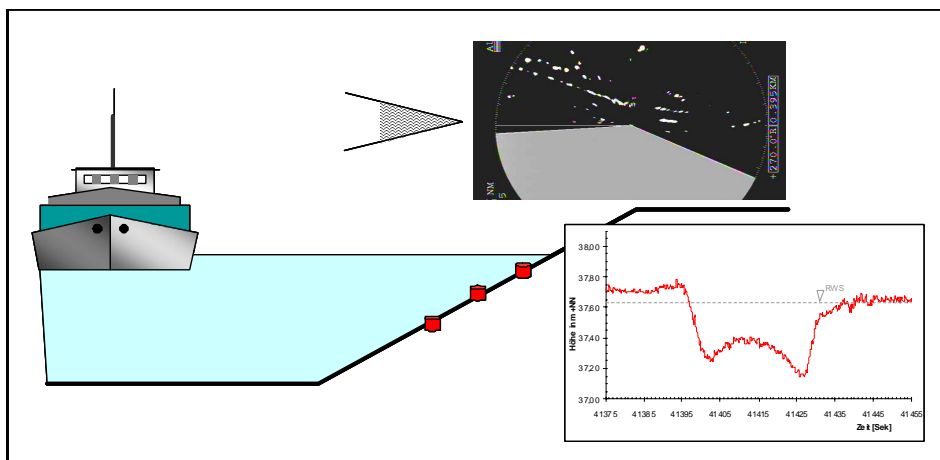


**BUNDESANSTALT
FÜR GEWÄSSERKUNDE**
Koblenz

**BUNDESANSTALT
FÜR WASSERBAU**
Karlsruhe



**Untersuchungen zu alternativen,
technisch-biologischen
Ufersicherungen an
Binnenwasserstraßen**

Info-Blatt:

**Schiffserzeugte Wellen und
Schiffsumströmung –
Messungen und Auswertung**

**F & E – Projekt
(BAW – BfG)**

Stand: November 2016

Inhalt

- 1 Messaufgabe
- 2 Messumfang
- 3 Repräsentativer Messquerschnitt
- 3 Repräsentativer Messquerschnitt
 - 3.1 Messquerschnitte der Versuchsstrecke Stolzenau / Weser
 - 3.2 Messquerschnitte der Versuchsstrecke Worms / Rhein
- 4 Messgeräte
- 5 Durchführung der Messungen
- 6 Auswertungen
- 7 Literatur

1 Messaufgabe

Für die Auswahl geeigneter alternativer technisch-biologischer Ufersicherungen ist eine möglichst genaue Kenntnis der auf das Ufer wirkenden schiffahrtsbedingten hydraulischen Belastungen notwendig. Schiffsinduzierte Belastungen infolge der Interaktion Schiff/ Wasserstraße resultieren im Wasserspiegelabsenk, in Wellen und Strömungen. Sie treten immer nur lokal und temporär auf und werden insbesondere von den Abmessungen und Tiefgängen der Schiffe, den Schiffsgeschwindigkeiten sowie den Schiffsabständen zum Ufer beeinflusst.

Um Informationen über die vorhandene Schiffsflotte und die induzierten hydraulischen Belastungen zu erhalten, eignet sich die Durchführung einer Verkehrsbeobachtung – auch als Messkampagne bezeichnet. Während einer solchen Beobachtung werden alle Schiffe – Güterschiffe, Fahrgastschiffe, Sonderfahrzeuge und Sportboote – mit ihren technischen Daten, ihren Positionen und gefahrenen Geschwindigkeiten sowie den erzeugten hydraulischen Größen umfassend registriert, um darauf aufbauend Verknüpfungen zwischen den schiffahrtsbedingten hydraulischen Belastungen der Ufer der untersuchten Strecke, deren Stabilität sowie der Vegetation und Fauna in den Uferbereichen zu ermöglichen. Die Vorgehensweise bei einer Messkampagne und die Durchführung der Auswertungen sollen hier zusammengefasst erläutert werden.

2 Messumfang

Bei den Verkehrsbeobachtungen sollte Folgendes gemessen bzw. aufgezeichnet werden:

- Querprofile in den Messquerschnitten (einmalig), um den aktuellen Zustand der Gewässergeometrie zu kennen und evtl. Nachrechnungen durchführen zu können
- Wasserspiegelauslenkungen am Ufer, um alle Wellenhöhen bestimmen zu können
- Schiffspositionen, um die Uferabstände ermitteln zu können
- Schiffsgeschwindigkeiten, um z. B. einen Vergleich zwischen gefahrenen und zulässigen Geschwindigkeiten zu haben
- Schiffsabmessungen (lt. Markierung) und -abladungen (nach Eichmarken), um das aktuelle Verhältnis Gewässerquerschnitt zu Schiffsquerschnitt zu kennen
- Fließgeschwindigkeiten in Ufernähe, um so Rückströmungs- und Nachlaufgeschwindigkeiten zu erhalten

Für die Messung von Schiffspositionen und -geschwindigkeiten wird ein für die Schifffahrt nicht sichtbares Radargerät eingesetzt, um so sicher gehen zu können, dass die Schiffsführer in ihrer Fahrweise nicht von den Messungen beeinflusst werden. Die meisten Schiffe können zusätzlich durch Fotos und Videos während ihrer Vorbeifahrt dokumentiert werden. Um einen möglichst großen Fundus an technischen Daten besonders der Güterschiffe zur Verfügung zu haben, wird – wenn möglich – parallel an nahegelegenen Schleusen eine Abfrage der Schiffsdaten durchgeführt. Ein Vorschlag für einen Registrierbogen ist auf Bild 1 zu sehen.

3.1 Messquerschnitte der Versuchsstrecke Stolzenau / Weser

Literatur: (BAW, BfG, 2008)

Als Bezugsquerschnitte und zur Auslegung der Messgeräte wurden die zwei Messquerschnitte We-km 242,040 und We-km 242,170 innerhalb der Versuchsstrecke, jedoch unterhalb der Bühnenfelder festgelegt. Der Gewässerverlauf ist hier noch annähernd gerade, so dass die Schiffe schnell fahren können (vergl. Bild 2). Damit werden höhere hydraulische Belastungen am Ufer erzeugt. Auch sind ufernähere Fahrpositionen möglich, was zusätzlich in höhere Belastungen mündet. Außerdem sind verfälschende Effekte wegen der kurzen Stummelbühnen am rechten Ufer nicht zu erwarten. Für die Interpretation der Zusammenhänge zwischen schiffbedingter Belastung und Stabilität sowie Besiedlung der Ufer durch Fauna und Flora können die Messergebnisse – auf der sicheren Seite liegend – auch auf den Bereich der Versuchsstrecke mit Bühnen übertragen werden.

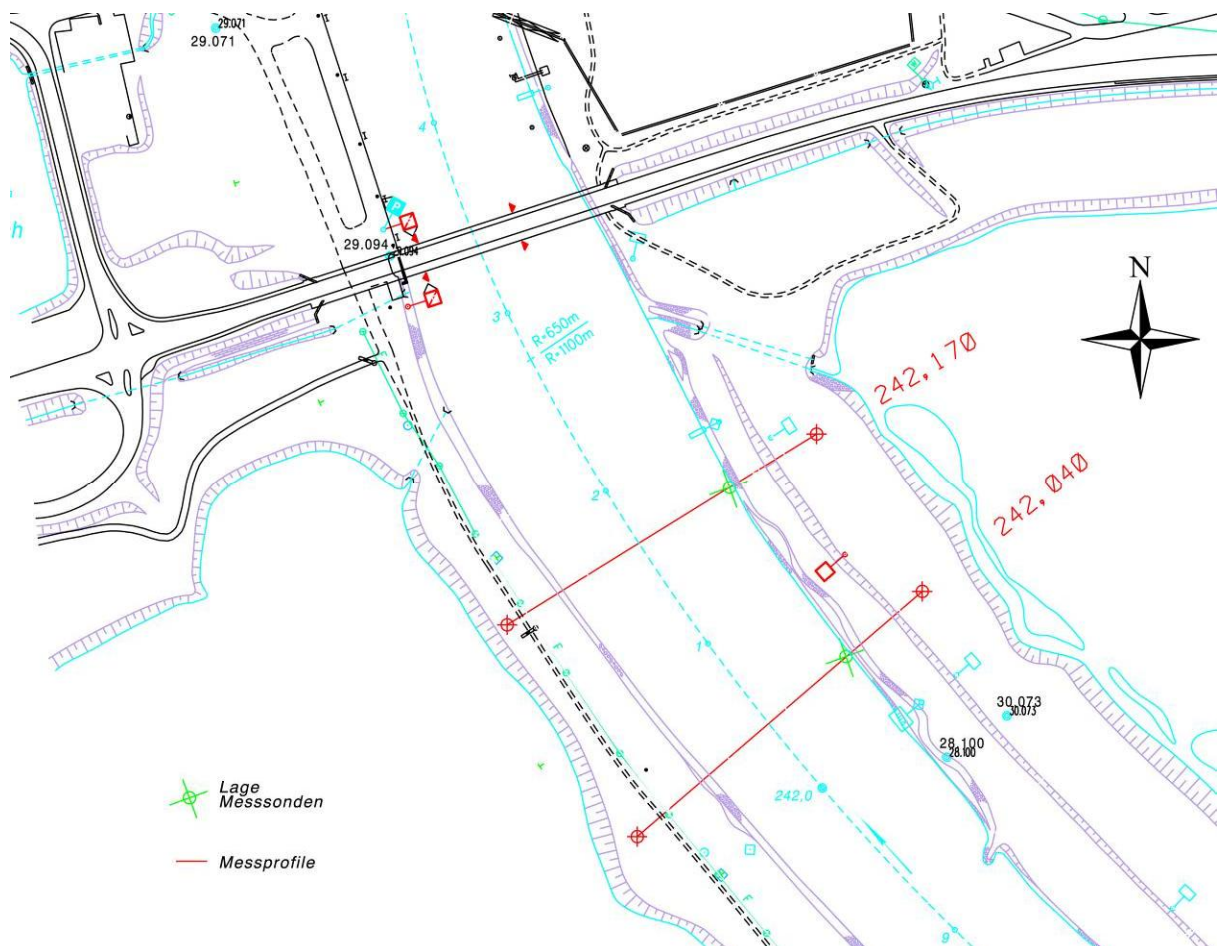


Bild 2: Lage der zwei Messprofile We-km 242,040 und We-km 242,170 für die Verkehrsbeobachtung unterhalb der Versuchsstrecke am rechten Weserufer (BAW, BfG, 2008)

3.2 Messquerschnitte der Versuchsstrecke Worms / Rhein

Literatur: (BAW, BfG, 2010)

Die Verkehrsbeobachtung am Rhein bei Worms wurde in drei Querprofilen durchgeführt (s. Bild 3). Festgelegt wurden die drei gleichmäßig über das ein Kilometer lange Untersuchungsgebiet verteilten Querprofile bei

- Rhein-km 440,6 (Erfassung der Schiffsparameter, Wellenhöhen, Strömungsgeschwindigkeiten),
- Rhein-km 441,1 (Erfassung der Wellenhöhen) und
- Rhein-km 441,6 (Erfassung der Schiffsparameter, Wellenhöhen).

Der Einbau der Messgeräte sowie die Verkehrsbeobachtung erfolgten in allen Profilen an der rechten Uferseite. Die drei Querprofile sind gekennzeichnet durch unterschiedliche Geometrien (Prallhang bei Rh-km 440,6 und Gleithang bei Rh-km 441,6) und durch unterschiedliche Fahrrinnenabstände zum rechten Ufer (dunkelblaues Band in Bild 3). Dies führt zu unterschiedlichen schiffsinduzierten Uferbelastungen entlang der Versuchsstrecke, die aufgrund der Verkehrsbeobachtung bei der Auswahl geeigneter alternativer technisch-biologischer Ufersicherungen eingeschätzt und berücksichtigt werden können.

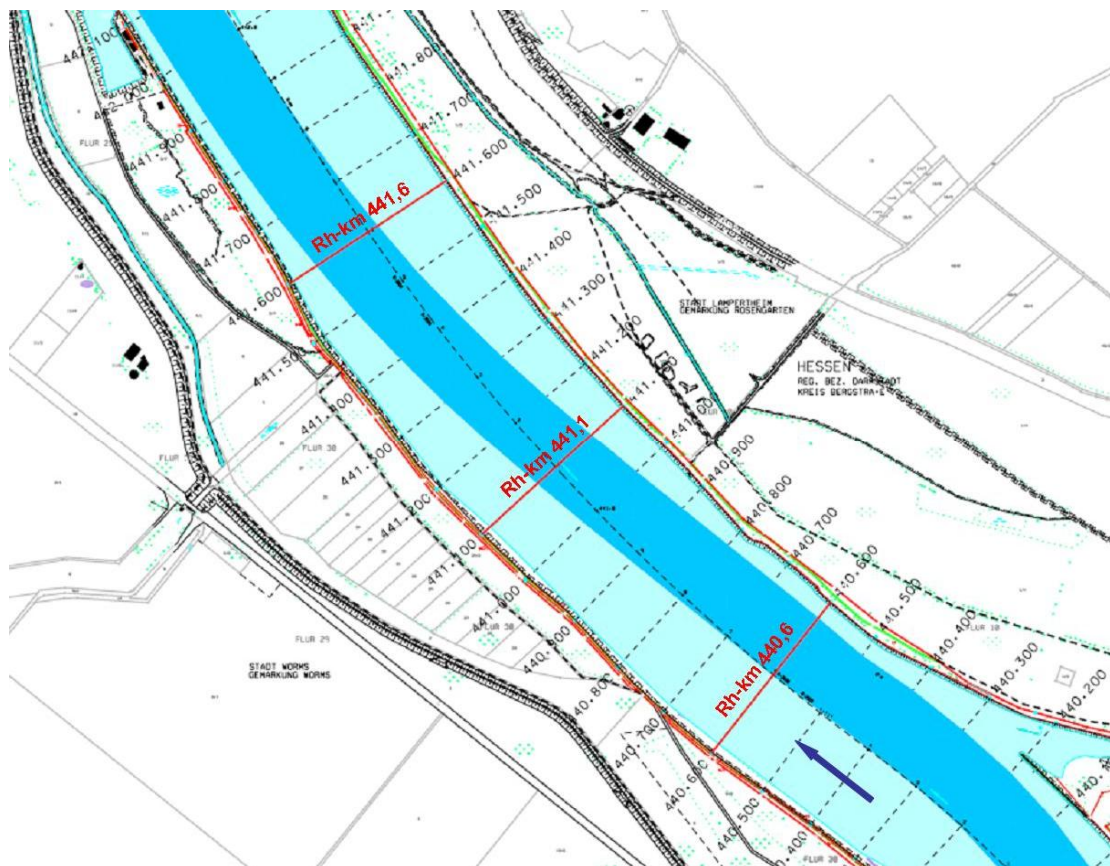


Bild 3: Lage der Messprofile für die Verkehrsbeobachtung in der Versuchsstrecke am Rhein bei Worms (BAW, BfG, 2010)

4 Messgeräte

Im Folgenden erfolgt eine kurze Vorstellung der eingesetzten Messgeräte.

- **Digitales Radarerfassungssystem**

Zur Erfassung der Schiffsgeschwindigkeiten und der Uferabstände wird eine hoch auflösende Radaranlage verwendet, die nicht sichtbar für die vorbeifahrende Schifffahrt in einem Zelt oder auf einem LKW aufgebaut ist (s. Bild 4). Einen Eindruck des Radarschirms bei Passage eines Güterschiffes gibt Bild 5.



Bild 4: Blick auf die Radaranlage im Messzelt (links, Versuchsstrecke Stolzenau/Weser) und auf dem LKW (rechts, Versuchsstrecke Worms/Rhein)

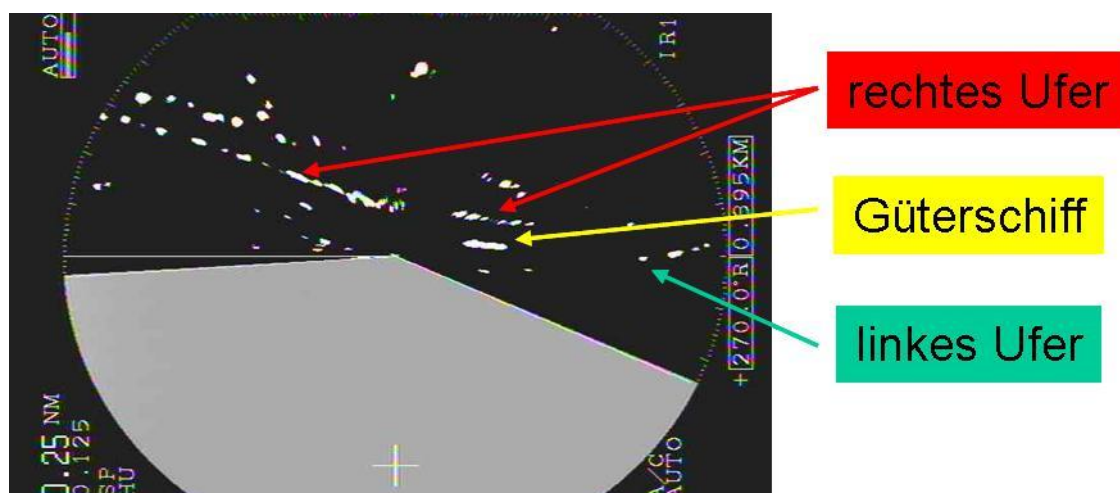


Bild 5: Aufnahme des Radarschirms mit Passage eines zu Tal fahrenden Güterschiffs (Versuchsstrecke Stolzenau/Weser)

- **Wellensonden**

Die schiffserzeugten Wasserspiegelauslenkungen werden mit zwei Druckmesssonden je Profilpunkt gemessen (doppelte Messwerterfassung, um bei evtl. Stromausfall sicher Daten zu erfassen; interne Stromversorgung und Datenlogger; Messfrequenz 2 bzw. 4 Hz). Die Sonden liegen ca. 0,5 - 1 m unter dem Wasserspiegel (bezogen auf den Einbautag), um ein Trockenfallen der Sonden und damit einen Messausfall zu vermeiden. Bei der Versuchsstrecke am Rhein bei Worms wurden drei Sondenpaare in unterschiedlichen Tiefen (ca. 0,5 m, 1,0 m und 1,5 m unter dem Wasserspiegel) eingebaut. Zur Ermittlung der Absolutwerte der Drücke war an Land ein barometrischer Druckaufnehmer angeordnet. Die Lage-sicherung der Drucksonden wird durch Bleigewichte und mehrere am Ufer befestigte Ketten sichergestellt.

Ein weiteres verwendbares Wellenmessgerät ist die AWAC Ultraschall-Wellensonde (Messfrequenz 4 Hz, Spannungsversorgung durch extern angebrachte Batterie). Sie erfasst den Druck mit einer piezo-elektrischen Drucksonde, die Orbitalgeschwindigkeiten mittels Ultraschallsensoren und die Wasserspiegeloberfläche mit einem so genannten Acoustic Surface Tracking (AST). Der AWAC wird in einem Betonsockel an der Böschung installiert und vertikal ausgerichtet.

- **Geschwindigkeitssonde**

Zur Bestimmung der räumlichen Fließgeschwindigkeit in Ufernähe wird eine Geschwindigkeitssonde der BAW eingesetzt (ADV-Sonde der Firma NORTEK, Typ VECTOR, Messprinzip: Akustisches Doppler Verfahren, Messfrequenz 4 Hz). Für die Einbautiefe der Strömungssonden gelten dieselben Angaben wie für die der Wellensonden (s. o.).

- **ADCP-Messgerät**

Zur Bestimmung von Fließgeschwindigkeiten wird ein Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP) eingesetzt. Der ADCP wird an einer absenkbaren Halterung am Messboot angebracht und misst in kurzen Zeitabständen ein lotrechtes Geschwindigkeitsprofil, die Geschwindigkeit des Boots über Grund und die Wassertiefe.

Bei Abflussmessungen müssen die Messfahrten in einem Profil mehrfach (ca. viermaliges, langsames Queren des Profils) durchgeführt werden, um eine Reproduzierbarkeit und damit die Genauigkeit der Messwerte zu gewährleisten.

- **Lage- und Höhenbestimmung**

Alle Positionsbestimmungen (Messsonden, Messboot) erfolgten mittels DGPS.

- **Messboot**

Zur Echolotpeilung der Messprofile wird das mitgeführte Messboot (L/B/T = 5,1 m / 1,86 m / 24 cm) eingesetzt. Vor Beginn der Messkampagne zusätzlich durchgeführte Fahrten dienen der späteren Entzerrung der Radarbilder.

5 Durchführung der Messungen

Die Verkehrsbeobachtungen wurden bislang meist in einem Zeitraum von sieben Tagen durchgeführt, um eine ausreichende Anzahl von Schiffspassagen beobachten und eine aussagekräftige Schiffsstatistik anlegen zu können. Das Datum der Messungen wird meist aufgrund von untersuchungsrelevanten Wasserständen oder aufgrund von verkehrsreichen Zeiten laut langjähriger Schiffsstatistik festgelegt. Die tägliche Beobachtungszeit richtet sich grundsätzlich nach den Lichtverhältnissen, ist aber meist von ca. 06:00 h bis 20:00 h möglich.

Der Ein- und Ausbau der Messsonden findet meist in Zusammenarbeit mit einem beauftragten Ingenieurbüro, der BAW und den jeweiligen WSÄ oder ABZ statt.

Als Grundlage zur räumlichen Entzerrung des Radarbildes wird die Position der Radaranlage und der Hektometersteine mit DGPS eingemessen. Als Bezugsfahrt wird die Fahrspur des Messbootes sowohl mit DGPS als auch als Radarbildfolge aufgezeichnet.

Während der Verkehrsbeobachtung werden bei Passage der Schiffe folgende Daten erfasst:

Datum, Uhrzeit, Schiffsname, Fahrtrichtung, Schiffslänge, Schiffsbreite, Schiffstyp, max. Tonnage und, falls erkennbar, **Abladetiefe** an Bug und Heck

Durch das Personal der im Umkreis liegenden Schleusen und Revierzentralen können meist zusätzlich folgende weiteren Schiffsdaten erfasst werden:

Datum, Uhrzeit, Schiffsname, Fahrtrichtung, Schiffslänge, Schiffsbreite, Schiffstyp, max. Tonnage, Tiefgang an den Eichen an Bug und Heck, **Motorleistung, Anzahl der Schiffsschrauben, Leistung des Bugstrahlruders, Bugform**

Da bei der Passage von Sportbooten die Länge, Breite und der Tiefgang oft nicht erkennbar ist, können die Längen der Sportboote manchmal nur geschätzt werden. Eine Foto- bzw. Videodokumentation der Passage eines Sportboots hat sich als sehr hilfreich herausgestellt.

Finden Abflussmessungen während der Verkehrsbeobachtung statt, so sollten diese in regelmäßigen Abständen wiederholt werden, um Abflussveränderungen im Messzeitraum mit in die Auswertung miteinbeziehen zu können.

6 Auswertungen

Auf der Basis der Messdaten ist – meist vom beauftragten Ingenieurbüro – ein abschließender Bericht zu den Verkehrsbeobachtungen zu erstellen. Der Bericht beschreibt die Situation, die verwendete Messtechnik und die Durchführung der Messungen, und geht auf Auswertungen und Ergebnisse ein.

Nach einer Aufbereitung der Daten folgen die Auswertungen der Radarbildaufnahmen (Schiffsgeschwindigkeit und Uferabstand), der Wellenhöhen und Strömungsgeschwindigkeiten. Die Wellenhöhen werden visuell aus den aufbereiteten Daten bestimmt.

Beispielhaft ist in Bild 6 ein Wellenereignis während der o. g. Verkehrsbeobachtung am Rhein bei Worms und dessen Auswertung dargestellt.

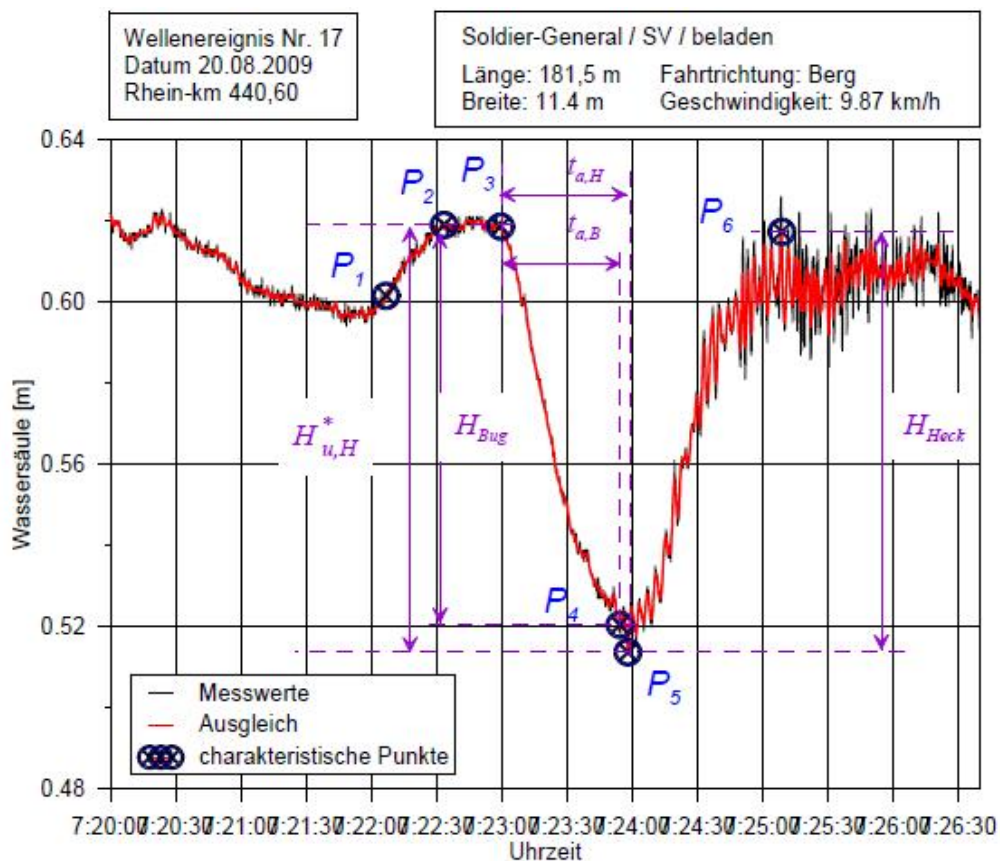


Bild 6: Darstellung eines Wellenereignisses während der Verkehrsbeobachtung am Rhein bei Worms mit Eintragung der entnommenen Punkte

Die Wertepaare wurden hierbei wie folgt abgegriffen:

- P_1 entspricht der Wassertiefe des Ruhewasserspiegels vor dem Wellenereignis. Der Ruhewasserspiegel wurde visuell festgelegt und in den meisten Fällen 1 bis 3 Minuten vor der Passage des Schiffs abgegriffen.

- P_2 entspricht der Wassertiefe des maximalen Wasserspiegelanstiegs vor Passage des Schiffs.
- P_3 entspricht der Wassertiefe während des Wasserspiegelabsinks beim Übergang von einem kleinen Gradienten zu einem großen Gradienten.
- P_4 entspricht der Wassertiefe des maximalen Wasserspiegelabsinks im Bugbereich des Schiffs.
- P_5 entspricht der Wassertiefe des maximalen Wasserspiegelabsinks im Heckbereich des Schiffs. Zeigte sich nur eine Absunkmulde, so wurden P_4 und P_5 als identische Wertepaare abgegriffen.
- P_6 entspricht der Wassertiefe des maximalen Wasserspiegelanstiegs nach Passage des Schiffs.

Für die vorliegenden Berichte wurden die übergebenen Messergebnisse schwerpunktmäßig unter den folgenden Gesichtspunkten weitergehend statistisch ausgewertet:

- Flottenstruktur
- Schiffsgeschwindigkeiten
- Uferabstände
- Wellenhöhen
- Strömungsgeschwindigkeiten
- Quer- und Längsprofile

7 Literatur

- (BAW, BfG, 2010) Bundesanstalt für Wasserbau, Bundesanstalt für Gewässerkunde
Bericht Versuchsstrecke Text 31.03.2010
F & E – Projekt (BAW – BfG)
Eigenverlag, Karlsruhe 2010
- (BAW, BfG, 2008) Bundesanstalt für Wasserbau, Bundesanstalt für Gewässerkunde
Untersuchungen zu alternativen technisch-biologischen Ufersicherungen an Binnenwasserstraßen
Teil 2: Versuchsstrecke Stolzenau / Weser km 241,550 – 242,300
F & E – Projekt (BAW – BfG)
Eigenverlag, Karlsruhe 2008