

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Conference Paper, Published Version

Hentschel, Bernd

Physikalisches Geschiebetransportmodell der Oder zur Untersuchung der Wechselwirkung von Stromregelungsbauwerken, Sohlformen und nautischen Bedingungen

Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen

Zur Verfügung gestellt in Kooperation mit/Provided in Cooperation with:

Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/103808>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Hentschel, Bernd (2006): Physikalisches Geschiebetransportmodell der Oder zur Untersuchung der Wechselwirkung von Stromregelungsbauwerken, Sohlformen und nautischen Bedingungen. In: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik (Hg.): Strömungssimulation im Wasserbau (Flow Simulation in Hydraulic Engineering). Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen 32. Dresden: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik. S. 87-95.

Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



Physikalisches Geschiebetransportmodell der Oder zur Untersuchung der Wechselwirkung von Stromregelungsbauwerken, Sohlformen und nautischen Bedingungen

Bernd Hentschel

Summary

Taking a reach of the Oder River by Hohenwutzen as an example, the German Waterways Engineering and Research Institute investigates the dune motion using a physical model with changeable, mobile bottom. The investigations consider planned variants of river training measures and are performed for instationary and stationary flow regime. Besides the mean water and bed level changes, the shape and migration of bottom dunes are analysed, taking the nautical definition of the fairway into account.

1 Die Aufgabenstellung

In Flachlandflüssen wie der Oder oder der unteren Mittelelbe werden erhebliche Mengen an Sand und Kies an der Flusssohle transportiert. Dieser Transport findet zu einem wesentlichen Teil in Form von Dünen statt. Diese Dünen können in der Oder Längen bis zu 800 m bei Höhen von 1 bis 2 m aufweisen und sie bewegen sich mit relativ großen Geschwindigkeiten von bis zu 5 m pro Tag stromabwärts (s. Abbildung 1). Die Form der Dünen und die Art ihrer Bewegung ist dabei neben den morphologischen, hydraulischen und hydrologischen Randbedingungen auch von der Methode der Flussregelung abhängig. Die Form- und Lageänderungen sind mehr oder weniger zufällig und nicht im Detail vorhersagbar.

Die Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) wurde vom Wasser- und Schifffahrtsamt (WSA) Eberswalde mit der Durchführung von Untersuchungen zur Wechselwirkung zwischen unterschiedlichen Unterhaltungs- und Regelungsmaßnahmen und der Form der Gewässersohle beauftragt. Die Auswahl der für diese Untersuchungen gewählten Geometrievarianten erfolgte in Abstimmung mit den zuständigen polnischen Behörden.



Abbildung 1 Düne in der Oder bei Oder-Kilometer 651 (Fließrichtung von links nach rechts)

Da die für die Sohlformen wesentlichen Strömungsvorgänge ausgesprochen dreidimensional sind und stochastische Effekte berücksichtigt werden müssen, wurde in der BAW ein physikalisches Modell mit beweglicher Sohle aufgebaut.

2 Physikalisches Modell

Für die Untersuchungen wurde exemplarisch der Oder-Abschnitt zwischen Od-km 654,7 und 662,5 gewählt (s. Abbildung 2). Die Tabelle 1 zeigt die wesentlichen Modellparameter des physikalischen Modells im Vergleich zu den entsprechenden Naturwerten.

Tabelle 1 Ausgewählte Modellparameter

Modelllänge	Natur: 7,8 Kilometer, Modell: 78 m
Geometriemaßstäbe:	Längenmaßstab: 1:100, Höhenmaßstab: 1 : 40
Geschiebematerial Natur	Grobsand / Feinkies, $d_m = 0,9 \text{ mm}$, $\rho = 2,65 \text{ g/cm}^3$
Geschiebematerial Modell	Polystyrolgranulat, $d_m = 2,1 \text{ mm}$, $\rho = 1,055 \text{ g/cm}^3$ (s. Abbildung 3)



Abbildung 2 Übersicht über das Modell; im Hintergrund die Messbrücke; Fließrichtung von oben nach unten

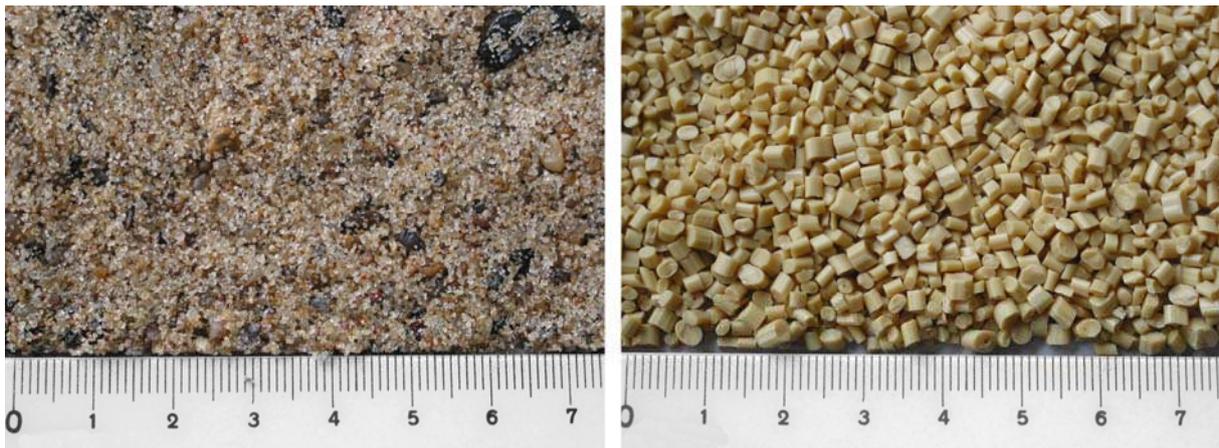


Abbildung 3 Natur- und Modellgeschiebe

Wesentlich bei den durchgeführten Untersuchungen ist die Erfassung der Sohlgeometrie sowohl nach stationären Durchflussereignissen bei ausgewählten Untersuchungsvarianten und -zeiträumen als auch während des Versuchsbetriebes (z.B. Vermessung der Sohlhöhen und Dünenformen während eines instatio-

nären Hochwasserereignisses). Dazu wurde an einer frei positionierbaren Messbrücke (s. Abbildung 2) ein photogrammetrisches Messsystem angebracht. Bei diesem System wird von einem Projektor ein Raster auf die Modellsohle projiziert, welches von 3 Videokameras aus unterschiedlichen Richtungen aufgenommen wird (Abbildung 4). Über räumliche Triangulationsverfahren kann die Lage jedes einzelnen Rasterpunktes im Raum bestimmt werden. Durch eine Erweiterung des Systems, bei der auch die Höhe des Wasserspiegels simultan mit vermessen wird, kann das System auch für Vermessungen der Sohlgeometrie durch das fließende Wasser hindurch verwendet werden [Godding et al. 2003; Hentschel 2006]. In Abbildung 5 ist eine mit dieser Methode vermessene Modellsohle einer mit einem Flächenpeilschiff in der Natur vermessenen Sohle bei einem vergleichbaren Durchfluss gegenübergestellt.

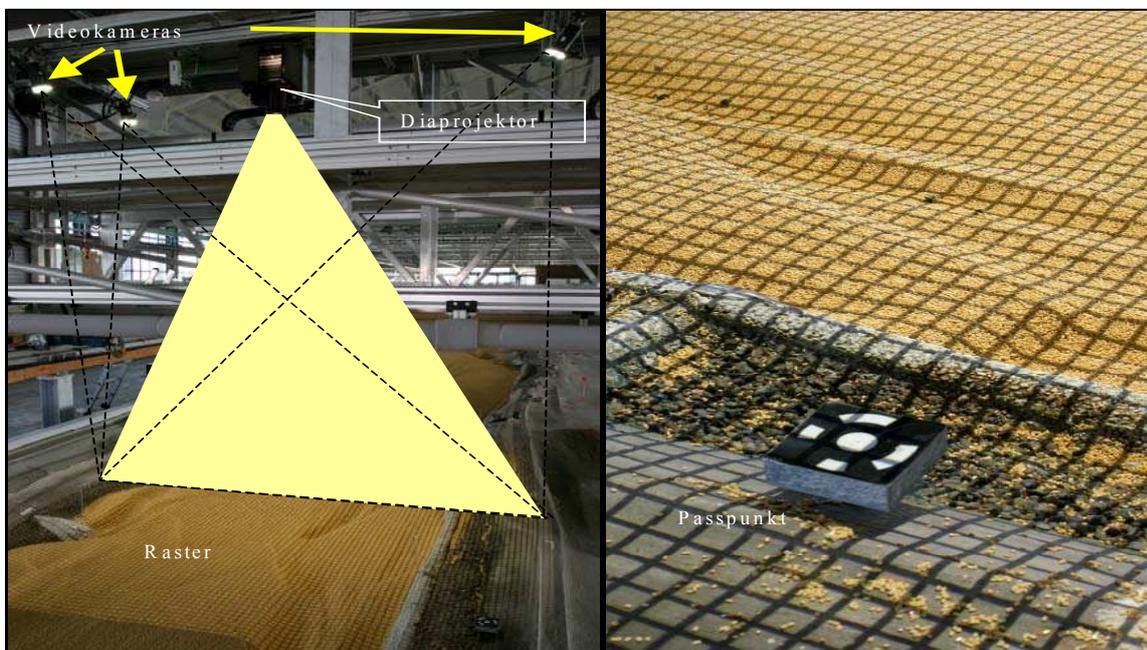


Abbildung 4 Photogrammetrie, Aufbau und Messraster

Neben den Vermessungen der Modellgeometrie wird während des Versuchsbetriebes an 20 Stellen im Modell der Wasserspiegel im Abstand von 5 Sekunden gemessen und gespeichert.

3 Versuchsdurchführung

Geschiebetransportvorgänge gehorchen keinen strengen Regeln, so dass jeder einzelne Versuch im Modell, trotz gleicher Rand- und Anfangsbedingungen anders abläuft. Das entspricht aber auch der Natur. Bei gleichen hydrologischen

und hydraulischen Gegebenheiten gibt es in der Natur nie zweimal genau die gleiche Flusssohle ("Man kann nie zweimal in den gleichen Fluss steigen", Heraklit). Dass sich dieses Phänomen auch im Modell einstellt, ist zum Einen ein Problem, da jeder Versuch hier fünf mal wiederholt wird, um eine ausreichende Datengrundlage für statistische Analyse zu haben. Zum Anderen zeigt das Modell aber auch die Spannweite der Varianz der möglichen Sohlstrukturen.

In der Natur ist es heute so, dass die Dünen in den gestreckten Abschnitten der Oder in Form von "alternierenden Bänken" wandern, das heißt, dass die Dünen abwechselnd rechts und links im Fluss liegen und stromabwärts wandern. Dadurch ist der Verlauf der Fahrrinne für die Schifffahrt nicht konstant. Ziel der Modellkonzeption war es, dieses Phänomen im Modell ebenfalls abzubilden, um dann bei Untersuchungsvarianten nicht nur Aussagen zu mittleren Veränderungen von Wasserspiegel und Sohlhöhe, sondern auch Aussagen über die Dynamik der Sohlumbildungen zu erhalten. Die in der Natur derzeit erforderliche ständig zu wiederholende Festlegung einer neuen Fahrrinne für die Schifffahrt stellt einen erheblichen Aufwand dar, so dass Aussagen über Maßnahmen, die zur Stabilisierung der Fahrrinne führen, ein wichtiges Ziel der Untersuchungen darstellen.

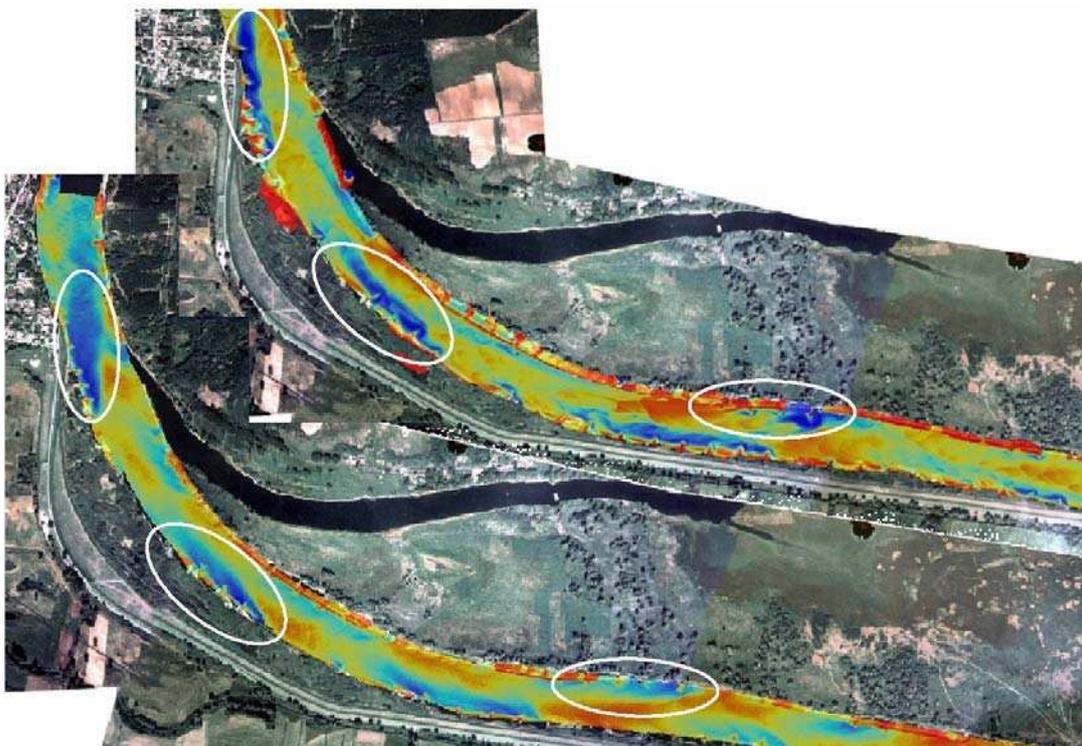


Abbildung 5 Vergleich der Sohlgeometrie in der Natur (unten) mit dem Modell (oben) (Fließrichtung: von rechts nach links; Spannweite der Farbabstufung: blau: -6 m+NN bis rot +4 m+NN)

Abbildung 6 zeigt zum Beispiel in einem Querprofil eine Natur- und drei Modellsohlen, die bei Modellläufen mit identischen Rand- und Anfangsbedingungen aufgenommen wurden. Gut zu erkennen ist die große Streubreite der Sohlhöhen. Man erkennt aber auch, dass die Natursohlhöhe sich innerhalb der Spannweite der Modellsohlhöhen bewegt. Die durchgezogene rote Linie zeigt die maximale Sohlhöhe, die in dem Profil zu irgendeinem Zeitpunkt aufgetreten ist, also die Tiefe mit der die Schifffahrt ohne spezielle Ausweisungen einer lokalen Fahrrinne rechnen müsste. Diese maximalen Höhenwerte liegen um etwa einen Meter über den mittleren Höhen.

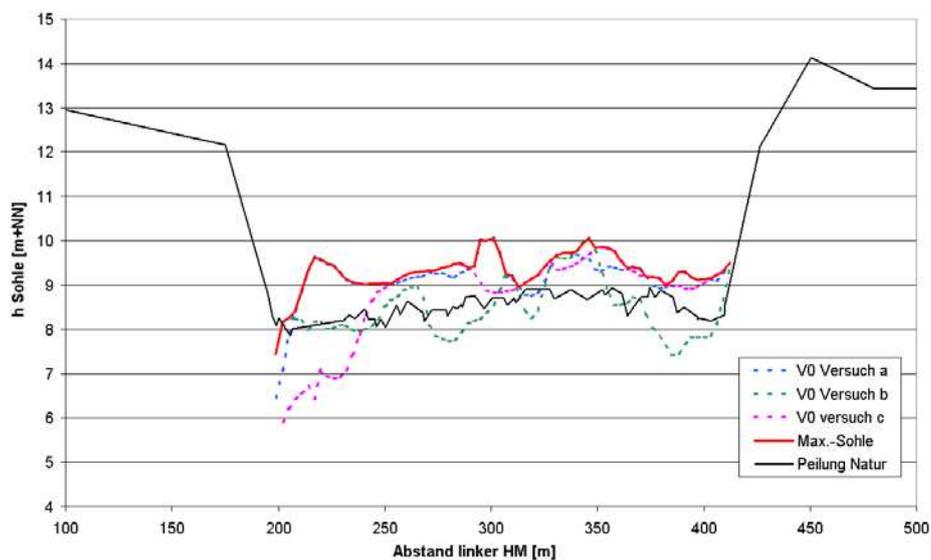


Abbildung 6 Eine Natur- und drei Modellsohlen bei vergleichbaren Abflüssen



Abbildung 7 Nautisch optimierte Fahrrinnen aus 5 unabhängigen Modellversuchen (Variante V0)

Da weder die Betrachtung von Mittelwerten noch die einzelner Querprofile für die Beurteilung einer möglichen Fahrrinne geeignet ist, wurden die in dem Mo-

dell vermessenen Gewässersohlen für eine nautische Analyse herangezogen. Es wurden für einzelne, jeweils unabhängige Modellversuche die Verläufe möglicher Fahrrinnen für ein Europaschiff (Länge 82 m, Breite 11,40 m) berechnet [BAW 2001].

In Abbildung 7 sieht man Beispiele für die Verläufe dieser Fahrrinnen für den Ist-Zustand im Untersuchungsbereich. Auffällig ist hier die große Streubreite. Abbildung 8 zeigt demgegenüber für eine Untersuchungsvariante (Variante V2a) die Verläufe aus ebenfalls 5 Modellversuchen. Deutlich ist hier insbesondere in der Krümmung in der linken Bildhälfte, dass die Streubreite erheblich abgenommen hat, d. h. der Verlauf der Fahrrinne ist weitgehend stabil, so dass im Falle der Realisierung der Aufwand für die Verkehrssicherungspeilungen und für das Abstecken der Fahrrinne erheblich reduziert werden könnte.



Abbildung 8 Nautisch optimierte Fahrrinnen aus 5 unabhängigen Modellversuchen (Variante V2a)

Die Sohlformen sind ganz wesentlich abhängig von den Abflussverhältnissen. Die Untersuchungen im physikalischen Modell werden daher bei 3 signifikanten stationären Abflüssen (ca. MNQ, MQ und 2 x MQ) durchgeführt. Daneben werden auch Untersuchungen mit einer instationären Abflusssteuerung betrieben. Diese sind jedoch bezüglich der Durchführung und Auswertung der erhobenen Daten ungleich aufwändiger und komplexer, so dass sie bei jeder Variante nur ein- bis zweimal durchgeführt werden. Durch die Möglichkeit in dem Modell während des Versuchslaufes die Sohle zu vermessen, kann dabei während der Welle die Abflussabhängigkeit der Sohlhöhe und -form ermittelt werden. Abbildung 9 zeigt zum Beispiel die Abhängigkeit der Standardabweichung der Sohlhöhe als Funktion der Wasserspiegelhöhe während einer Hochwasserwelle. Gut erkennt man, wie die Standardabweichung mit steigendem Abfluss ansteigt, um dann, leicht verzögert wieder abzufallen, d.h. die Sohle wird insgesamt

rauer, die Dünen werden hier mit steigendem Abfluss höher. Für diese Auswertung wurden über einen Zeitraum von etwa 8 Stunden im Modell 150 Sohlvermessungen durchgeführt (Messintervall ca. 190 Sekunden).

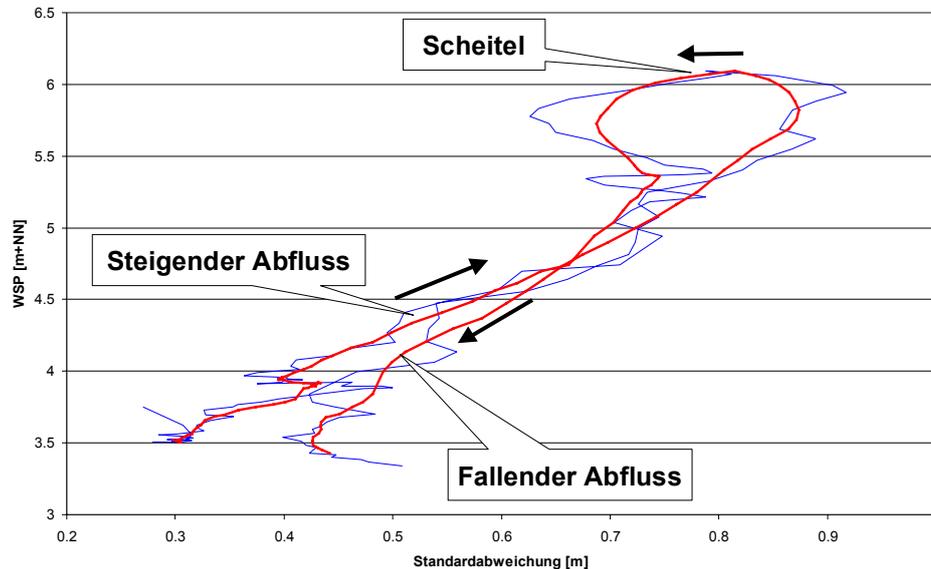


Abbildung 9 Verlauf der Standardabweichung der Sohlhöhe als Funktion des Wasserspiegels während einer Hochwasserwelle

4 Ausblick

Die nautische Analyse von Sohlgeometrien aus einem physikalischen Modell stellt eine neue Methode dar, um Auswirkungen von Maßnahmen am Gewässerbett hinsichtlich ihrer Wirkungen auf den Geschiebetransport beurteilen zu können. Daher sind weitergehende Untersuchungen, insbesondere unter Berücksichtigung von zusätzlichen Naturdaten erforderlich. Ziel ist es dabei, Prognosemethoden zu entwickeln, mit denen die Stabilität von Fahrrinnenverläufen bereits vor Unterhaltungs- oder Ausbaumaßnahmen quantitativ vorausgesagt werden können.

Auch für die Analyse von Dünen in ihrer Wechselwirkung mit dem Abfluss stellt die zur Anwendung gebrachte Methode der Vermessung einer Flusssohle während eines instationären Durchflussereignisses wesentliche Grundlagen dar. Derzeit laufen in Zusammenarbeit mit dem Leichtweiß Institut der Universität Braunschweig [LWI 2005] tiefgehende Interpretationen und Verallgemeinerungen der gewonnenen Daten.

5 Literatur

BAW 2001: Tätigkeitesbericht der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) 2001; FuE-Projekte Wasserbau im Binnenbereich, Optimierung der Befahrbarkeit von Flüssen unter Beachtung hydrodynamischer, fahrdynamischer und morphologischer Kriterien

DVWK 2003: Feststofftransportmodelle für Fließgewässer. ATV-DVWK Arbeitsbericht, Arbeitsgruppe WW-2.4 „Feststofftransportmodelle“, März 2003,

Godding, R.; Hentschel, B.; Kauppert, K.: Videometrie im wasserbaulichen Versuchswesen; Wasserwirtschaft, Wassertechnik, 4/2003

Hentschel, B., Witte, H.-H.: Morphologische Untersuchungen zur Verbesserung der Schifffahrtsverhältnisse zwischen Dömitz und Hitzacker, HTG-Kongress 1999, Magdeburg

Hentschel, B.: Hydraulische Flussmodelle mit beweglicher Sohle, Mitteilungsheft der BAW 2006, (in Vorbereitung)

LWI 2005: Leichtweiss-Institut für Wasserbau, TU Braunschweig, Bericht Nr 911: Auswertung sedimentologischer Daten der Oder - Machbarkeitsstudie im Auftrag der BAW, interner Bericht, September 2005

Autor:

Dipl.-Ing. Bernd Hentschel
Bundesanstalt für Wasserbau
Kussmaulstrasse 17
76187 Karlsruhe
Tel: ++49 - 721 - 9726 2640
Fax: ++49 - 721 - 9726 4540
hentschel@baw.de

MBT GmbH



MacArtney Gruppe
Wischhofstraße 1-3 Gebäude 11 24148 Kiel
Telefon 0431-7207-200 Fax 0431-7207-207
info@m-b-t.com www.m-b-t.com

Gegründet 1997, gehört die Firma MBT GmbH seit dem Jahr 2000 der dänischen MacArtney Gruppe an, einem führenden Ausrüster und Systemhaus der Meeres- und Gewässermesstechnik. MBT beschäftigt sich mit dem Vertrieb ozeanographischer, hydrographischer, hydrologischer und labortechnischer Ausrüstung.

Unser Angebot umfasst das Spektrum von Einzelsensoren über Sensorsysteme, bis hin zu komplexen Systemlösungen, inklusive Datenerfassung und -übertragung.

Die Mitarbeiter von MBT stehen für ihre Kunden in allen Fragen von der Produktauswahl und der Projektierung, über die Integration, bis hin zur Inbetriebnahme und Schulung zur Verfügung.

Ein Ausschnitt aus unserem Lieferprogramm:

- Messsonden zur Bestimmung hydrologischer Parameter
- z. B. Strömung und Durchfluss
- Systeme der hydrographischen Vermessung
- Unterwasservideosysteme
- Sonarsysteme zur Kartierung und Objektsuche
- Messstationen für die Umweltüberwachung
- Unterwasserkabelsysteme und Steckverbindungen
– auch Glasfasertechnologie
- Messgerätewinden
- Geschleppte und frei fahrende unbemannte Über- und Unterwasserfahrzeuge



Wasser ist unser Element!