#### **6.3.3.1 Berechnung von Kornverteilungen unter stationären Mittelwasserbedingungen**

Zunächst soll eine Mittelwasserberechnung dargestellt werden, da sie etwa den Wasserstand trifft, der zu Beginn der Wachstumsperiode vorherrscht. Mit dem vorhandenen Strömungsfeld einer 2D Simulation wurde die Berechnung der Morphodynamik begonnen. Die Schwierigkeit besteht im relativ unbekanntem Anfangszustand der sedimentologischen Struktur.

Zu Anfang der Simulation wird das gesamte Modellgebiet, welches als Kornmatrix angesehen werden kann, aus einem Material gebildet. Dabei ist die Topographie in horizontale Schichten definierbarer

Dicke eingeteilt. Im vorliegenden Fall wurde mit einer Schichtmächtigkeit von 0,17 m gerechnet, welches in der Größenordnung des beprobten Sohlhorizontes, sowohl im Sinne der Sedimentbeprobungen als auch der aquatischen Probenahme liegt. Für den offenen Modellrand wird eine Gleichgewichtstransportbeziehung aufgestellt, sodaß die Strömung soviel Sediment transportiert wie der Strom an dieser Stelle es aufgrund der angreifenden hydrodynamischen Kräfte tun würde. Das Sediment, welches in das Modell eingesteuert wurde, stellt ein mittleres Korngemisch aus den durchgeführten Untersuchungen über zwei Probejahre dar. Vergleicht man die Werte mit mittleren Korndurchmessern aus der Literatur, dann könnten die für die Berechnung zugrunde gelegten Werte ( $d_m = 0.7 \text{ mm}$ ) etwas gröber sein. In der Natur sind jedoch ebenfalls große Schwankungen vorhanden, sodass auch hier keine eindeutige Vorgabe aufgrund anderer Untersuchungen (BAW, BFG) besteht.

Da mehrere Kilometer Flussschlauch morphodynamisch modelliert werden, ergibt sich die Schwierigkeit, dass Sohlmaterial an Stellen exponiert ist, die Schubspannungen aufweisen, welche das Material sofort in Bewegung geraten lassen und umgekehrt solche, an denen Material sedimentiert. Gerade zu Beginn der Simulation viel Material durch das Modell hindurchgerechnet, welches nicht dem Gleichgewichtszustand entspricht. Das verwendete HNM Modell TIMOR ist ein gekoppeltes Modell, welches die Umlagerung infolge Sedimentation beziehungsweise Erosion hydrodynamisch durch die neue Tiefensituation berücksichtigt. Für die richtige Verteilung von Sediment entsprechend der Strömungssituation ist zunächst Rechenzeit erforderlich. Erst nach und nach stellt sich ein stabiler sedimentologischer Zustand mit Gleichgewichtscharakter ähnlich der Natur ein. Feines Sediment, welches anfangs vermehrt im Hauptgerinne liegt, wird durch Geschiebetransport oder Transport in Suspension in Strömungsberuhigte Gebiete umgelagert oder aus dem Modell ausgetragen.

Die berechneten Kornverteilungen in den Buhnenfeldern liegen innerhalb eines durch Messungen belegten plausiblen Wertebereiches. Die zonale Verteilung der berechneten Sedimente ist schwer mit Sedimentuntersuchungen zu vergleichen, da hierfür, trotz der hohen Anzahl, zu wenige Proben vorhanden sind und andererseits die sedimentologische Vorgeschichte unbekannt ist. Ein gutes Beispiel liefern die direkten Vergleich von Sedimentproben zweier Transekte unterschiedlicher Lage und Länge, welche gegeneinander verglichen wurden. Das erste Querprofil liegt bei Elbekilometer 418,4 und hat eine Länge von 76 Meter Obwohl der Eindruck entstehen kann, dass die Berechnung fast exakt den Zustand der realen Sedimentverteilung wiedergibt, liegt ein anderes Querprofil, etwa 7 Kilometer weiter Flussabwärts noch relativ weit neben den Messungen, vergleiche Abbildung 36. Aus diesem Grund wurden die Vergleiche zwischen Natur und Berechnung anhand von Auswertungen über die ganzen Untersuchungsgebiete durchgeführt. Analog der Darstellung von Ergebnissen der Sedimentbeprobung (vergleiche Abbildung 14, Abbildung 15, Anhang ab Seite 95) werden auch die Berechnungen Form dargestellt. An zwei Beispielen eines direkten Vergleiches von Sedimentproben

wird deutlich, dass die kleinräumige Verteilung der Sedimente die Berechnungsmethoden noch vor Probleme stellt. Insgesamt gesehen erscheinen jedoch, vor allem nach einem Abgleich mit den gemessenen Daten, die Berechnungen von der Verteilung der Sedimente her gesehen richtig. Vor allem der unterschiedliche Charakter der fünf Probenahmegebiete auf einem Abschnitt von 10 Kilometer Fließstrecke ist durch die Berechnung richtig wiedergegeben.

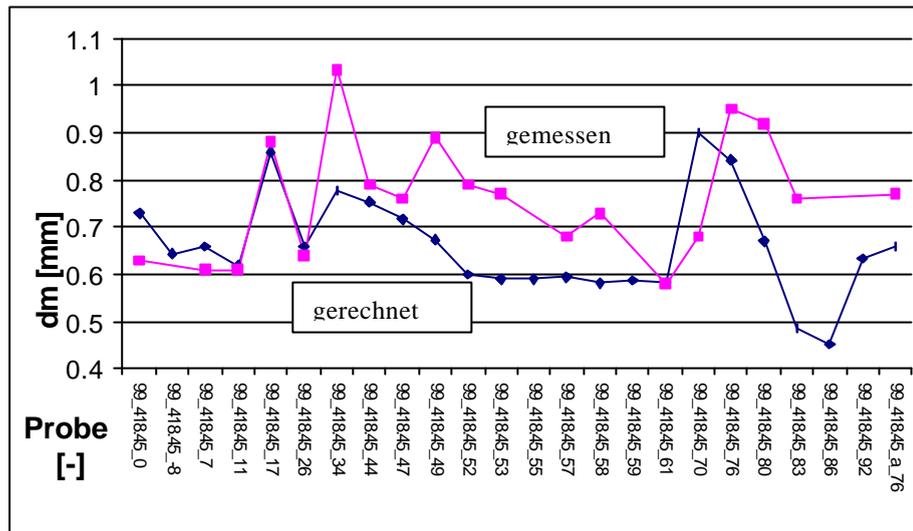


Abbildung 35: Direkter Vergleich eines berechneten Sedimentprofils mit einem gemessenen bei Elbekilometer 418,4

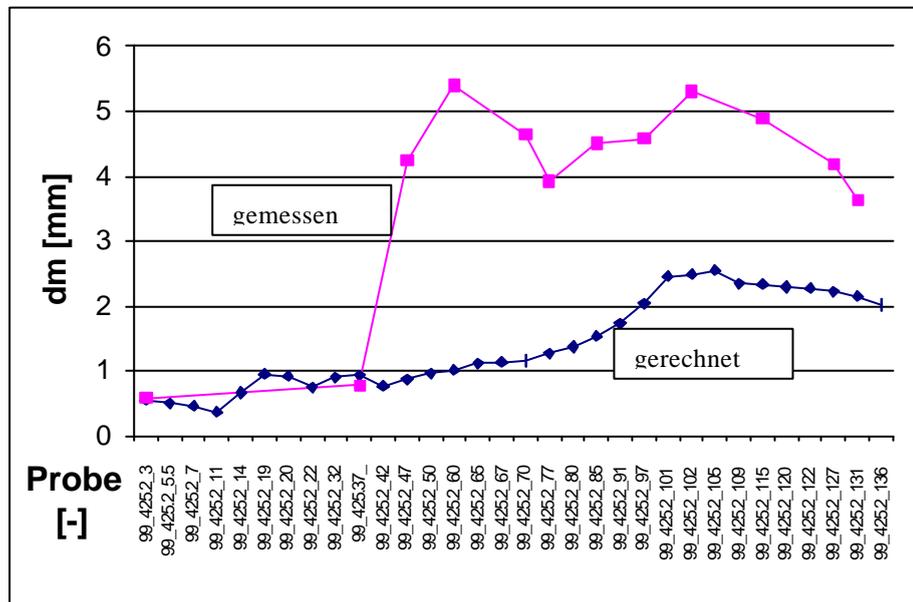
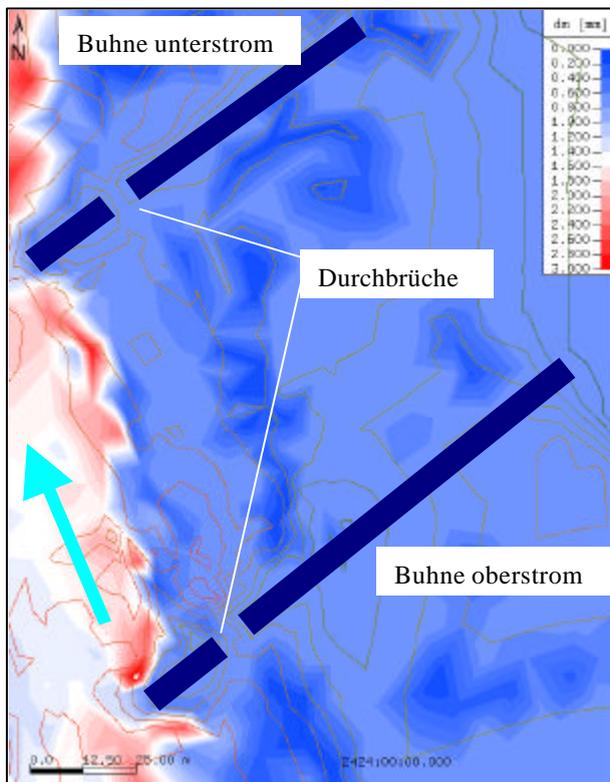


Abbildung 36: Direkter Vergleich eines berechneten Sedimentprofils mit einem gemessenen bei Elbekilometer 425,2

### ***Morphodynamische Berechnungen bei Elbekilometer 418,4 bei MW***



Das Buhnenfeld bei Elbekilometer 418,4 ist durch die beiden Buhnendurchbrüche gekennzeichnet, welche an sich ungewöhnlich sind und eine Ausnahme darstellen.

Die berechneten Korndurchmesser im Buhnenfeld liegen in den strömungsberuhigten flachen Uferbereichen zwischen 0,13 mm und 0,63 mm. Vom Durchbruch der stromauf liegenden Buhne zum Durchbruch der stromabgewandten Buhne zieht sich ein Bereich, welcher zwischen 0,8 mm und 1,0 mm liegt. Dies liegt an der schwachen Durchströmung der Durchbrüche bei dem vorgegebenen Wasserstand.

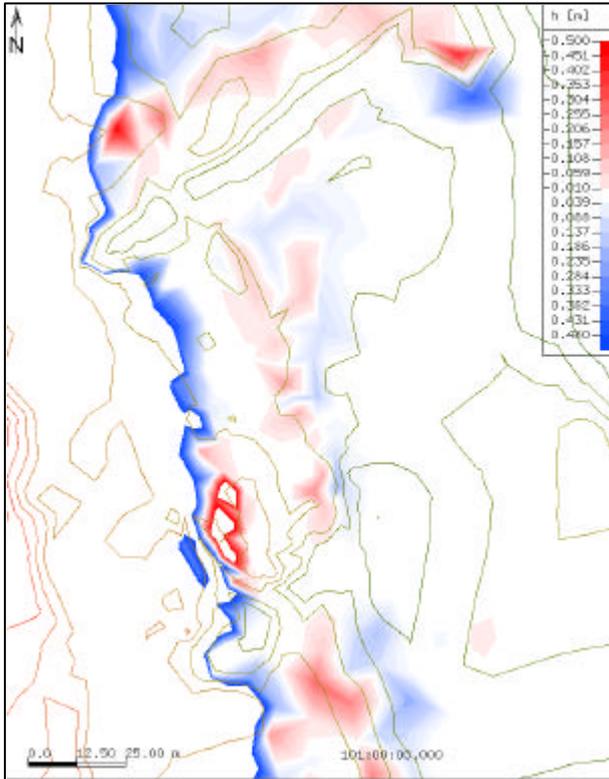
*Abbildung 37: Mittlerer Korndurchmesser und Höhenlinien bei Elbekilometer 418,4*

Normalerweise wäre damit zu rechnen, dass sich der tiefe Kolk auf der Leeseite des Durchbruches der stromaufwärts liegenden Buhne mit feinem Sediment anreichert, da hier die Strömungsgeschwindigkeit durch die große Wassertiefe niedrig sind. Dies ist jedoch nicht der Fall oder zumindest bei Mittelwasser nur ansatzweise. Bevor die Sedimente dann einen deutlich größeren Durchmesser auf der Flussseite der Streichlinie annehmen, ist noch ein weiterer Bereich auf der landseitigen Streichlinie mit sehr feinem Material zu erkennen. Die Verteilung der groben Sedimente im kiesigen Bereich bis zu einem mittleren Korndurchmesser von 3 mm und darüber findet sich im Bereich der luv- und leeseitigen Buhnenköpfe. Allerdings sind die Übergänge von feinem zu grobem Sediment sehr steil und die Verteilung innerhalb der Scherschicht auch nicht gleichmäßig.

In Abbildung 38 ist die Veränderung des Geländes zum zugrundegelegten Ausgangszustand dargestellt und man erkennt, dass sich im Hauptgerinne die Sohle um mehr als einen halben Meter eintieft. Die Veränderungen auf der landwärtigen Seite der Streichlinie liegen im Bereich der in der Abbildung dargestellten Skala und lassen moderate Zonen der Umlagerung von Sediment erkennen.

Dass ein Buhnenfeld mit vorgegebener Kornverteilung Veränderungen durch Umlagerungen erfährt, ist in der nicht zur Anfangskornverteilung passenden Sohlstruktur begründet. Die Sedimentproben

innerhalb des Projektes wurden vorwiegend bei Niedrigwasserlagen entnommen. Die Zusammensetzung der Proben, genau wie die Topographie des Buhnenfeldes, ist auf die Einwirkung der vorangegangenen höheren Wasserstände zurückzuführen. Daraus ergeben sich zum Teil



widersprüchliche Zustände wie beispielsweise niedrige Strömungsgeschwindigkeit bei Niedrigwasser und vorgefundenem feinem Sediment, sodass, wie bereits erwähnt, sich wahrscheinlich durch das in der Berechnung angesetzte Abflussereignis Effekte hervortreten, die im Laufe der Berechnung noch durch Umsortierung abklingen werden. Da aber auf der anderen Seite die Veränderungen innerhalb eines Buhnenfeldes normalerweise als nicht zu gravierend angesehen werden dürften, muss der Fehler oder die Umlagerung im Buhnenfeld wesentlich geringer bleiben als beispielsweise im Hauptgerinne. Dass dies auch so ist, ist in der Abbildung zu erkennen. Die Änderungen

innerhalb des Buhnenfeldes liegen um 610 cm, was auf eine Umverteilung durch das Mittelwasserereignis schließen lässt.

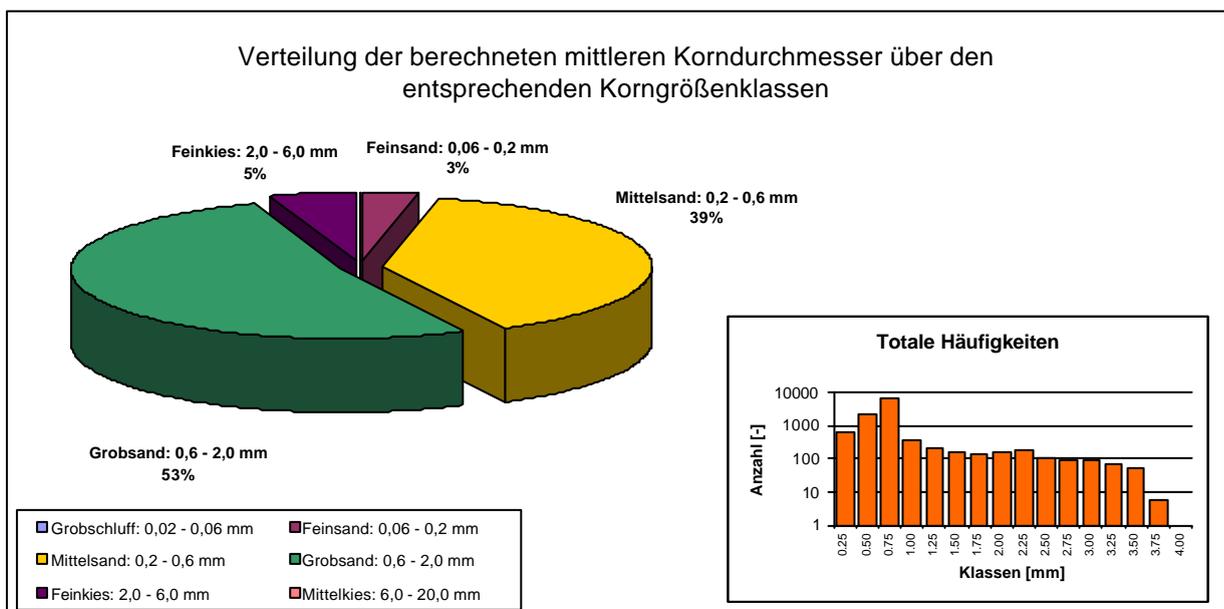
Abbildung 38: Geländedifferenz zum Ausgangszustand und Höhenlinien bei Elbekilometer 418,4

Abbildung 39: Mittlerer berechnete Korndurchmesser für Untersuchungsfeld bei Elbekilometer 418,4

Die Zone zwischen den Durchbrüchen ist wie die Korngrößenverteilung von Geländeänderungen ausgenommen. Lediglich auf der flusszugewandten Seite des großen Kolkes nach der oberstromseitigen Buhne ist Sedimentation von deutlich über einem halben Meter in der Berechnung zu erkennen. Dies kann nur bedeuten, dass Material aus dem Buhnenfeld durch die Feldwalze, welche sich erst ab Wasserspiegellagen etwa bei Mittelwasser herausbildet, in diesem Bereich abgelagert wird.

Betrachtet man die integrale Verteilung des mittleren Korndurchmessers aufgrund der Berechnungen dann ist die Annäherung an die gemessenen Werte aus dem ersten Untersuchungsjahr sehr gut. Die gemessenen und berechneten Werte betragen für Mittelsand (0,06 mm – 0,2 mm) 39 %. Der Anteil der Fraktion im grobsandigen Bereich (0,6 mm – 2,0 mm) beträgt bei der Messung mit 51 % (vergleiche Abbildung 14), hingegen bei der Berechnung 53 %. Der Feinkiesanteil wird in der Berechnung mit 5 % gegenüber 10 % unterschätzt. In der Simulation wird für das Untersuchungsgebiet weiterhin ein Feinsandanteil von 3 % berechnet, der durch die Messungen nicht bestätigt werden konnte.

Insgesamt gesehen werden die Anteile jedoch durch die Simulation sehr gut getroffen, was die integrale Betrachtung des Buhnenfeldes aus Sicht der sedimentologischen Zusammensetzung rechtfertigt. Ein Punktweises betrachten erscheint auch aufgrund der Ablagerungsgeschichte als zu



aufwendig. Der Nachweis, dass die Sedimentfrachten integral richtig getroffen sind spricht für die gute Anwendbarkeit von TIMOR zur Berechnung der Sedimente in Buhnenfeldern und Fließgewässern wie der mittleren Elbe.

**Morphodynamische Berechnungen bei Elbekilometer 419,9 bei MW**

Das Buhnenfeld liegt in Prallhanglage, was bedeutet, dass sich die Strömungsgeschwindigkeiten stärker in das Buhnenfeld hinein auswirken müßten. Interessant ist, dass die mittleren gemessenen Geschwindigkeiten in diesem Untersuchungsgebiet den geringsten Wert von 7,62 cm/s besitzen. Dies kann daran liegen, dass die Sohlgradienten deutlich vom Hauptgerinne zum Buhnenfeld hin ansteigen und sich somit ein vergleichsweise geringer Wasserkörper im Buhnenfeld befindet, der durch Anströmung keinen großen Impuls erhält. An der rot eingefärbten Zone größerer Sedimente in der Streichlinie ist die Ablagerung feinkiesiger Sedimente zu erkennen. Auf der uferseitigen Streichlinie kommt relativ feines Material zur Deposition, welches steile Gradienten in den mittleren Korndurchmessern in diesem Bereich bedeutet. Auch bei Messfahrten mit dem ADCP sind steile Geschwindigkeitsgradienten im Bereich der Streichlinie gemessen worden was zu einer entsprechenden Sedimentation führt. Das Verteilungsmuster innerhalb des Buhnenfeldes, indem feine Sedimente gemäß Messung und Beobachtung im Bereich zwischen 0,1 mm und 0,6 mm dominieren ist heterogen aufgebaut.

In der linken oberen Ecke von ist ein kleiner Bereich größerer Sedimente zu erkennen, welcher im Bereich des nahen Durchbruches der stromabwärtigen Buhne deponiert ist.

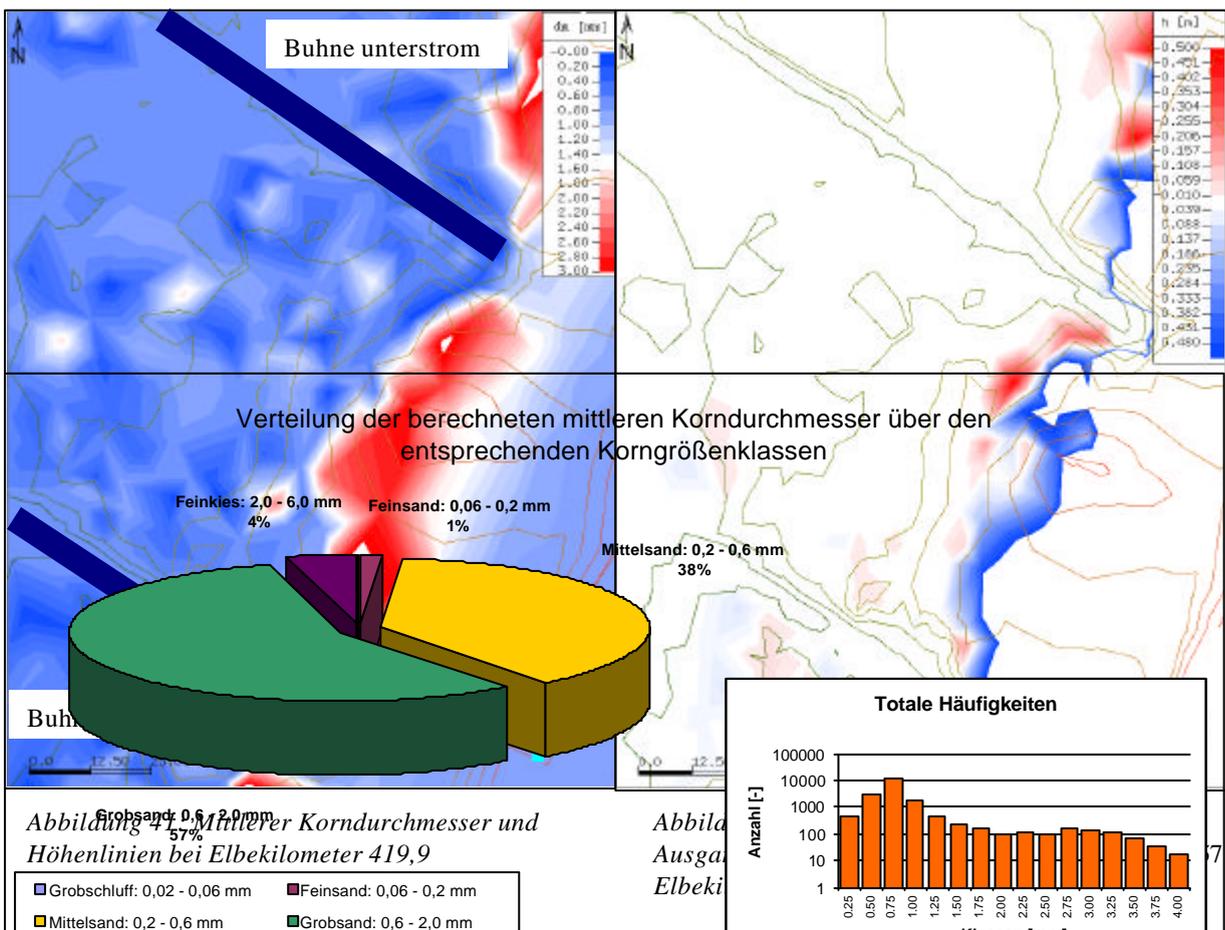


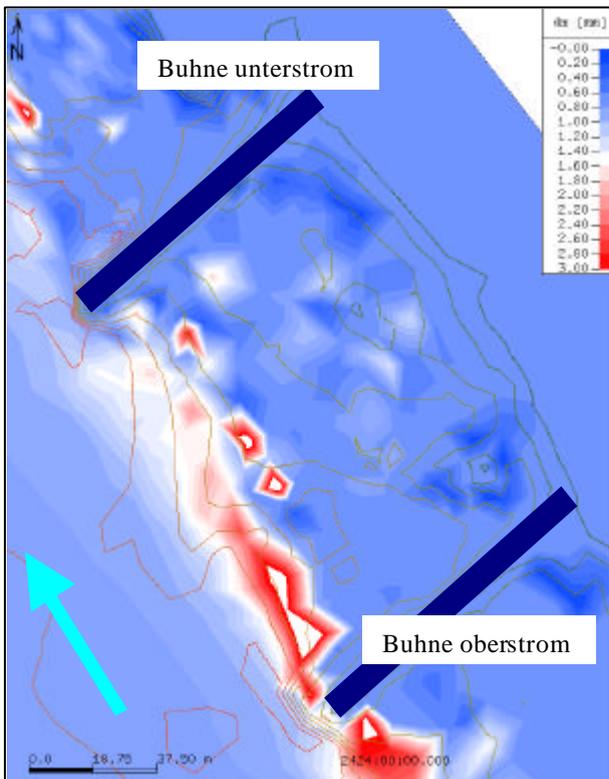
Abbildung 4: Mittlere Korndurchmesser und Höhenlinien bei Elbekilometer 419,9

Abbildung 5: Ausg... Elbeki...

*Abbildung 42: Mittlerer berechnete Korndurchmesser für Untersuchungsfeld bei Elbekilometer 419,9*

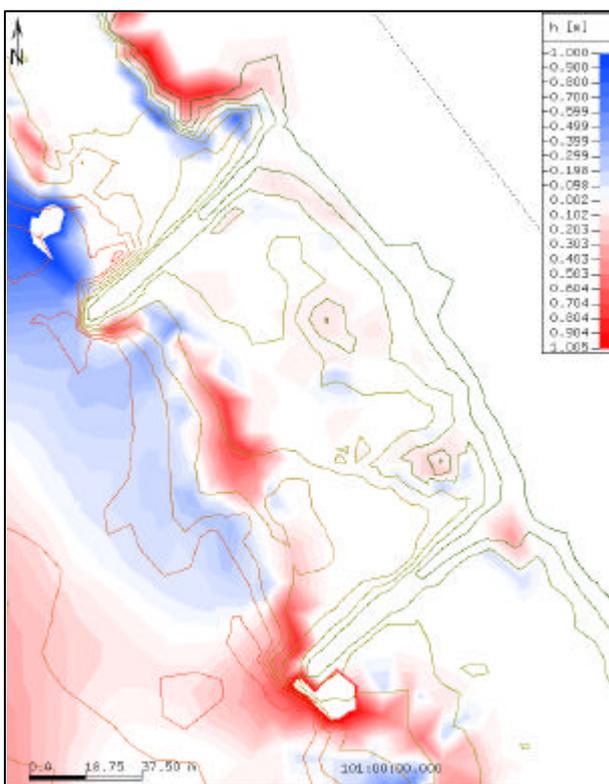
Bei einem Vergleich zwischen den berechneten und gemessenen Größen (vergleiche Abbildung 71) wird der Grobsandanteil in der Berechnung mit 57 % im Gegensatz zu den gemessenen 42 % überschätzt. Umgekehrt liegt der Mittelsandanteil in der Berechnung 18% unter dem gemessenen Anteil. Feinkiesige Fraktionen werden um 2 % zu hoch berechnet, spielen aber insgesamt, genau wie der Feinsandanteil keine Rolle. Gründe für eine Abweichung der Berechnung von den gemessenen Werten liegen in der fehlenden sedimentologischen Erfassung der Streichlinie

### Morphodynamische Berechnungen bei Elbekilometer 423,4 bei MW



Dieses Buhnenfeld befindet sich in einer leichten Prallhanglage. Allerdings liegt es am Ende der Flusskrümmung, wobei die Hauptströmung sich bereits wieder zur Gerinnemitte hin verlagert (siehe auch ADCP Messungen, ###). Dieses Buhnenfeld ähnelt im Sedimentationstyp dem Buhnenfeld bei Elbekilometer 418,4, da sich auch hier in der Scherschicht zwischen den Buhnenköpfen ein Sedimentband mit großen Gradienten im mittleren Korndurchmesser befindet und die flachen uferseitigen Bereiche des Buhnenfeldes Zonen mit feinen Sedimenten aufweisen. Zu erwähnen ist hierbei wieder die Besonderheit des abgelagerten Baggergutes im Wurzelbereich der oberstromigen Leeseite der Buhne.

Abbildung 43: Mittlerer Korndurchmesser und Höhenlinien bei Elbekilometer 423,4



Hier stellen sich im realen Fall sehr feine Sedimente ein, die einen hohen organischen Anteil aufweisen. In der Berechnung kommen diese Bereiche gut heraus. Eine weitere Sedimentationszone sehr feinen Materials findet sich in der oberen rechten Ecke der Buhnenfelder, welche ebenfalls feine Mudden mit hohem organischem Anteil aufweist. Interessanterweise zeigt sich am stromaufwärts gelegenen Buhnenkopf wieder sehr grobes Sediment, wohingegen dies am stromabwärts gelegenen Buhnenkopf nicht der Fall ist. Dies liegt möglicherweise auch bereits an der

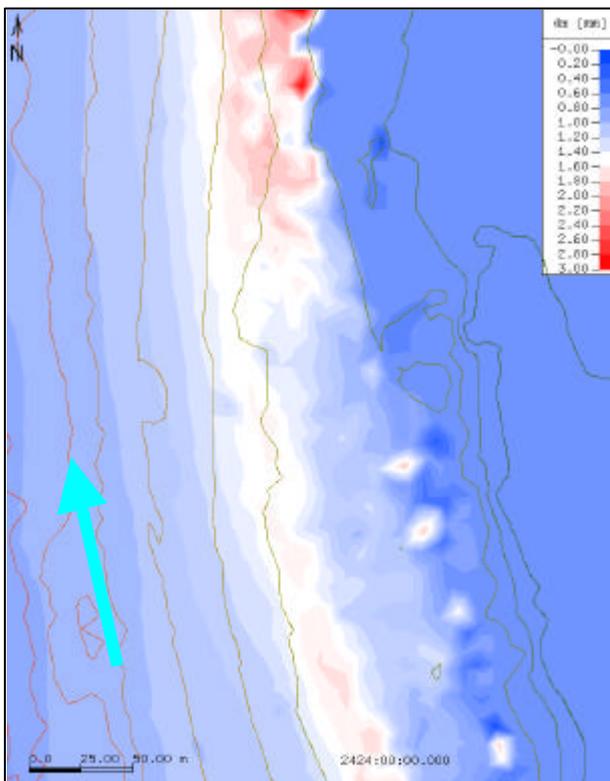
abschwenkenden Strömung zur Strommitte hin.

Abbildung 44: Geländedifferenz zum Ausgangszustand und Höhenlinien bei Elbekilometer 423,4

In der Scherschicht findet sich wie bereits bei den zwei vorher besprochenen Buhnenfeldern grobes Sediment im Durchmesser 13 mm und darüber, was das Ende des sandigen und den Beginn des kiesigen Bereiches darstellt.

Die Veränderung der Tiefenlagen infolge Mittelwasser zeigt wie bei den anderen Buhnenfeldern schwache Tendenzen innerhalb des Buhnenfeldes, aber deutliche Veränderungen im Hauptgerinne. Aus Darstellungsgründen wurde der Wertebereich um einen halben Meter nach beiden Seiten ausgedehnt. Interessanterweise gibt es in diesem Buhnenfeld nur ganz schwache Tendenzen zu Verlandung und mehr Erosion als bei den zuvor dargestellten Buhnenfeldern. Die Strömung flacht die Gradienten der Ausgangssohle im Bereich der Scherschicht ab und sorgt auch für eine Eintiefung an den luvseitigen Buhnenköpfen. Besonders der obere Buhnenkopf ist besonders stark der Strömung ausgesetzt, da er der erste Buhnenkopf nach einem Leitwerk ist und sich in der Außenkurve befindet.

### ***Morphodynamische Berechnungen bei Elbekilometer 425,2 bei MW***



Die Verteilung des mittleren Korndurchmessers bei Elbekilometer 425,2 unterscheidet sich von den drei bereits dargestellten Kornverteilungen in den Buhnenfeldern stromaufwärts dadurch, dass sich hier keine großen Sprünge in den mittleren Korndurchmessern einstellen. Die untersuchten Flächen werden gröber berechnet als die umliegenden, was in etwa den Beobachtung durch die gemachten Felduntersuchungen entspricht. Die berechneten Korndurchmesser bewegen sich im Untersuchungsfeld etwa zwischen 1,5 mm und 3 mm und damit im Grobsand beziehungsweise Feinkies. Dieser Trend verstärkt sich flussabwärts noch etwas.

Abbildung 45: Mittlerer Korndurchmesser und Höhenlinien bei Elbekilometer 425,2

Die Felduntersuchungen ergaben in diesem Buhnenfeld die größten Korndurchmesser, die noch über den berechneten liegen. Dass diese Korndurchmesser bei Mittelwasser nicht herausgerechnet werden können, liegt an der eingesteuerten Wassermenge, welche nicht die erforderlichen Strömungsgeschwindigkeiten erbringt, wie dies bei einem Hochwasserereignis der Fall wäre. Hier wird nochmal deutlich, dass für Berechnungen von Kornverteilungen in Buhnenfeldern auch höhere Wasserstände eine große Rolle spielen, da erst dann Sedimente im ufernahen Bereich bewegt und umgelagert werden können.

Das untersuchte Flussufer bei Elbekilometer 425 weist nur ganz geringe Geländegradien auf (siehe Abbildung 7). Zum Mittelwasserbord hin ist das Ufer stark angebösch und steigt um etwa 2 m auf das Niveau des Deichvorlandes an. Im Übergangsbereich ergeben sich durch die Berechnung feinere Sedimente, welches auch in der Natur beobachtet wurde.

Die Geländehöhen verändern sich deutlich über dem dargestellten Gebiet und es wird bei Mittelwasser überall, ausgenommen im Hauptgerinne, erodiert.

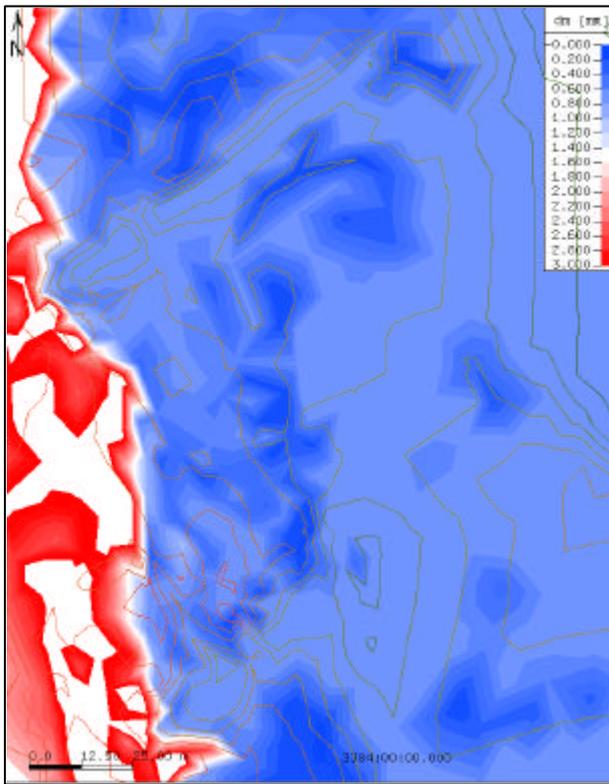
### 6.3.3.2 Berechnung von Kornverteilungen unter stationären Niedrigwasserbedingungen

.Die Berechnung der Kornverteilungen infolge längerer Niedrigwasserperioden erscheint unter dem Aspekt der sich entwickelnden Biozönose in den Sommermonaten, in denen Bedingungen niedrigen Abflusses vorherrschen, sehr wichtig. Als Ausgangssituation wurde die berechnete und plausible Kornverteilung der Mittelwasserberechnung herangezogen.

#### ***Morphodynamische Berechnungen bei Elbekilometer 418,4 bei NW***

*Die Kornverteilung infolge der Niedrigwasserberechnung ist in Abbildung 46 dargestellt. Die feinen Sedimente im Bereich zwischen 0,09 mm und 0,2 mm haben zugenommen. Dies zeigt sich in den Eckbereichen des Buhnenfeldes sowie im Kolk nach dem Durchbruch der stromaufgelegenen Buhne sowie auch im strömungsberuhigten Teil der Scherschicht. Insgesamt hat sich das Sedimentationsmuster nicht stark verändert. Bei niedrigeren Wasserspiegellagen besteht zudem der in der Natur beobachtete Effekt, dass feines Material in flachen*

Bereichen konsolidiert. Das konsolidierte Material besitzt andere physikalische Eigenschaften als nicht konsolidiertes und würde bei der Remobilisierung im Modell leichter transportiert werden als dies in Wirklichkeit der Fall ist. Dieser Vorgang erfordert jedoch weitere Untersuchungen und ist Gegenstand künftiger Forschung.



Auffällig ist die Vergröberung von Sediment ab der Scherschicht zum Hauptgerinne hin. Dies ist möglicherweise auf den bei Wasserspiegellagen unter MW immer mehr zurückgehenden Reibungseinfluss der Buhnen, welche bei Niedrigwasser nahezu vollständig aufgetaucht sind, zurückzuführen. Beobachtungen während der geodätischen Vermessung, bei der auch über die Buhnenköpfe hinaus gemessen werden konnte (mit Wathose) bestätigen das Vorhandensein einer kiesigen Sohle. Dass die Sohle bei MW aussserhalb der Streichlinie im Bereich von  $dm = 3 - 4$  mm liegt, konnte durch Messung nicht nachgewiesen werden, die Vermutung legt dies aber nahe.

Abbildung 46: Kornverteilung und Höhenlinien bei Elbekilometer 418,4

Im Lee der unterstromigen Buhne sammelt sich vermehrt feines Material im Vergleich zum Lee der oberstromigen Buhne. Dieser Effekt tritt besonders bei Buhnenfeldern mit einem Graben im Lee der Buhne auf. Dieser Graben ist durch den Herstellungsprozess der Buhne entstanden und wird im Laufe der Zeit durch zwei Mechanismen wieder verschwinden. Sandiges Material mit einem mittleren Korndurchmesser von 1 mm gelangt während Hochwasser (überströmte Buhnen) über die Buhnekrone und kann sich ablagern. Bei Mittelwasserlagen und darunter ist mit einer Deposition von feinem Material unter 0,1 mm auszugehen, welches als Suspensa in das Buhnenfeld gelangt und dort in den tiefen, strömungsberuhigten Baggerrinnenbereichen abgelagert wird.

### ***Morphodynamische Berechnungen bei Elbekilometer 419,9 bei NW***

Die groben Sedimente im Bereich der flussseitigen Scherschicht werden im Vergleich zur Situation unter MW feiner, jedoch am unterstromseitigen Buhnenkopf bleiben sie grob im Bereich von Grobsand bis Feinkies. Die Flächen innerhalb des Buhnenfeldes tendieren zu feineren Sedimenten, was durch die herabgesetzten Strömungsgeschwindigkeiten auch plausibel ist. Auf der uferseitigen Scherschicht setzt sich feines Material im Leebereich des Buhnenkopfes sowie in der Buhnenfeldmitte ab. Dies wurde bei ähnlich exponierten Buhnenfeldern bereits vereinzelt beobachtet. Da diese Stellen in der Regel auch bei Niedrigwasser eine große Wassertiefe aufweisen, konnten sie innerhalb des Projektes nicht beprobt werden und stellen darüber hinaus auch keine semiterrestrischen Flächen dar.

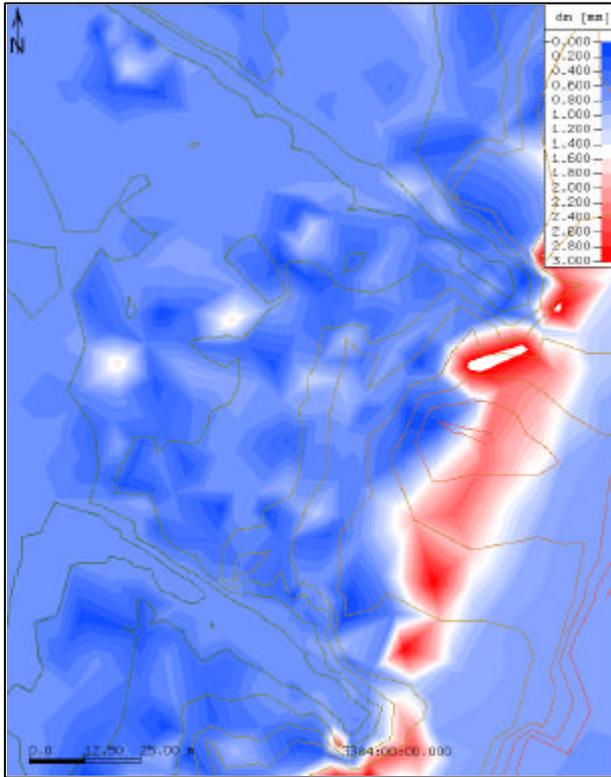
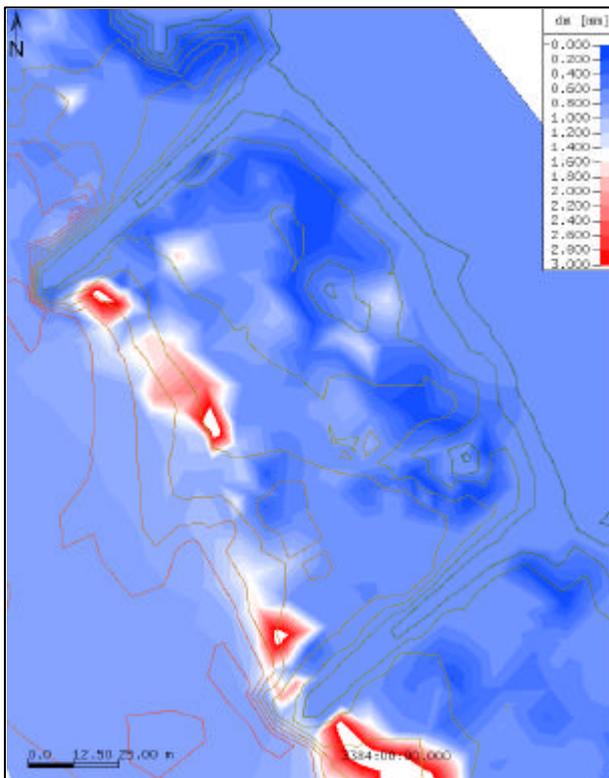


Abbildung 47: Kornverteilung und Höhenlinien bei Elbekilometer 419,9

### ***Morphodynamische Berechnungen bei Elbekilometer 423,4 bei NW***



Der Trend zur Sedimentation von feinem Material bei Elbekilometer 423 ist im Vergleich zu den bereits diskutierten Buhnenfeldern ebenfalls klar erkennbar. Besonders deutlich wird die Sedimentation feiner Partikel in den flachen Bereichen am Ufer sowie auch teilweise an Buhnen, sofern die Geländegradien nicht zu steil sind und in der Mitte der uferseitigen Scherschicht als typischer Ort für Sedimentationen feiner Partikel bei niedrigen Wasserständen. An den Buhnenköpfen jedoch bleiben die Sedimente auf Luv und Lee im Bereich von Feinkies und darüber (Bereichsüberschreitung in der Farblegende).

Abbildung 48: Mittlerer Korndurchmesser und Höhenlinien bei Elbekilometer 423,4

### ***Morphodynamische Berechnungen bei Elbekilometer 425,2 bei NW***

Die Änderungen in diesem Untersuchungsgebiet sind im Vergleich zur Mittelwassersituation ebenfalls deutlich, wobei dieses Gebiet nach der Berechnung zu größeren Korndurchmessern tendiert. Diese Korndurchmesser mit Werten um 3 mm und darüber liegen besser auf der Seite der durch die Feldbeprobung gemessenen Werte. Jedoch wäre auch hier interessant, was sich infolge eines Hochwasserereignisses verändern würde und ob sich gegebenenfalls eine Sohlpflasterung mit stabilem Charakter herausbildet. Die Tatsache, dass im Hauptgerinne im Vergleich zum flachen Vorland feineres Material liegt, deckt sich ebenfalls mit Beobachtungen aus der Natur, denn hier konnte zumindest ein Stück weit in das Hauptgerinne hinein beprobt werden, da der Flussabschnitt relativ breit und ausreichend flach ist. Die Strömungsgeschwindigkeiten bei Niedrigwasser waren jedoch so hoch, dass es teilweise Probleme bereitete, die gewonnene Sedimentprobe zu bergen.

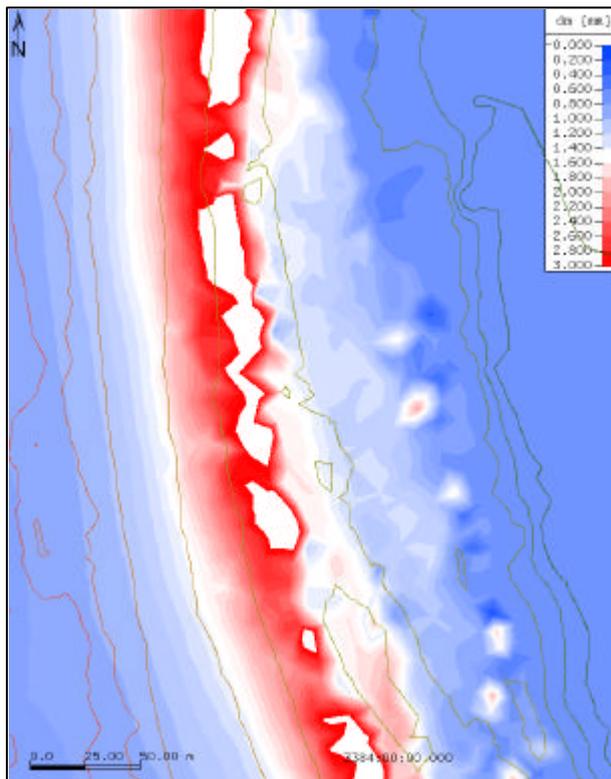


Abbildung 49: Mittlerer Korndurchmesser und Höhenlinien bei Elbekilometer 425,2

### 6.3.3.3 Berechnung von Kornverteilungen unter instationären Bedingungen einer simulierten Hochwasserwelle

Neben den Berechnungen zu stationären Abflusszuständen wurden auch Berechnungen unter instationären Bedingungen durchgeführt. Die eingesteuerten Randbedingungen entsprechen einem Zeitraum von etwa drei Monaten in Anlehnung an ein Hochwasserereignisse vom November 1998.

Da sich ein Hochwasserereignis aller Wahrscheinlichkeit nach am deutlichsten auf die Topographie des Bühnenfeldes auswirkt, ist die Simulation dieses Ereignisses als Vorgriff auf eine geeignete Anfangskornverteilung ebenfalls eine mögliche oder eine bessere Lösung als eine Mittelwasserkornverteilung. Die angesetzte Kornverteilung zu Beginn der Hochwassersimulation entspricht einer eingerechneten Kornverteilung aus einer stationären Mittelwasserrechnung. Nachfolgend werden die bereits vorgestellten Untersuchungsgebiete mit jeweils einer Abbildungsfolge vorgestellt. Die Abbildungen stehen jeweils für die Kornverteilung zu Beginn, auf dem Scheitel und nach Abklingen der Hochwasserwelle.

### *Instationäre Berechnungen bei Elbekilometer 418,4*

In Abbildung 50 lässt sich gut die Entwicklung der Kornzusammensetzung im Buhnenfeld durch die Einwirkungen des Hochwassers erkennen. Es wird deutlich, dass sich die Korndurchmesser innerhalb des Buhnenfeldes nur sehr moderat ändern. Innerhalb der Streichlinie sind die Veränderungen der Kornzusammensetzung deutlich als Verschiebung in den kiesigen Bereich hinein zu erkennen.

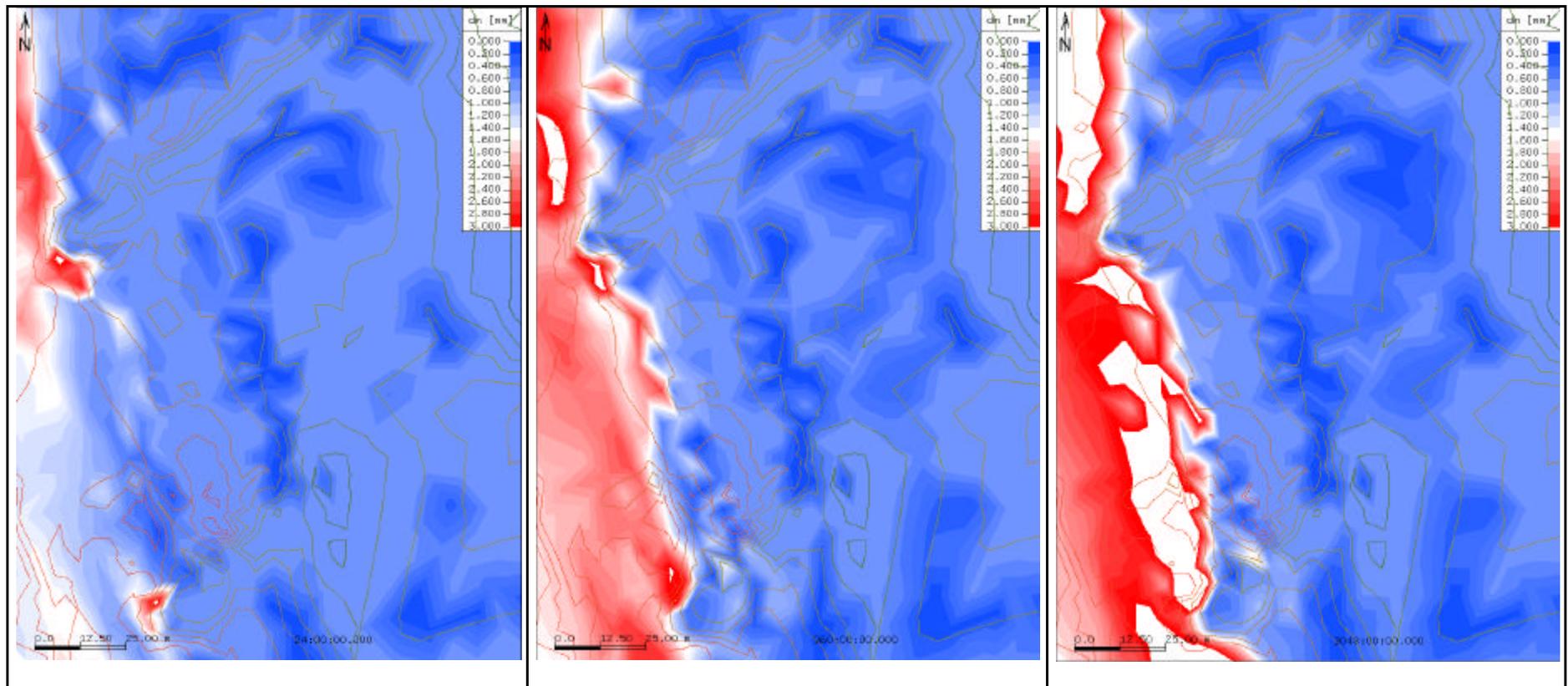


Abbildung 50: Entwicklung des mittleren Korndurchmessers infolge einer Hochwasserwelle bei Elbekilometer 418,4

#### 6.3.3.4 Hydro- morphodynamische Untersuchungen an nach ökologischen Aspekten veränderten Buhnen

Im letzten Projektjahr wurden einige Buhnenfelder innerhalb des numerischen Modells in Zusammenarbeit mit dem Teilprojekt Biologie konstruktiv verändert. Dies sollte die klassische Buhnenfeldgeometrie auflockern und für neue Strömungsmuster in den Buhnenfeldern sorgen welche eine gewisse Attraktivität für benthische Organismen provozieren sollte. Überlegungen dieser Art sind nicht neu, sondern finden sich beispielsweise bei GAUMERT, 1990. Die übliche Buhnenfeldwalze sollte nach Ansicht des Teilprojektes Biologie möglichst beseitigt und ein Durchströmen des Buhnenfeldes statt dessen gewährleistet werden. Die wasserbaulichen Vorschläge konzentrierten sich dabei auf ein weitgehendes Erhalten der vorhandenen Buhnen mit möglichen Umgestaltungen nach baupraktischen Aspekten (beispielsweise Durchbrüche, Haken, Riegel). Es existieren auch Buhnenfelder, die durch unterlassene Sanierung während der DDR Zeit in hydraulisch unwirksamen Zustand fielen. Diese Buhnen, könnten teilweise bevorzugt bei einer möglichen Umgestaltung dazu verwendet werden, nach ökologischen Aspekten Lebensräume zu schaffen, die es augenblicklich nur vereinzelt an der mittleren Elbe gibt. Auch muss betont werden, dass die Betrachtungen welche im Folgenden dargelegt sind nicht an wasserbaulichen Anforderungen orientieren, insbesondere im Sinne der Binnenschifffahrt.

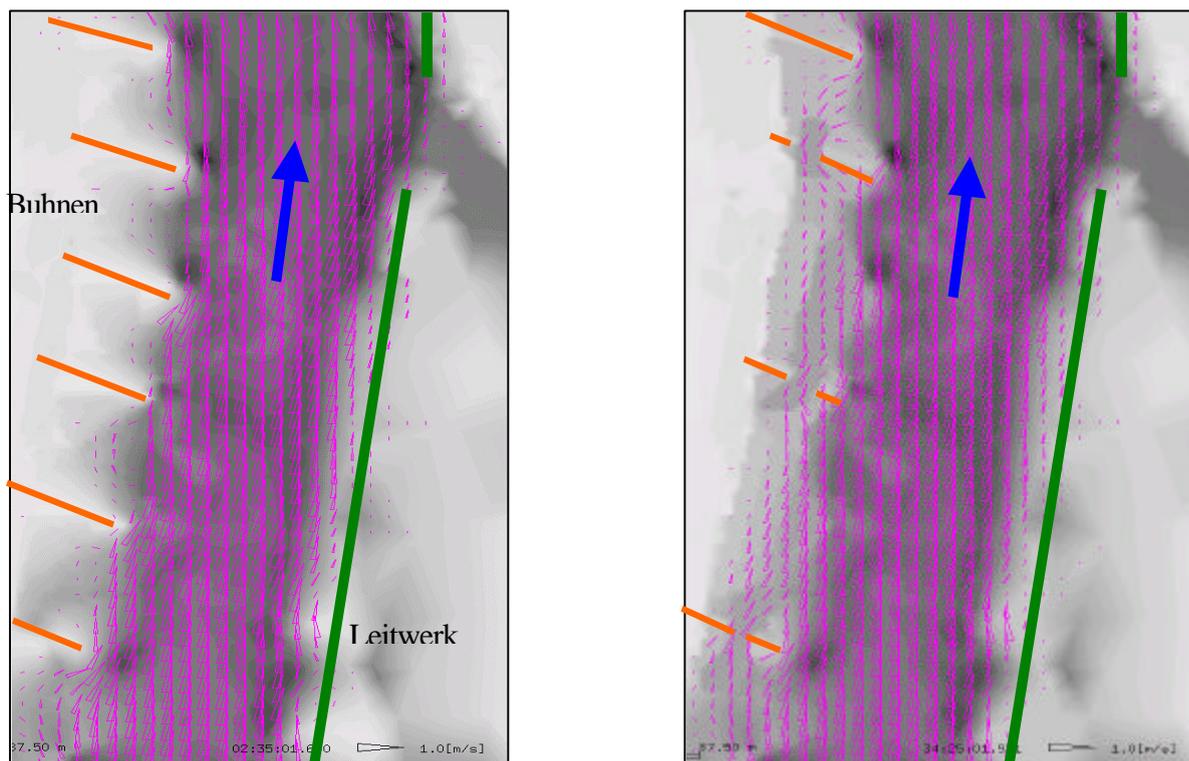
Es stellte sich zum einen die Frage, wie sich die umgestalteten Buhnenfelder von ihrer Hydrodynamik im Vergleich zum vorigen Zustand verhalten würden, beziehungsweise ob sie den biologischen Anforderungen, welche sich leider nur sehr unscharf formulieren lassen (vergleiche dazu biologischer Teil des Endberichtes), nach den Umgestaltung gerecht wurden. Andererseits sollte morphodynamisch ein Ereignis simuliert werden, welches einem durchschnittlichen Hochwasser an der Elbe nahe kommt (circa 1660 m<sup>3</sup>/s) um zu zeigen, dass die Maßnahmen auch eine gewisse Langlebigkeit besitzen und nicht bereits nach dem ersten Hochwasser versanden und somit genau das Gegenteil des angestrebten Zieles erleiden.

Im folgenden werden drei der fünf Varianten vorgestellt und anhand von Strömungsgeschwindigkeiten, welche sich aufgrund der Umbauten ergeben, diskutiert. Weiterhin wird die Auswirkung des Hochwassers dargestellt und im wasserbaulichen Sinne versucht zu bewerten.

#### ***Variante A: Alternierender Durchbruch in der Lage***

**Beschreibung:** Feldgruppe A besteht aus sieben gewöhnlichen Buhnenfelder auf der linken Uferseite bei Elbekilometer 422,5 (Standort der Elbfähre Havelberg), wobei alternierend jede zweite Buhne auf ganzer Länge entfernt wurde. Bei den übrigen Buhnen wurde ein circa 15 m breiter Durchbruch in unterschiedlicher Entfernung zur Buhnenwurzel eingebaut, sodass sich eine Richtungsänderung der Strömung ergeben sollte.

Abbildung 51: Elbekilometer 422,5 unverbaut (links) und modifiziert (rechts) mit Strömungsvektoren



Betrachtet man zunächst die Strömungsgeschwindigkeiten in Abbildung 51 so ist gut zu erkennen, dass die sie in den umgestalteten Buhnenfeldern deutlich ansteigen. In welchem Umfang dies quantitativ bei der zugrundegelegten Mittelwassersituation der Fall ist, wurde in einer Auswertung der Geschwindigkeiten über die gesamte Buhnenfeldgruppe erörtert. Vor der Umgestaltung wurden die Buhnenfelder im Modell ausgebaggert und auch diese Situation wurde in die Betrachtung mit einbezogen. Die ausgebaggerten Buhnenfelder kommen in diesem Abschnitt den natürlichen Verhältnissen möglicherweise näher, da durch die Interpolation der Echolotdaten bei der Erstellung des Geländemodells die Tiefen der Buhnenfelder systematisch zu flach scheint. Eine Klärung wäre jedoch nur mit neuen topographischen Aufnahmen möglich.

Die Verteilung der Geschwindigkeiten ohne eine bauliche Maßnahme ist in Abbildung 52 durch die blaue Linie dargestellt und man erkennt den hohen Anteil der Geschwindigkeiten von 55 % in der Geschwindigkeitsklasse von 0 - 10 cm/s. Dies bedeutet geringen Austausch mit dem Flusswasserkörper und entsprechend hohe Verweilzeiten innerhalb des Buhnenfeldes.

Sedimentologisch würden sich in diesem Buhnenfeld vorwiegend feine Sedimente mit einer steilen Kornsummenkurve finden.

Im Vergleich dazu liegen die Anteile der geringen Strömungsgeschwindigkeiten von 0 – 10 cm/s bei den ausgebaggerten Buhnenfelder um 35 % unter der unveränderten Buhnenfeldgruppe. Die Variantenrechnung zeigt in diesem Bereich noch um 4 % niedrigere Werte. Im Geschwindigkeitsbereich von 10 – 20 cm/s liegt die unveränderte Feldgruppe bereits deutlich tiefer bei 16 %. Die ausgebaggerte Feldgruppe ist in dieser Geschwindigkeitsklasse noch mit 33 % vertreten. In den nun folgenden ansteigenden Geschwindigkeitsbereichen fällt die unveränderte Feldgruppe auf Anteile unter 5 % und liegt ab der Geschwindigkeitsklasse 40 – 50 cm/s fast gleich mit den ausgebaggerten Buhnenfeldern. Deutliche Unterschiede zeigen sich nur noch im Vergleich mit den veränderten Buhnenfeldern. Die Geschwindigkeitsverteilung in Variante A verläuft insgesamt flacher als die beiden Vergleichssituationen mit gleichmäßig verteilten Anteilen. Dies würde bedeuten, dass für unterschiedlichste Ansprüche im Bezug auf die Geschwindigkeiten Lebensräume vorhanden sind. Für eine umfassendere Betrachtung der Situation ist allerdings nicht nur die Verteilung der Geschwindigkeiten bei einem bestimmten Wasserstand wichtig, sondern ebenfalls die Lagestabilität der Sohle bei einem angesetzten Hochwasser. An der mittleren Elbe existieren sehr gut bewegliche Sedimente welche auch lateral auf eine neue Situation schnell mit entsprechender Umlagerung reagieren können.

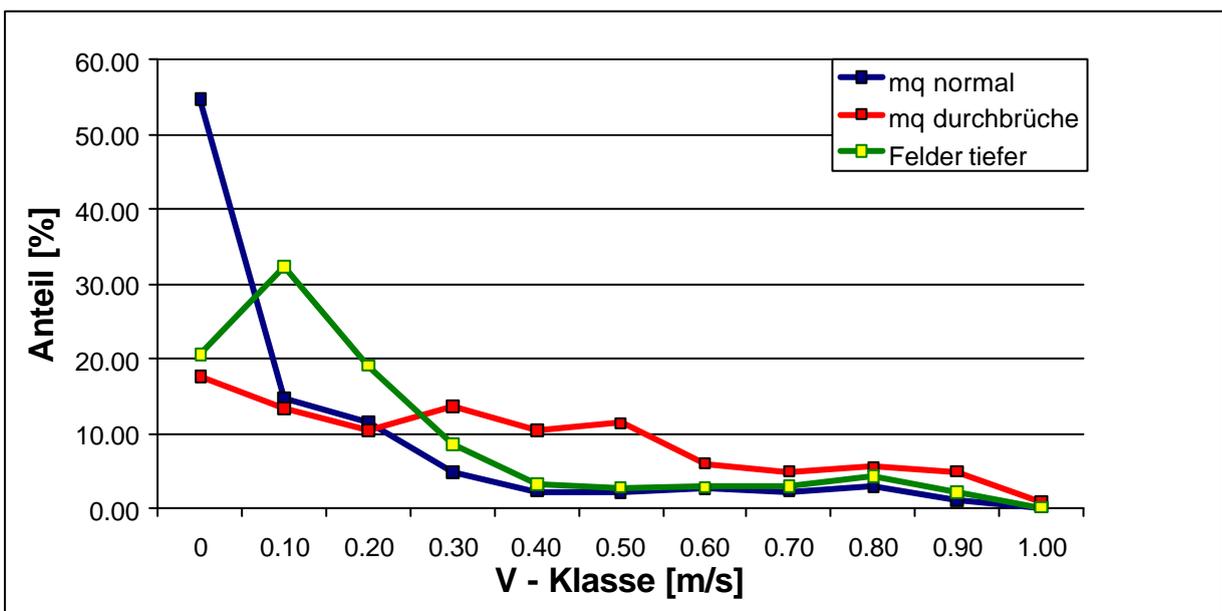


Abbildung 52: Analyse der Strömungsgeschwindigkeiten bei Mittelwasser als Häufigkeitsverteilung

Um diesen Zustand genauer zu untersuchen wurde die veränderte Geometrie einem Hochwasserereignis ausgesetzt, welches an der Elbe regelmäßig beziehungsweise jährlich vorkommt. Interessant waren vor allem die Auswirkungen auf die reine Umlagerung von Sedimenten da sie eine

neue Sohltopographie erzeugen, welche sich auf die Strömungsgeschwindigkeit am stärksten auswirkt.

Die nächsten Abbildungen zeigen die berechneten Auswirkungen auf die Sohle der umgebauten Bühnenfeldgruppe und es wird deutlich, dass sich die Situation verschlechtert, da sich im Bühnenfeld Material ablagern kann, was im Folgenden eine wesentlich schwächere Durchströmung zur Folge hat, als wie es in der unverbauten Variante der Fall gewesen wäre.

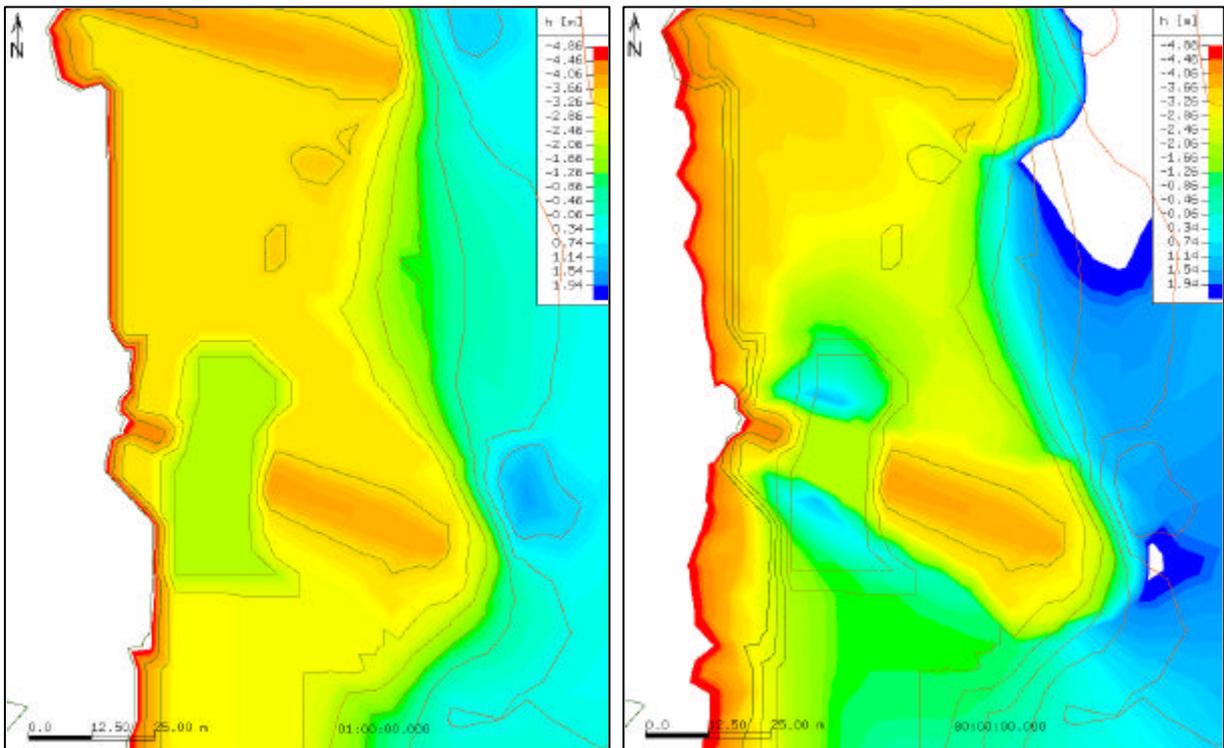


Abbildung 53: Ausgangstopographie (links) und Umlagerungen auf dem Scheitel der Hochwasserwelle,  $Q = 1660 \text{ m}^3/\text{s}$  (rechts)

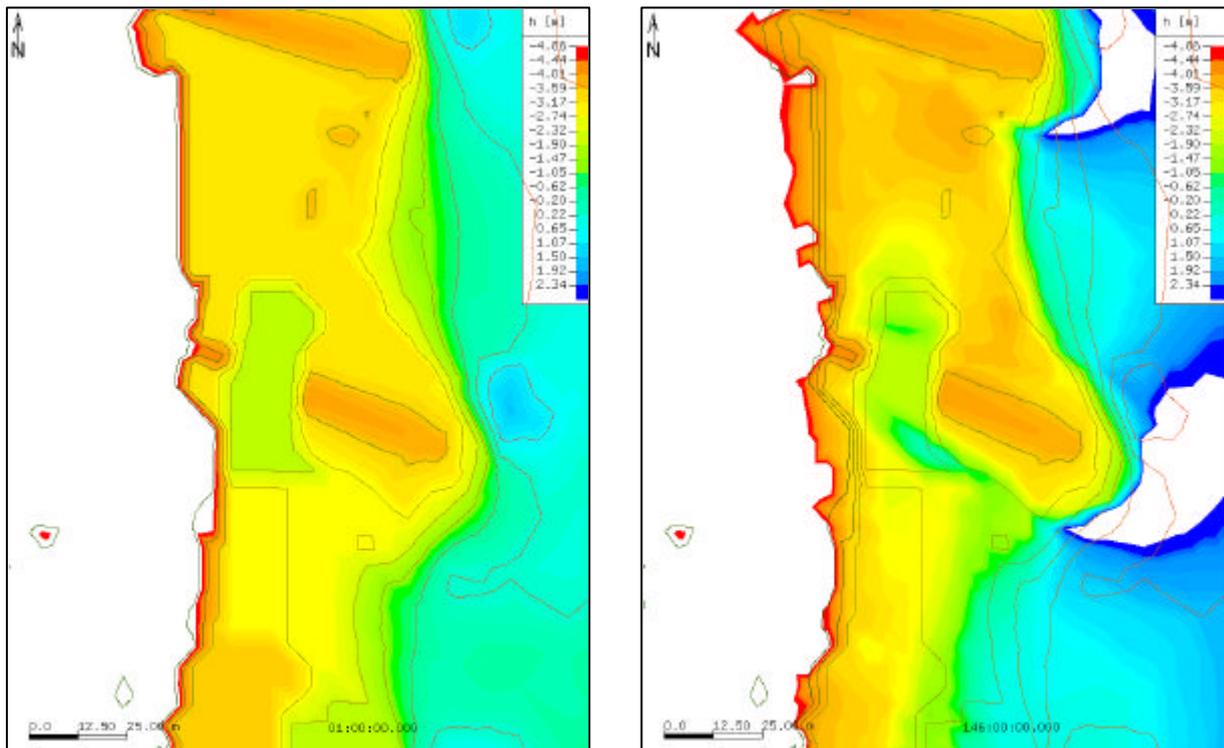
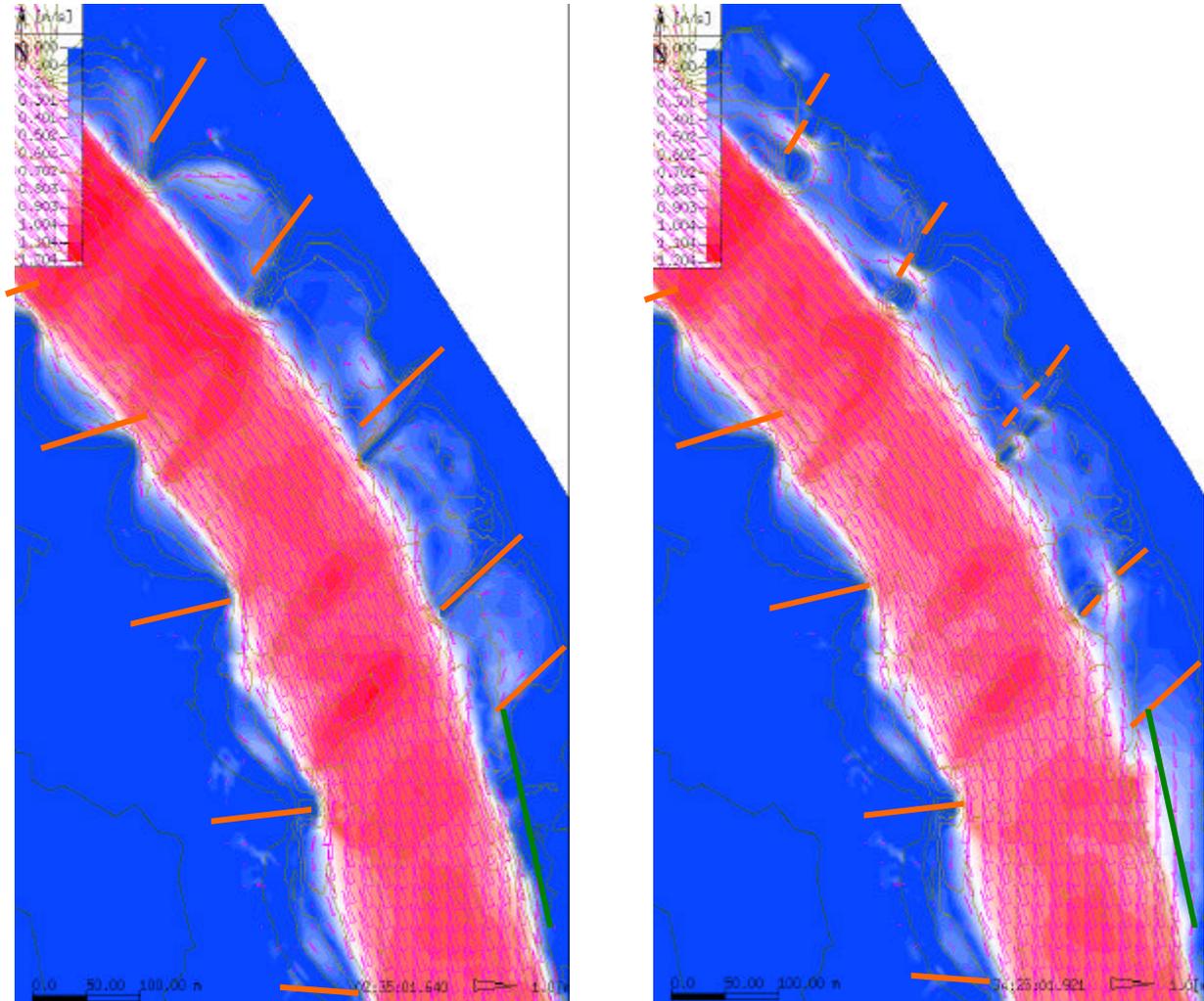


Abbildung 54: Ausgangstopographie (links) und Umlagerungen am Ende der Hochwasserwelle,  $Q = 283 \text{ m}^3/\text{s}$  (rechts)

In Abbildung 54 ist gut die erfolgte Umlagerung nach dem angesetzten Hochwasserereignis zu erkennen und es zeigt sich, dass im Buhnenfeld vermehrt Sediment abgelagert wurde, welches zu einer schlechteren Durchströmung bei Lagen über Mittelwasser und überhaupt keiner Durchströmung mehr ab mittleren Niedrigwasserlagen führt. Der große Kolk vor und nach dem Durchbruch verkleinert sich bei abfallenden Wasserständen ebenfalls, sodass hier bei Niedrigwasserlagen ein kleines Wasserloch ohne Anschluss an den Hauptstrom übrig bleibt.

**Variante B: Alternierende Anzahl der Durchbrüche**

Abbildung 55: Elbekilometer 423,5 unverbaut (links) und modifiziert (rechts) mit Strömungsvektoren



**Beschreibung:** Die Veränderungen der zweiten Variante gegenüber der Ersten bestand in einer zahlenmäßigen Änderung der Durchbrüche. Wurden zwei Durchbrüche in einer Buhne eingebaut, so verkleinerte sich auch die Öffnung dieses Durchbruches auf etwa 10 m. Die Anzahl der Buhnenfelder welche hier verändert wurden beträgt fünf.

In Abbildung 55 lässt sich anhand der Farbschattierung, welche für die Strömungsgeschwindigkeit steht gut erkennen, dass sich die neue Situation nicht so gravierend auf das Strömungsfeld auswirkt wie vergleichsweise bei der ersten Variante. Auch die Änderung im Hauptstrom fällt nicht so stark auf.

---

## 6.4 Statistische Betrachtung der semiterrestrischen Flächen

Im folgenden Abschnitt werden die Ergebnisse der statistischen Untersuchung auf der Grundlage abiotischer Parameter dargestellt. Die Untersuchung soll dazu dienen, die Buhnenfelder gegeneinander zu vergleichen beziehungsweise sie zu unterscheiden und bestimmten, allgemeineren Buhnenfeldtypen zuzuordnen. Die eingesetzten statistischen Methoden sind grundlegender Art und nicht mit den multivariaten Untersuchungen des Teilprojektes Biologie zu vergleichen.

Im Einzelnen werden Pegelaufzeichnungen des Pegels Havelberg, Wassertiefen, Strömungsgeschwindigkeiten sowie sedimentologische Größen aus Messungen sowie Berechnungen dargestellt und diskutiert.

Die statistische Analyse von Parametern welche die Buhnenfelder betreffen, (siehe Das rote Polygon stellt das Gebiet der topographischen Vermessungen dar. Dieses Gebiet stellt in späteren Kapiteln die Datengrundlage für statistische Betrachtungen der abiotischen Parameter (vergleiche 6.4).

Abbildung 4 - Abbildung 8, vgl. auch Zwischenberichte 1999, 2001) wurde hauptsächlich mit Hilfe des Geländemodells durchgeführt. Das dargestellte Gebiet ist durch ein Polygon gegen das Vorland beziehungsweise gegen den Flussschlauch abgegrenzt, sodass die Buhnenfelder einschließlich der Uferbereiche untersucht werden. Dazu wurden die Gebietsgrenzen (rote Polygone) so gewählt, dass jeweils alle tatsächlichen Untersuchungspunkte in dem Gebiet, welches ausgewertet wurde, enthalten sind. Die Untersuchungen in den ausgewählten Buhnenfeldern beziehungsweise Uferbereichen begannen im Jahr 1998 und wurden bis in das Jahr 1999 ausgedehnt.

Die Buhnenfelder wurden vom Teilprojekt Biologie der Universität Marburg noch vor dem Beginn des Projektes im Rahmen von Bereisungen ausgewählt. Die Auswahlkriterien beschränkten sich vorwiegend auf biologische Kriterien. Die Buhnenfelder beziehungsweise Untersuchungsgebiete wurden jedoch von der Art ihrer Lage zum Stromstrich im Nachhinein auch aus wasserbaulicher Sicht günstig gewählt, sodass eine Reihe typischer Strukturen an der mittleren Elbe durch die Auswahl abgedeckt erscheint. Weitergehende Betrachtungen in Bezug auf eine vollständige Untersuchung aller vorhandenen Strukturen können also im Rahmen dieses Projektes nicht geleistet werden.

Eine statistische Betrachtung im Bezug auf Repräsentanz der gewählten Gebiete im Vergleich zu den übrigen nicht untersuchten kann jedoch aufgrund der erstellten Datenbasis für den technisch wasserbaulichen Teil durchgeführt werden.

Insgesamt wurden 5 verschiedene Probenahmegebiete auf einem Abschnitt von etwa 10 Flusskilometern untersucht (Vgl. auch Zwischenberichte '98, '99, '00). Als Buhnenfelder im

wasserbaulichen Sinne dürfen jedoch nur die Buhnenfelder bei Elbekilometer 418, 419 und 423 bezeichnet werden. Die übrigen beiden stellen ein ehemaliges, jedoch vollständig versandetes Buhnenfeld ohne sichtbare Buhnen (Elbekilometer 425), zum anderen eine Situation an einem Gleithang nach einer 90° Linkskurve dar (Elbekilometer 427).

### 6.4.1 Datengrundlage

Die Daten wurden besonders für die statistische Untersuchung mit biotischen Parametern zum größten Teil selbst aufgenommen. Diese sind die Felduntersuchungen zur Ermittlung der Strömungsgeschwindigkeit, Substratzusammensetzung, organischer Gehalt oder Wassertiefe aber auch die Aufnahme der Topographie durch geodätische Vermessung. Viele Daten wurden aber auch von Partnerprojekten („Morphodynamik der Elbe“, Uni Karlsruhe; „Elbfische“, Uni Hamburg) oder von Behörden zur Verfügung gestellt. Die folgenden Tabellen sollen einen kurzen Überblick über die Daten wiedergeben.

#### 6.4.1.1 Geländedaten

<i>Elbekilometer</i>	<i>Aufnahmeart</i>	<i>Datum</i>	<i>Beschreibung</i>	<i>Erhoben von</i>
417 - 426	Digitalisiert aus TK 5000	Unbekannt	Vorländer bis zum Deich	GH Höxter
333 - 428 alle 200m od. 500m	Peilschiff	1993	Querprofile des Flussschlauches inkl. Buhnenfelder	WSA Magdeburg
418,4; 419,9; 423,4; 425,2; 427,2	Tachymeter	1998	Buhnenfelder bis etwa zur Streichlinie	TU Darmstadt
423,5; 421,7; 420,9	Tachymeter / Echolot	1998	Buhnenfelder bis etwa zur Streichlinie	FU Berlin
418,4; 419,9; 423,4; 425,2; 427,2	Tachymeter	1999	Buhnenfelder bis etwa zur Streichlinie	TU Darmstadt
418 - 419	Tachymeter	1998	Vorland bis Deich	TU Darmstadt

<i>Elbekilometer</i>	<i>Aufnahmeart</i>	<i>Datum</i>	<i>Beschreibung</i>	<i>Erhoben von</i>
417 - 426	Echolot	1999	Flussschlauch bis etwa Buhnenkopf	FU Berlin

Tabelle 1: Vorhandenes und erstelltes Datenmaterial zur Topografie im Untersuchungsgebiet

### 6.4.1.2 Geschwindigkeitsdaten

418,4; 423,4; 427,2	419,9; 425,2;	Magnetisch induktives Messverfahren (MID)	1998	Buhnenfelder bis etwa zur Streichlinie	TU Darmstadt
418,4; 423,4; 427,2	419,9; 425,2;	Akustischer Strömungsprofilierer (ADCP)	1998/1999	Flussschlauch	TU Darmstadt
418,4; 423,4; 427,2	419,9; 425,2;	Akustisches Doppler Velocimeter (ADV)	1999	Buhnenfelder bis etwa zur Streichlinie, Flussschlauch	TU Darmstadt

Tabelle 2: Erhobene Strömungsgeschwindigkeit im Untersuchungsgebiet

### 6.4.1.3 Sedimentdaten

418,4; 423,4; 425,2; 427,2	419,9;	Drehbohrer (corer), Stechzylinder	1998	Buhnenfeld, aquatisch und terrestrisch	TU Darmstadt
418,4; 423,4; 425,2; 427,2	419,9;	Drehbohrer	1999	Buhnenfeld, aquatisch und terrestrisch	TU Darmstadt
Verschiedene Stellen		Greifer		Flussschlauch	BFG
Verschiedene Stellen		Schurf	1997	Buhnenfeld, aquatisch und	FU Berlin

			terrestrisch	
--	--	--	--------------	--

Tabelle 3: Vorhandenes und erstelltes Datenmaterial zur Kornverteilung im Untersuchungsgebiet

#### 6.4.2 Betrachtung des Pegels Havelberg im Untersuchungsjahr 1998

Die Elbepegel Havelberg (Elbekilometer 423, PN = 21,573 müNN), Neuwerben (Elbekilometer 427,5, Pegelnull = 20,405 müNN) und Sandau (Elbekilometer 416,0) liegen im modellierten Gebiet, sodass hier eine statistische Untersuchung vor einer Betrachtung der einzelnen Bühnenfelder sinnvoll ist. Exemplarisch für die drei erwähnten Pegel soll hier der Pegel Havelberg untersucht werden, da er etwa in der Mitte des Untersuchungsgebietes liegt.

Die Abflusssituation am Pegel Havelberg wird für das Untersuchungsjahr 1998 in Abbildung 56 dargestellt. In der Grafik ist ein Frühjahrshochwasser etwa Ende März gefolgt von einem gleichmäßigen Abfallen bis auf Niedrigwasserniveau zu erkennen, welches von Mai '98 bis in das zweite Drittel des Septembers andauert. Danach steigt der Wasserspiegel wieder über die MW Marke (283 cm) hinaus bis zu dem Hochwasserereignis Mitte November. Die Bühnenköpfe liegen etwa auf Niveau der Mittelwasserlage. Der Verlauf der Ganglinie wie in Abbildung 56 ist für die Elbe häufig zu beobachten und lässt sich durch ausgedehnten Niedrigwasserphasen in den Sommermonaten charakterisieren.

Die biozönotische Aktivität liegt zu einem Großteil in der Zeit zwischen den hohen Wasserständen im Frühjahr und Herbst. Zwischen dieser Zeit schwankt der Wasserspiegel im Vergleich zu den übrigen auftretenden Spiegellagen nur gering. Dass an diesen geringen Schwankungen seitens des Wasserspiegels zum Teil erhebliche Schwankungen der benetzten Fläche beziehungsweise den Strömungsgeschwindigkeiten liegen liegt an der Topographie der Bühnenfelder mit zum Teil sehr geringen Geländegradienten auf das im Weiteren noch eingegangen wird.

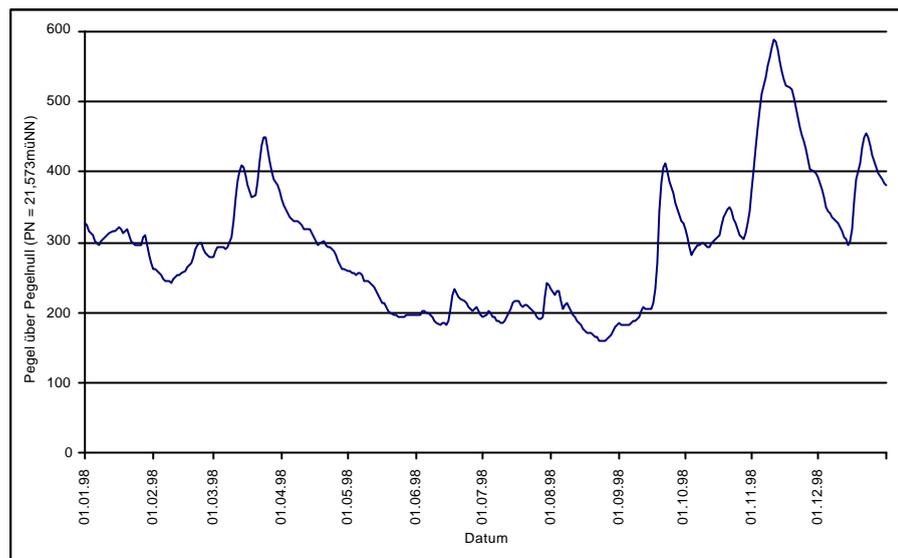


Abbildung 56: Ganglinie für das Jahr 1998 des Nebenpegels Havelberg (Elbekilometer 420)

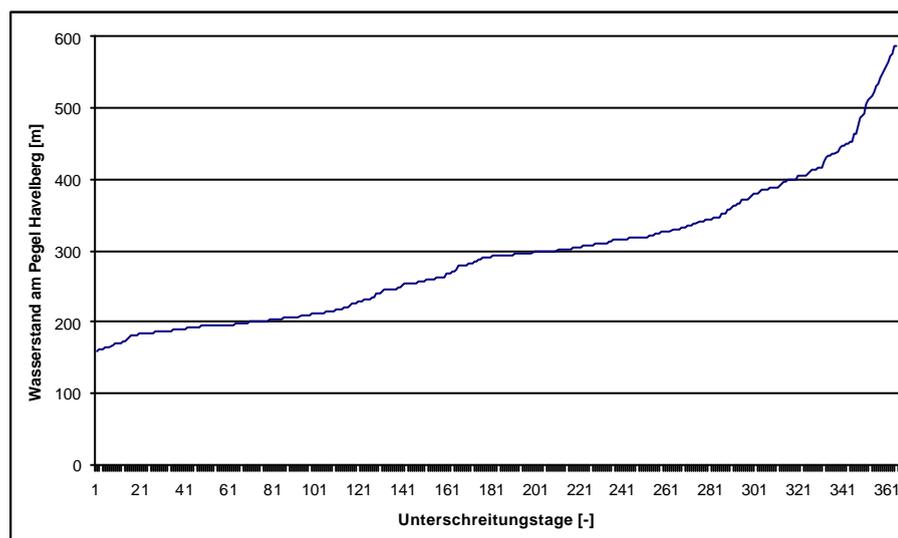


Abbildung 57: Dauerlinie für das Jahr 1998 des Nebenpegels Havelberg (Elbekilometer 420)

Der Begriff „semiterrestrisch“ ist zwangsläufig an bestimmte Punkte in Ufernähe gekoppelt und impliziert, dass diese Punkte eine bestimmte Zeit trocken fallen. Dies ist im Hinblick auf die Wahl der zu untersuchenden Punkte im Buhnenfeld insoweit wichtig, als dass sichergestellt werden muss, dass das Spektrum der Probestellen diesen semiterrestrischen Aspekt in der Verteilungsfunktion wiedergibt.

Bei der Planung der zu untersuchenden Punkte im Buhnenfeld muss auf die Beprobungsstrategie des Teilprojektes Biologie verwiesen werden, bei der wasserbauliche Überlegungen aufgrund der zu erwartenden Biozönose im Hintergrund standen. Die Frage, ob die gewählten Probestellen als semiterrestrisch anzusehen sind, ist durch eine Analyse der Probenahmepunkte anhand des Geländemodells sowie der Abflussganglinien über den Zeitraum von einem Jahr zusammen mit

vorhandenen Berechnungen zu Strömung und Wasserständen in den untersuchten Buhnenfeldern zu klären. Dies wird in den folgenden Abschnitten dargestellt.

In Abbildung 58 fällt auf, dass die Verteilung der auftretenden Wasserstände keiner Gauß'schen Normalverteilung entspricht. Niedrige Wasserstände und solche, die über MW liegen sind statistisch mit größerer Häufigkeit vertreten. Diese Tatsache liegt zum Teil an der Verwendung von Buhnen, welche ab Mittelwasserlagen (die Buhnen sind dann überströmt) für einen Sprung in der Gerinnerauhigkeit sorgen was mit höheren Wasserständen verbunden ist. Die statistische Verteilung der einzelnen Wasserstände ist erst nach Ablauf des Untersuchungsjahres vollständig durchzuführen. Dennoch kann man in Abbildung 58 erkennen, dass die Beprobung innerhalb des Projektes immerhin knapp 34% der überhaupt auftretenden Wasserstände erfasste. Legt man zugrunde, dass biologische Prozesse vorwiegend nur innerhalb einer bestimmten Vegetationsperiode stattfinden, würde der prozentuale Anteil in diesem Untersuchungsjahr noch größer, da die Hochwasserereignisse im November und Dezember aus der Grundgesamtheit herausfallen. Für eine Angenommene Vegetationsperiode von Mitte März bis Mitte Oktober (In Abbildung 59) erhält man einen erfassten Anteil der Wasserstände von 38,6%. In dieser Abbildung sind Wasserstandsklassen, welche beprobt wurden mit einer Zahl welche die Häufigkeit der Beprobung wiedergibt über dem dunkelblau hinterlegten Balken gekennzeichnet. Die Grundgesamtheit der gebildeten Klassen beruht auf der Abflusssituation vom 01.01.98 bis 31.12.98.

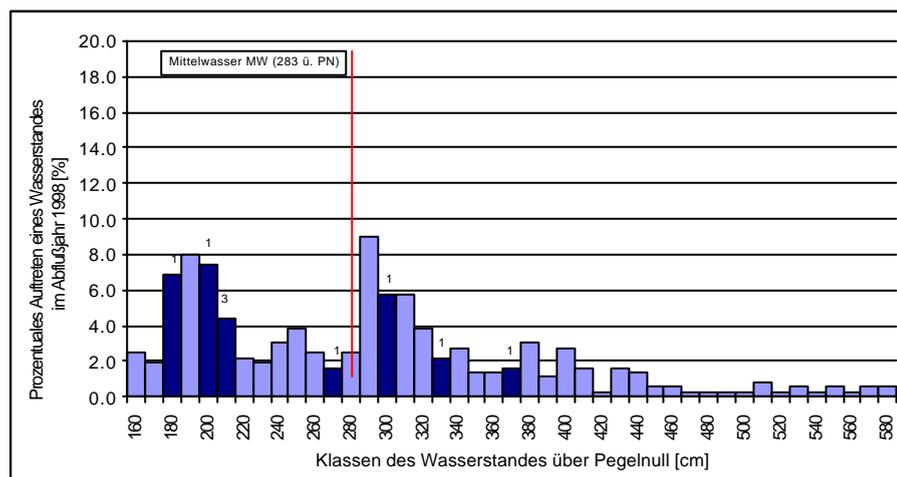


Abbildung 58: Verteilung der Wasserspiegellagen am Pegel Havelberg 1998 in 10 cm Klassen

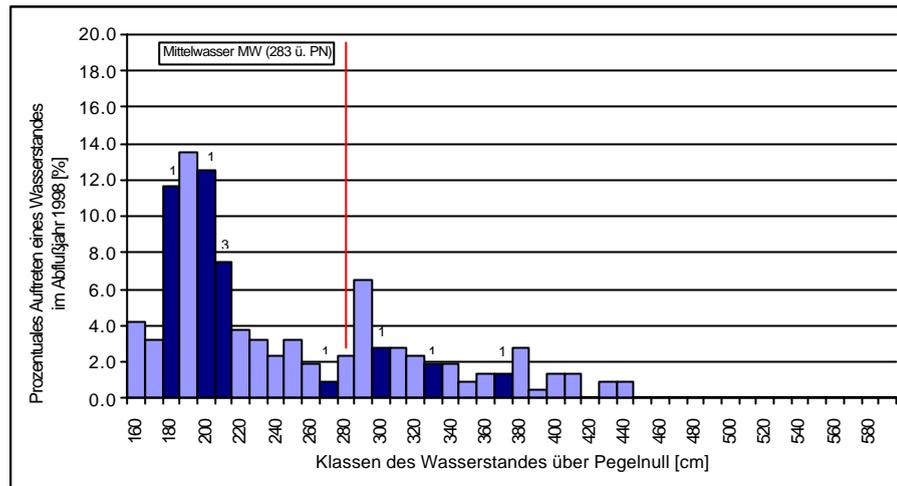


Abbildung 59: Verteilung der Wasserspiegellagen am Pegel Havelberg 1998 in Klassen der Breite 10cm (Datengrundlage Vegetationsperiode)

Die folgenden Abbildungen zeigen die Verteilung der Wasserstände in den Jahren vor der Untersuchung angefangen von 1992 bis zum Jahr vor Projektbeginn 1997. Die Verteilungen unterscheiden sich annähernd von Jahr zu Jahr, genauso wie sich auch die Abflussganglinien (Abbildung 60) mehr oder weniger stark voneinander unterscheiden. Es ist jedoch besonders in Abbildung 60 zu erkennen, dass es sich im Jahr 1998 in den Sommermonaten um ein sehr trockenes Jahr gehandelt hat. Dies könnte dazu führen, dass in einem solchen trockenen Jahr mit entsprechend wenig Lebensraum sich eine besondere nicht repräsentative Biozönose einstellt (mögl. Querverweis auf biologisches Kapitel). In der abschließenden Grafik besteht die Grundgesamtheit aus der Summe der Einzeljahre, wodurch eine rechtsschiefe Verteilung entsteht die an eine Pearsonverteilung erinnert.

#### 6.4.2.1 Vergleich des Abflussjahres 1998 mit den Vorjahren

Durch Vergleiche mit den Abflussjahren vor dem Beprobungsjahr ist eine Bewertung des untersuchten Jahres besser möglich. Die Datengrundlage für den Vergleich stellen Tageswerte des Pegels Havelberg für die Jahre 1992 bis 1997. In Abbildung 60 sind für jedes Abflussjahr die Pegelwerte als Ganglinie aufgetragen. Das Untersuchungsjahr ist durch die dunkelblaue Linie gekennzeichnet. Nach einem relativ trockenen Winter kommt die Phase des normalen Frühjahrshochwassers mit dem Hochwasserscheitel ende März. Der Wasserstand fällt ab April deutlich unter das Niveau der Vorjahreswasserstände welches überdurchschnittlich geringe Abflüsse in den Sommermonaten bedingt. Ab Mitte Oktober normalisiert sich die Situation zunächst, wobei das sich entwickelnde

Winterhochwasser im weiteren Fortgang ausgeprägter darstellt als vergleichbare Wasserstände in den Jahren zuvor. Dies stellt wieder eine Abweichung der üblichen Ganglinie dar, sodass das Jahr 1998 aus Sicht einer typischen Abflusscharakteristik als nicht repräsentant eingestuft werden muss.

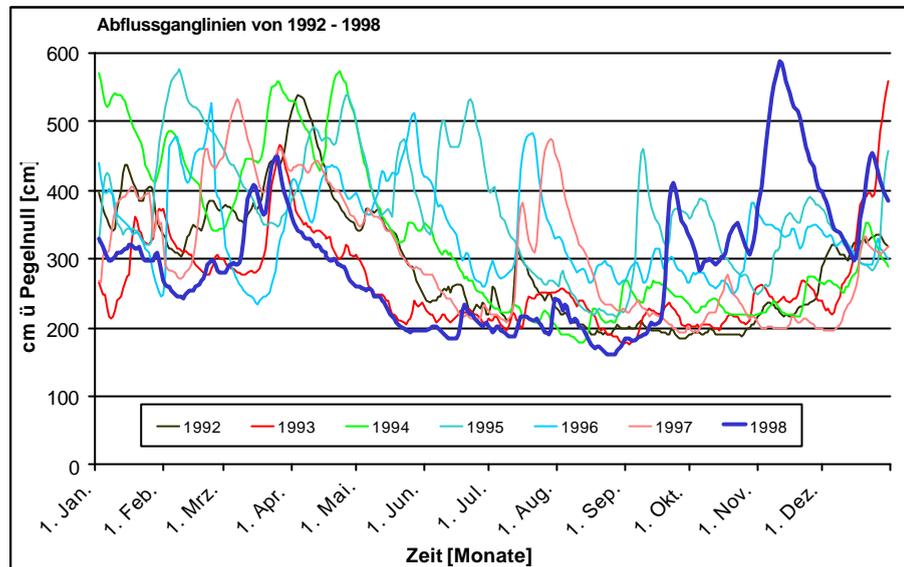


Abbildung 60: Abflussganglinien am Pegel Havelberg von 1992 – 1998

Die Untersuchung der Verteilung der einzelnen Wasserstände in diesen Jahren wird in den folgenden Abbildungen dargestellt und lässt erkennen, dass niedrige Wasserstände von Jahr zu Jahr zwar variieren, jedoch in der Verteilung gehäuft auftreten. Dies ist im Untersuchungsjahr (vgl. Abbildung 58) ähnlich wie im Jahr 1992 (Abbildung 61). Eine zweite Häufung der auftretenden Wasserspiegellagen liegt im Bereich von Mittelwasser beziehungsweise etwas darüber.

Da diese beiden Wasserstandsklassen mehr oder weniger die biologisch aktivste Periode (Wachstumsperiode) eines Jahres abdecken, wird ihnen eine besondere Bedeutung beigemessen. Zudem liegen die tatsächlichen Felduntersuchungen hauptsächlich ebenfalls in dieser Zeit.

Im weiteren ist jedoch auch zu sehen, dass es Abflussjahre gibt, für die ein anderes Abflussgeschehen zutrifft als das zuletzt besprochene. Beispielhaft hierfür ist das Jahr 1995 zu nennen bei dem das Häufigkeitsmaximum im Bereich über Mittelwasser liegt. Andere Jahre haben nur ein ausgeprägtes Maximum im Niedrigwasserbereich wie beispielsweise die Jahre 1993, '94 und '97.

Zusammenfassend lässt sich aus den aufgetragenen Verteilungen der Wasserspiegelschwankungen des Pegels Havelberg schließen, dass es sich bei dem Jahr 1998 um ein Jahr mit ausgeprägten Niedrigwasserlagen gehandelt hat. Mittlere Wasserspiegellagen fehlen fast vollständig, sodass dieses Jahr hydrologisch gesehen im Nachhinein als nicht sehr repräsentativ angesehen werden kann.

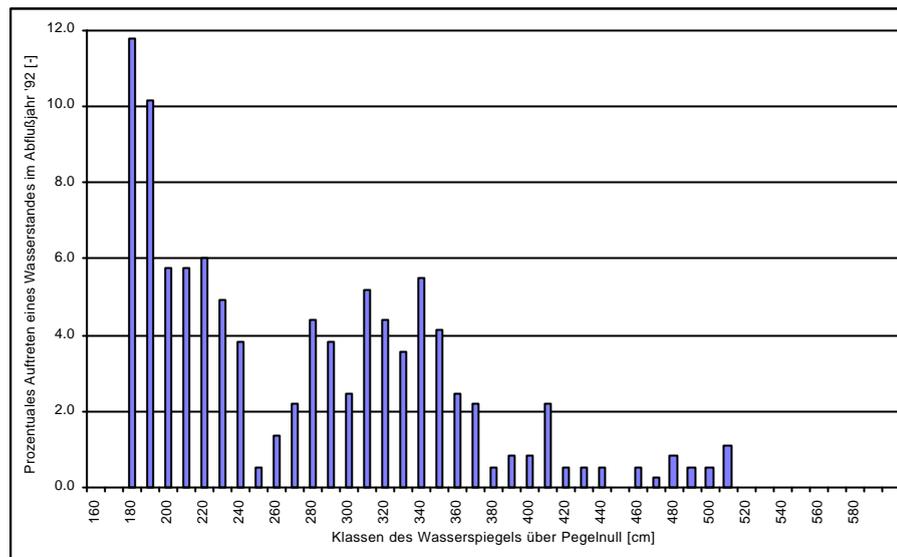


Abbildung 61: Verteilung der Wasserspiegellagen am Pegel Havelberg 1992 in 10 cm Klassen

### 6.4.3 Verteilung der Geländehöhen über die Fläche der jeweiligen Untersuchungsgebiete

Aus der Analyse der Geländedaten können Rückschlüsse auf das untersuchte Buhnenfeld gezogen werden. So kann dokumentiert werden, in welcher Häufigkeit welche Tiefen im Untersuchungsfeld auftraten. Aus dem Geländemodell können die Sohliefen beliebiger Punkte im Buhnenfeld mit Bezug über einem festen Pegel ausgelesen werden. Die Höhen stehen daher nicht in müNN, sondern sind in Meter über Pegelnull (Neuwerben) angegeben. Die Verteilung der Tiefen in den Buhnenfeldern bei den entsprechenden Elbekilometern ist in den folgenden Abbildungen zu sehen. Über die Gebiete, gekennzeichnet jeweils durch rote Polygone wurde ein gleichmäßiges Raster gelegt, auf welche dann die Messwerte der Geländehöhen interpoliert wurden. Dies dient dazu, ein gleichgewichtetes Verhältnis der Punkte, welche dann ausgewertet werden können zu gewährleisten. Durch die Normierung ist jedem Punkt weiterhin eine einheitliche Fläche zugeordnet, sodass hier auch quantitative Aussagen leicht möglich sind.

#### 6.4.3.1 Buhnenfeld 418

Die Verteilung sämtlicher auftretender Geländehöhen ist in Abbildung 62 zu erkennen. Die Auftragung

der untersuchten Probepunkte für dieses Bühnenfeld und der Vergleich mit den Wasserspiegelschwankungen ergibt ein gutes Bild über die Ausrichtung des Datensatzes. Aus der Abbildung lässt sich gut erkennen, dass etwa 80% der untersuchten Stellen tatsächlich im grün dargestellten Wechselwasserbereich der angenommenen Wachstumsphase vom 15.03. – 15.10. liegt. Dies ist positiv, denn die Dynamik des Abflusses und damit auch die Verteilung der Proben über dem Abflusszeitraum ist wie auch der Vergleich mit Abbildung 60 zeigt, schwer abzuschätzen.

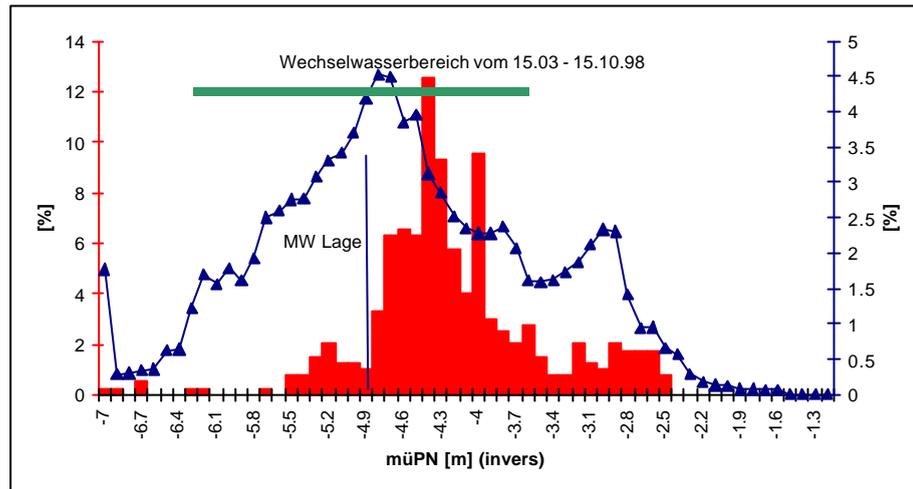


Abbildung 62: Verteilung der Geländehöhen / Untersuchungspunkte im Bühnenfeld bei Elbekilometer 418,4

Aus Abbildung 62 ist ebenfalls gut zu erkennen, dass das Maximum der untersuchten Punkte etwa zwischen der MW und NW Marke (rechtes Ende des grünen Balkens) liegt. Die Verteilung der Proben kommt dem Anspruch im Sinne des Forschungsansatzes nach, möglichst die Zone im Wechselwasserbereich zu untersuchen. Dies ist im Falle des Bühnenfeldes 418,4 gut gelungen. Ein Teil der Proben liegt im dauerhaft benetzten Bereich, wobei dies seitens des Teilprojektes Biologie zu Vergleichszwecken vom Beginn der Untersuchung an auch vorgesehen war. Die Verteilung der einzelnen Untersuchungspunkte zeigt eine ähnliche Charakteristik wie die Verteilung der Geländehöhen an sich. Dies zeigt die Repräsentanz der gewählten Punkte für das Bühnenfeld beziehungsweise die semiterrestrischen Flächen.

## 6.4.3.2 Buhnenfeld 419,9

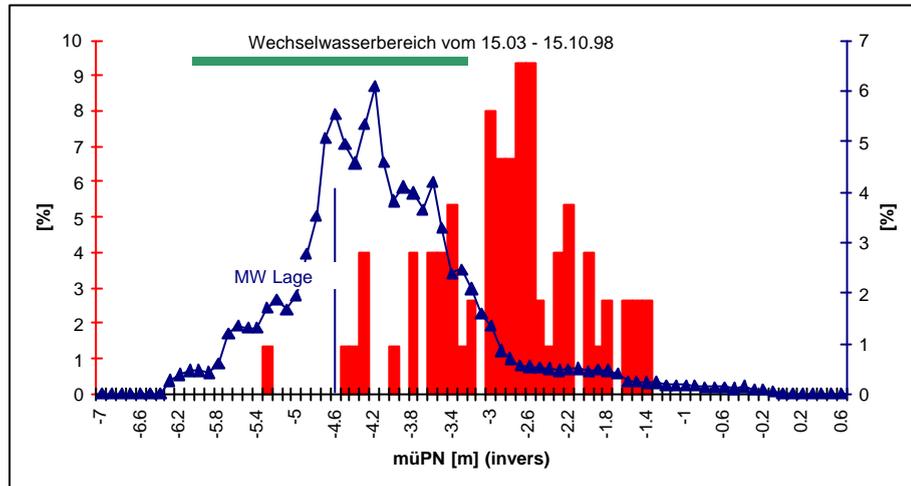


Abbildung 63: Verteilung der Geländehöhen / Untersuchungspunkte im Buhnenfeld bei Elbekilometer 419,9

Das Buhnenfeld bei Elbekilometer 419,9 bietet von der Verteilung her ein ähnliches Bild wie das zuvor betrachtete Buhnenfeld bei Elbekilometer 418,4. Auch in diesem Buhnenfeld liegt das Maximum der Geländepunkte unterhalb der Mittelwasserlage. Die untersuchten Punkte im Buhnenfeld befinden sich vermehrt im aquatischen Bereich und nicht mehr im Wechselwasserbereich. Dies wird durch die Verteilung der Proben (rote Säulen) deutlich.

Das für die statistische Untersuchung verwendete Gebiet ist durch das altarmähnliche Gerinne in seinem Aufbau stark von den übrigen Gebieten abgegrenzt. Das Gebiet zwischen diesem Altarm und dem Hauptgerinne kann quasi als eine Insel aufgefasst werden. Die flächenmäßig hohen Anteile führen dazu, dass die Beprobung sich deutlich in Richtung „aquatischem Bereich“ hinneigt als sich an dem Maximum der Geländehöhen zu orientieren.

### 6.4.3.3 Buhnenfeld 423

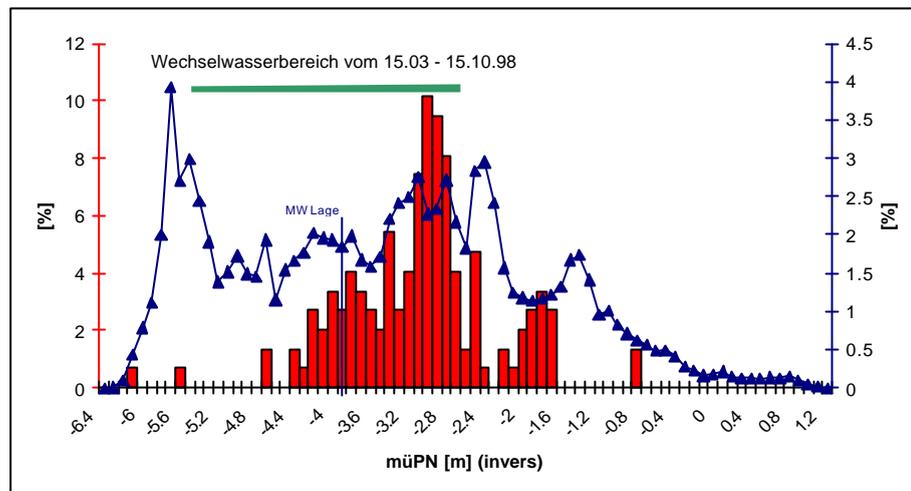


Abbildung 64: Verteilung der Geländehöhen und Untersuchungspunkte im Buhnenfeld bei Elbekilometer 423

Als eine Besonderheit in diesem Buhnenfeld sind die Buhnen und Schuttkegel zu erwähnen, welche durch Baggerung entstanden sind, und es infolge dessen zu einer Ausprägung der Häufigkeiten in den Klassen -5.2 bis -5.8 kommt. Da es an der Elbe noch zahlreiche weitere Buhnenfelder gibt, welche in jüngster Zeit saniert wurden beziehungsweise werden ist diese Struktur vorübergehend häufiger anzutreffen. Durch Erosion und Sedimentation werden diese Rinnen im Leebereich der Buhnen und evtl. ausgebaggertes Sohlmaterial im Laufe weniger Jahre sicherlich wieder verschwinden.

### 6.4.3.4 Untersuchungsfläche (Buhnenfeld) 425

Das Untersuchungsgebiet bei Elbekilometer 425 ist nicht als Buhnenfeld zu bezeichnen (vgl. Abbildung 7), da es sich hier um ein Gleithangufer mit versandeten Buhnenfelder handelt. Dieses Ufer neigte (aufgrund Sekundärströmung) laut Aussagen eines WSA Mitarbeiters stark zu Versandungen wobei die Fahrrinne allerdings nicht beeinträchtigt wurde und deshalb keine Baggerungen vorgenommen wurden. Betrachtet man Abbildung 64 so ist im Vergleich zum bereits diskutierten Buhnenfeld bei Elbekilometer 423f das Untersuchungsgebiet bei 425 als wesentlich flacher zu bezeichnen. Bei Hochwasserereignissen, welche etwa zweimal pro Jahr auftreten, wird die Fläche relativ gleichmäßig überströmt.

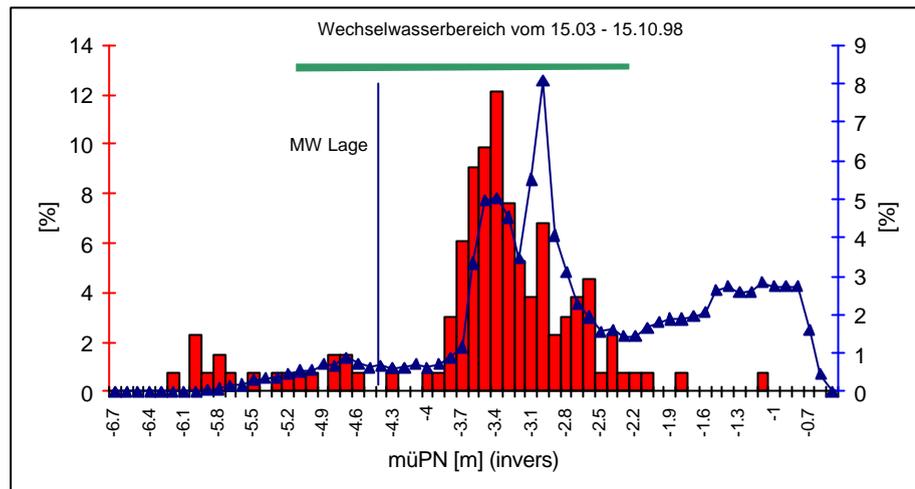


Abbildung 65: Verteilung der Geländehöhen / Probestellen im Untersuchungsfeld bei Elbekilometer 425

Die vorliegenden Sedimente liegen im Vergleich (siehe sedimentologische Untersuchungen ##) zu Buhnenfeld 423 im kiesigen Bereich mit mittleren Korndurchmessern von 45mm. Da diese groben Sedimente im untersuchten Abschnitt und an der mittleren Elbe allgemein eher eine Ausnahme darstellen, muss die Frage gestellt werden weshalb dies an dieser Stelle so ist. Die Ursache ist in der besonderen Situation in diesem Elbabschnitt zu finden, denn auf der gegenüberliegenden Seite ist das Ufer regulär mit Buhnen verbaut, wodurch die Strömung bei Lagen ab MW deutlich zur Innenkurve hin gelenkt wird. Da dieses Ufer sehr flach und ohne Buhnen, Bewuchs und sonstige Hindernisse ist, werden hier erhöhte Strömungsgeschwindigkeiten gemessen und berechnet. Vor allem die mit dem ADCP gemessenen Strömungsgeschwindigkeiten liegen bei MW-HW an diesem Ufer über den Querschnitt homogen und hoch (siehe auch Abschnitt ###), was zu erhöhten Schubspannungen und damit größerem Sediment in den flachen Bereichen des untersuchten Abschnittes führt.

In die ehemaligen Buhnenfelder wurde lt. Aussagen eines WSA Mitarbeiters auch künstlich Sediment eingebracht welches möglicherweise in seiner Ausgangsform stark kiesig war und sich eine Sohlpflasterung in diesem Abschnitt hätte herausbilden können. Die Herkunft des verbrachten Sedimentes liegt möglicherweise in der Zufahrt zur Schleuse Havelberg welche regelmäßig freigebaggert werden muss. Weiteren Aufschluss zu beiden Aspekten auch im Kapitel ### (morphodynamische Berechnungen).

#### 6.4.4 Verteilung der Wassertiefen in den jeweiligen Untersuchungszeitpunkten 1998

Die Verteilung der Wassertiefen konnte aufgrund der Topographie der Untersuchungsflächen und

anhand der berechneten Wasserstände aus dem hydrodynamischen Modell ermittelt werden. **Abbildung 84** **Abbildung 91** zeigen, dass sich die erreichten Wassertiefen in der Hauptvegetationszeit deutlich zu flacheren Bereichen hinbewegen. Besonders die Wassertiefe bis zu einem halben Meter scheint in den Sommermonaten die dominierende Klasse zu sein. In dieser Klasse liegt, wie am Beispiel des Untersuchungsmonates August (**Abbildung 88**) gesehen werden kann fast die Hälfte der benetzten Flächen des Buhnenfeldes. Die grafische Darstellung beinhaltet eine Säulen- und zwei Tortengrafiken auf der im Wesentlichen vergleichbare Informationen, nur unterschiedlich zusammengefasst darstellt sind. In der Säulengrafik sind die vorhandenen Wassertiefen der untersuchten Flächen (rote Polygone) in Klassen von jeweils 10 cm zusammengefasst und von der Klasse 0-0,1 m bis zur Klasse 5,7 - 5,8 m Wassertiefe prozentual über die benetzte Fläche aufgetragen. In der großen Tortengrafik ist die Klasseneinteilung willkürlich auf 0,5 m je Klasse (in Prozent) gewählt worden um die Ergebnisse überschaubarer darzustellen. In der kleinen Tortengrafik ist der Anteil des Buhnenfeldes der trocken beziehungsweise benetzt ist prozentual dargestellt.

Aus den **Abbildung 84 - Abbildung 91** geht hervor, dass sich die Situation in den Sommermonaten wenig ändert und es bei vergleichbaren Bedingungen bleibt. Daher werden für die weiteren Buhnenfelder nicht mehr alle Monate, sondern nur noch die vier "Schlüsselmonate" März und Dezember für die Anfangs- und Endmonate der Probenahme, sowie Juli und August für die Monate mit den niedrigsten Wasserstände dargestellt und diskutiert. Situation bei Elbekilometer 418,4

#### 6.4.4.1 Buhnenfeld 418,4

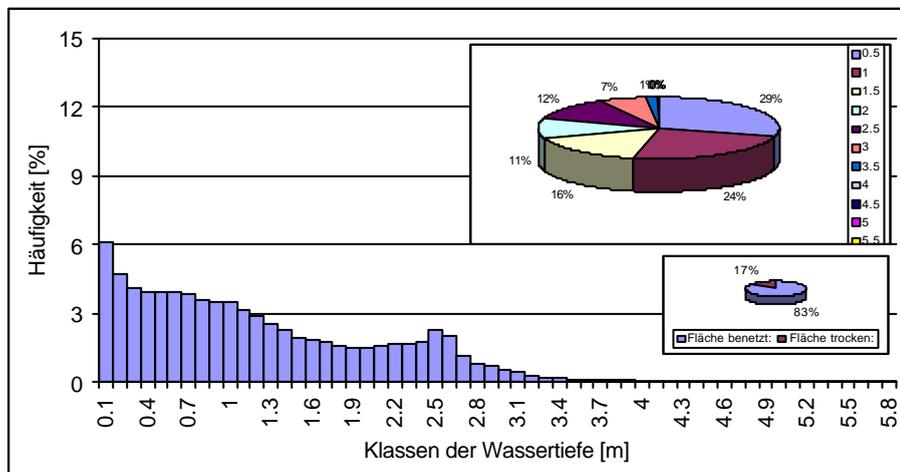


Abbildung 66: Wassertiefenverteilung im Buhnenfeld 418,4 am 19.03.1998

Der erste Probenahmezeitpunkt liegt annähernd auf dem Scheitel des Frühjahrshochwassers 1998. Aus diesem Grund sind die Buhnenfelder fast vollständig überstaut, was in der Relation von trockener zu benetzter Fläche zum Ausdruck kommt (in den folgenden Diagrammen jeweils die kleine Tortengrafik). Der Anteil der trockenen Flächen umfasst einen Teil der Buhnenrücken sowie die Böschung des Mittelwasserbettes und teilweise auch Vorlandflächen und beträgt im März 17 % der untersuchten Fläche. Die flachen Bereiche bis 0,5 m Wassertiefe dominieren das Buhnenfeld vom ersten bis zum letzten Untersuchungsmonat. Im zweiten Monat der Probenahme steigt die trockene Fläche bereits um mehr als das Dreifache bei einem Wasserspiegelunterschied von 1 m an und vergrößert sich im weiteren Verlauf der Untersuchung noch bis auf knapp dreiviertel der Buhnenfeldfläche was dem Faktor 4,5 im Vergleich zum Untersuchungsmonat März entspricht. Buhnenfeld 423

Bei den ersten Untersuchung im März waren die Buhnen in diesem Buhnenfeld leicht überströmt. Der Wasserstand am Pegel Havelberg betrug 365 cm über Pegelnull was einem Wasserstand von 83 cm über Mittelwasserbedingungen entspricht. Statistisch gesehen (vgl. Abbildung 58: Verteilung der Wasserspiegellagen am Pegel Havelberg 1998 in 10 cm Klassen) wird dieser Wasserstand mit einer Auftretenswahrscheinlichkeit von etwas über einem Prozent nicht häufig erreicht, sollte jedoch im langfristigen Mittel genauso oft über- wie unterschritten werden. Bei MW ist davon auszugehen, dass zumindest bei denjenigen Buhnen, welche saniert sind, die Buhnenköpfe an der Krone noch trocken sind. Bei dem Wasserstand am 19.03.1998 waren die Buhnenköpfe überströmt und nur oberste Teile der Buhnenwurzel ragten aus dem Wasser. Entsprechend liegt der Anteil der benetzten Flächen in diesem Buhnenfeld bei 97 % und der Teil der Flächen die noch trocken sind befindet sich auf dem Vorland. Diejenigen Flächen, die in die Klasse bis einen halben Meter Wassertiefe hinein gehören, setzen sich zusammen aus flachen Bereichen auf den Buhnenrücken und den verkrauteten Randbereichen des Buhnenfeldes. Die Rohbodenflächen (sandige Oberflächen) liegen zu einem größeren Anteil noch in der Klasse 0,5 - 1,0m oder darüber. Es fällt ebenfalls auf, dass die Klassen bis zur Wassertiefe von etwa 2,5m relativ gleichverteilt sind mit jeweils einem prozentualen Anteil von etwa 3 %.

Bei der Beprobung der Buhnenfelder am 30.04.1998 war der Wasserstand am Pegel Havelberg auf 260 cm über Pegelnull abgefallen, etwas mehr als einen Meter weniger Wasser im Vergleich zum Vormonat. Das sich ergebende Bild der statistischen Verteilung ändert sich gravierend denn nun sind große Flächen in der Klasse bis zu einem halben Meter Wassertiefe zu finden und der trockene Anteil ist um 39% auf 42% der Fläche angewachsen. Dies bedeutet, dass nicht nur die Buhnen mit einem Anteil von etwa 2% der zugrunde liegenden Fläche trocken liegen, sondern auch erhebliche Bereiche der Rohbodenflächen nun nicht mehr unter Wasser stehen. Flächen die eine Wassertiefe von 3m und

mehr besitzen, sind von 18% auf 3% zurückgegangen. Dieser Trend ist in den Beprobungen in den Sommermonaten, das heißt etwa bis einschließlich September 1998 vorhanden und wird erst von den höheren Wasserständen im Oktober beendet.

Geht man vom Monat August mit den tiefsten Wasserständen aus, so ergibt sich zum ersten Monat eine Flächendifferenz von 49 % welche im Jahresverlauf wechselweise trocken oder überstaut ist. Diese Fläche kann als semiterrestrisch im Sinne der Bedeutung des Wortes aufgefasst werden und in ihr sollten die Mehrzahl der biologischen Untersuchungen liegen. Es ist jedoch anzumerken, dass zur jeweiligen Beprobung nichts über den weiteren hydrologischen Fortgang des Elbabflusses gesagt werden kann. In diesem Sinne bekommt eine Beprobungen den Charakter einer zufälligen Stichprobe. Durch die mensuelle Beprobung und damit eine größere Anzahl von Proben ist jedoch ein signifikanter Stichprobenumfang zu erwarten gewesen.

#### 6.4.4.2 Zusammenfassende Betrachtung der Wassertiefen am Buhnenfeld 423

Buhnenfeld 423 ist mit Ausnahme der topografischen Eingriffe durch die Sanierung der Buhnen ein typisches Buhnenfeld. Die Auswertung der Tiefenverteilungen ergab erreichte Wassertiefen bis zu 5,7m im ersten Untersuchungsmonat. Dies ist durch die vorhandenen Kolke im Bereich der Buhnenköpfe zu erklären. Die flachen Wasserstände dominieren erwartungsgemäß im Buhnenfeld wie dies für ufernahe Bereiche mit geringen Gradienten des Geländes auch typisch ist.

In Abbildung 24 ist gut zu erkennen, dass es im eingerahmten Polygon (Datengrundlage für die folgende statistische Untersuchung) in welchem das Untersuchungsgebiet bei Elbekilometer 425 liegt, keine großen Geländegradien aufweist.

Abbildung 25 zeigt im Vergleich zu Abbildung 13 dass der vorhandene Wertebereich der prozentualen Geländehöhen kleiner ist, was sich vor allem durch die fehlenden Kolke begründen lässt. Auch ist der mittlere Tiefenbereich von -3,7 bis -2,5 überproportional hoch vertreten. Dies sind Flächen, welche zwischen Mittel- und Niedrigwasserniveau liegen. Da in den Sommermonaten der Wasserstand meist schnell bis auf NW oder etwas darüber abfällt, können große Flächen schnell trocken fallen. In Abbildung 25 ist gut zu erkennen, dass 50% der untersuchten Fläche in diesem Fenster liegen, was zu einer hohen Beanspruchung der dortigen Fauna und Flora führen könnte.

Die Verteilung der Wassertiefen für ausgewählte Untersuchungsmonate ist in den folgenden ## dargestellt. Zum Zeitpunkt des ersten Untersuchungstermins liegen 6% der verfügbaren Fläche

trocken. Diese Flächen liegen auf dem Vorland und sind im Sommer Weideland, zählen also nicht zu den Rohbodenflächen und wurden an diesem Standort daher auch nicht näher untersucht. Weiterhin ist der hohe Anteil (51%) von Flächen welche mit einer Wassertiefe bis zu 1,5m überstaut sind erkennbar was sich im Vergleich zum Buhnenfeld bei Elbekilometer 423 mit 43% ein deutlich höherer Wert ist. Wichtig in diesem Zusammenhang ist jedoch auch die Verteilung der Strömungsgeschwindigkeiten welche im nächsten Abschnitt diskutiert werden sollen.

In Abbildung 27 ist bereits gut die Verschiebung nur einen Monat nach der ersten Beprobung zu erkennen. Die flachen Bereiche haben in diesem Untersuchungsgebiet eine andere Bedeutung als im Buhnenfeld 423. Dieser Trend hält über die restlichen Untersuchungsmonate an und ist noch in der nächsten Abbildung ## gut zu erkennen.

#### 6.4.4.3 Zusammenfassende Betrachtung der Wassertiefenverteilung in den Untersuchungsgebieten

Anhand der auftretenden Unterschiede in der Wassertiefenverteilung zeigt sich, dass innerhalb der Untersuchungsgebiete eine gewisse Heterogenität vorhanden ist. Dies liegt an der Exposition der Buhnenfelder (Prallhang, Gleithang, gerader Flussabschnitt, mit und ohne Buhnen) und zum anderen an der Verteilung der Geländehöhen innerhalb der untersuchten Gebiete selbst. Es ist zu erwarten, dass sich auch die Strömungsgeschwindigkeiten in den Untersuchungsgebieten mehr oder weniger stark voneinander unterscheiden, was sich vor allem in Unterschieden im Sedimenthaushalt oder allgemeiner zur Sedimentologie der Buhnenfelder beziehungsweise Untersuchungsgebiete niederschlägt.

Für biologische Fragestellungen interessant ist die Art der Dynamik Flächen von nass zu trocken oder umgekehrt wechseln. Dies ist aus den Diagrammen zur Verteilung der trockenen Flächen von Monat zu Monat gut zu erkennen, denn die Flächenanteile sind direkt prozentual aufgetragen. Hier fällt auf, dass im Untersuchungsgebiet bei Elbekilometer 425 (Gleithang) besonders schnell große Flächenanteile entweder überflutet werden oder diese trocken fallen. Dies kann zusammen mit der Tatsache, dass bestimmte Organismen eine hohe Akzeptanz gegenüber einer solchen Dynamik bereitstellen zu großen Unterschieden in der Besiedlung im Vergleich zu den anderen Untersuchungsgebieten führen. Zu dieser Fragestellung jedoch mehr im Kapitel ###.

Für biologische Prozesse ist der Gradient der Wassertandsänderung von Interesse, da im semiterrestrischen Bereich Lebensraum von aquatischen oder terrestrischen Organismen

beziehungsweise Pflanzen nutzbar wird. Im folgenden wird das Buhnenfeld bei Elbekilometer 418 über alle Untersuchungsmonate dargestellt, die übrigen, wie bereits erwähnt nur für die Schlüsselmonate. In den Abbildungen wird der unterschiedliche Charakter der untersuchten Flächen ebenfalls deutlich.

#### 6.4.5 Statistische Betrachtung der Geschwindigkeiten in den Untersuchungsfeldern

Neben der bereits dargestellten Variabilität der Wassertiefen spielen die Strömungsgeschwindigkeiten eine wesentliche Rolle da sie die Verteilung der Sedimente beeinflussen. Auch hier existieren große Unterschiede durch die unterschiedliche Exposition und Struktur der Untersuchungsflächen. Die untersuchten Buhnenfelder zeigten in Kap. ### bereits eine große Dynamik was die Verteilung der Wassertiefen anbelangt. Hierzu gehört das schnelle Trockenfallen und wieder überflutet werden von Bereichen im Buhnenfeld. Es ist zu erwarten, dass sich eine ähnliche Situation auch für die auftretenden Strömungsgeschwindigkeiten in den Buhnenfeldern ergibt. Im folgenden Abschnitt, wird untersucht, wie sich die Geschwindigkeiten in den unterschiedlichen Buhnenfeldern zu den unterschiedlichen Untersuchungszeitpunkten verteilen. Die Geschwindigkeiten sind dabei zunächst für jedes Untersuchungsgebiet in Tortengrafiken dargestellt welche die Verteilung der Strömungsgeschwindigkeit in Klassen dargestellt. Es werden wie bei den vorigen Betrachtungen die Buhnenfelder wieder beginnend bei Stromkilometer 418,4 bis zum letzten Untersuchungsgebiet bei Elbekilometer 427 betrachtet. Bei jedem Buhnenfeld wird dann wieder über die unterschiedlichen Probezeitpunkte unterschieden. Die Grundlage der Darstellungen bildet die hydrodynamische Modellierung da hier eine Quantifizierung sinnvoller ist wie der alleinigen Betrachtung der gemessenen Werte (siehe auch ADV Messungen, Kap. ###).

Die Grafiken sind alle gleich aufgebaut und beginnen bei „12 Uhr“ mit der geringsten Geschwindigkeitsklasse um dann im Uhrzeigersinn in die Bereiche höherer Geschwindigkeiten zu kommen.

Abbildung 30 zeigt die Verteilung der auftretenden Geschwindigkeiten aus der numerischen 2D Berechnung für das Buhnenfeld bei Elbekilometer 418,4. Es ist gut zu erkennen, dass sich im Monat März während der ersten Beprobung das Bild ergibt, welches eine homogene Verteilung der Geschwindigkeiten über die Bereiche 0 - 45cm/s zeigt. Dieses Geschwindigkeitssegment macht 80% der Fläche im Buhnenfeld aus. In den oberen Geschwindigkeitsbereichen ist ein merklicher Rückgang der Geschwindigkeiten zu sehen, sodass im Bereich von 50 - 75 cm/s der prozentuale Anteil dieser Geschwindigkeiten auf 6% begrenzt ist.

Hohe Geschwindigkeiten entstehen hauptsächlich durch den Anprall der Strömung an die Buhnenköpfe, welche der Hauptströmung exponiert sind. Auch bei Hochwasser ist die Streichlinie von Buhnenkopf zu Buhnenkopf wirksam (vgl. auch Strömungsdarstellungen ###), sodass bei intakten

Buhnenfeldern höhere Geschwindigkeiten nicht zu erwarten sind. Die Buhnen im betrachteten Buhnenfeld bei Elbekilometer 418 haben im Gegensatz zu den Standardbuhnen an der Elbe Durchbrüche in etwa der Mitte der Buhne. Diese Anordnung bewirkt durch die bessere Durchströmung eine Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeiten. Ein Vergleich mit den Buhnenfeldern bei Elbekilometer 419 und 423 ist allerdings nur bedingt aussagekräftig, da die Exposition dieser Feldgruppen nicht identisch ist mit der Feldgruppe bei Elbekilometer 418. Mit der hohen Variabilität der Strömungsgeschwindigkeiten ist ein guter Austausch des Wasserkörpers verbunden der hier allerdings nicht quantifiziert werden kann.

In Abbildung 31 ist die Situation im Monat April dargestellt, welche sich zum März stark unterscheidet. Der Wasserstand am Pegel Havelberg im Monat April stand im Vergleich zum Vormonat 1,05m tiefer. Die Strömungsgeschwindigkeiten fallen deutlich ab. So ist der Bereich von 0-5cm/s sowie 5-10cm/s um das Dreifache angestiegen, Geschwindigkeiten über 45cm/s fallen mit lediglich 3% ins Gewicht, welches der Einfluss der Buhnenköpfe ist.

Geschwindigkeitsverteilung in den Untersuchungsmonaten bei Elbekilometer 418,4

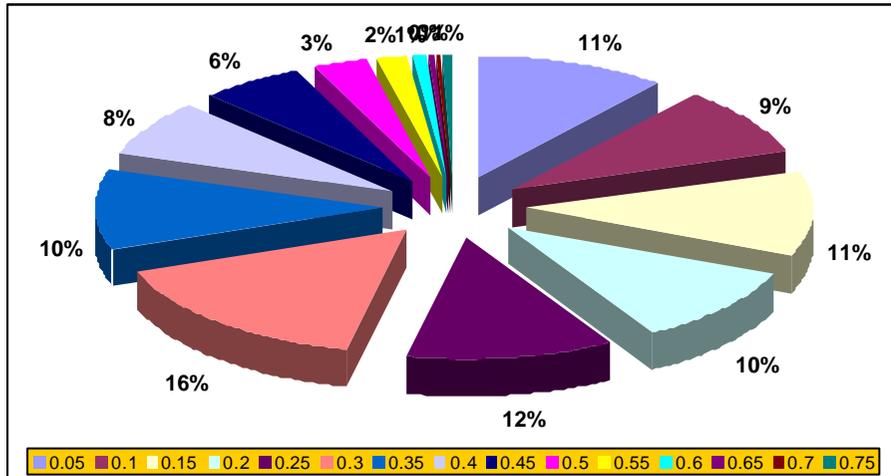


Abbildung 67: Geschwindigkeitsverteilung am 19.03.1998

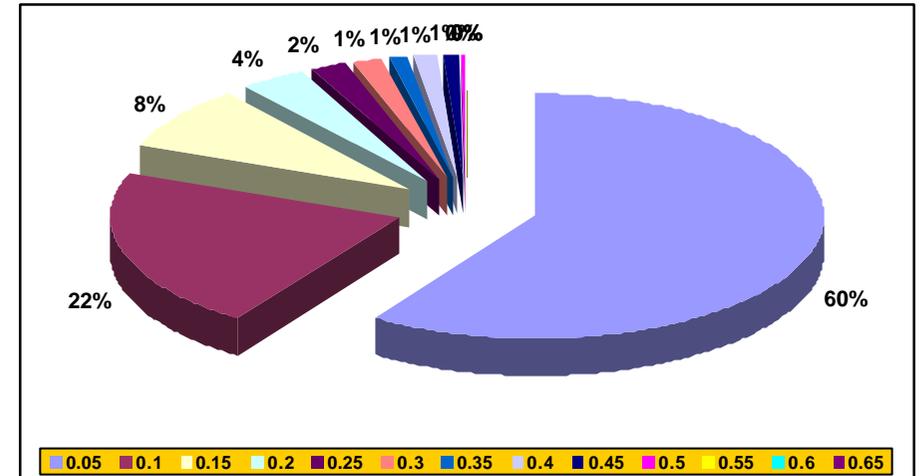


Abbildung 68: Geschwindigkeitsverteilung am 26.05.1998

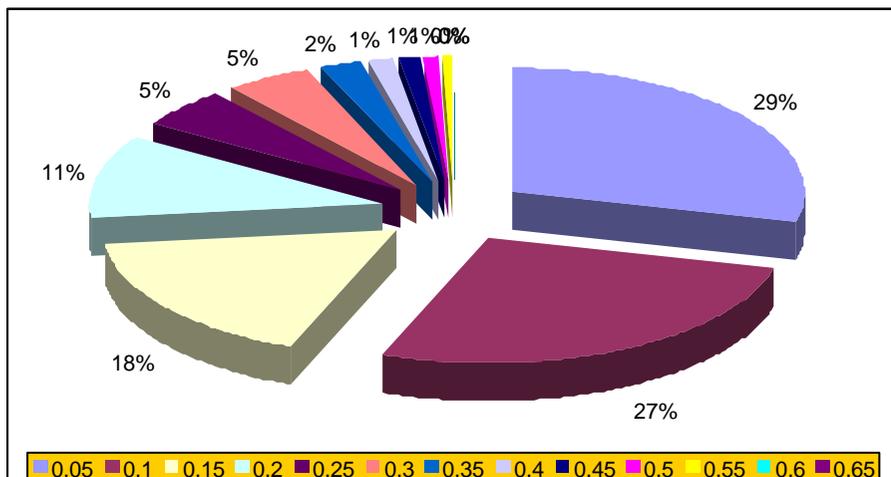


Abbildung 69: Geschwindigkeitsverteilung am 30.04.1998

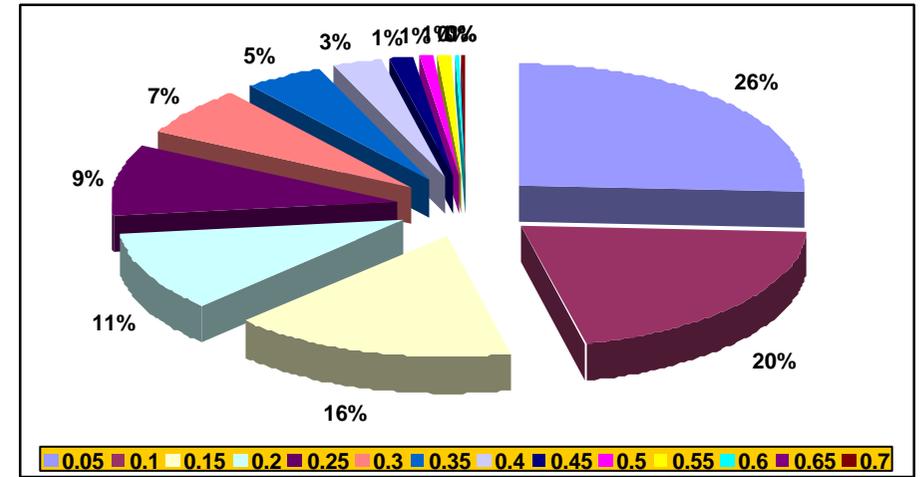


Abbildung 70: Geschwindigkeitsverteilung am 08.12.1998