

**UNTERSUCHUNGEN VERSCHIEDENER EINFLUSSGRÖßEN AUF DIE
BERÜHRUNGSLOSE SEEGANGSMESSUNG MIT RADAR**

von

Kai Irschik¹
Stephan Mai²
Ulrich Barjenbruch³
Nino Ohle¹
Peter Mertinatis⁴
Claus Zimmermann⁵

ABSTRACT

In the last decades sophisticated radar gauges were developed and used in the whole field of storage and process tanks as a precise and comparatively low priced level gauge. To minimize the costs of monitoring and maintenance at german rivers and coasts the GERMAN FEDERAL INSTITUTE OF HYDROLOGY (BfG) and the FRANZIUS-INSTITUT FOR HYDRAULIC, WATERWAYS AND COASTAL ENGINEERING investigate the applicability of installing commercially available radar level gauges for the contact-less acquisition of the water level and wave data (BARJENBRUCH et al., 2000), since the sensors are cheap compared to traditional sensors. Wave-flume tests were carried out at two different scales with four radar units. Besides that the environmental influence is investigated using on-site measurements at the float gauge "BORKUM". Additionally it was possible to record the envelopes of the microwave intensities without any influence of the post-processing software using a modified radar level gauge. First analysis of the measurements with standard devices shows good results in the measurement of the water level. Nevertheless, analysing fast changes of the water surface elevation, the estimated wave data shows high dependency on the applied post-processing firmware.

1. EINLEITUNG

An deutschen Wasserstraßen sowie im Küstenbereich beschränkt sich die Überwachung des Wasserspiegels weitestgehend auf Wasserstandsmessungen. Standardmäßig werden hierfür Schwimmerpegel eingesetzt. Die benötigten Gebäude, meist Pegelhäuser oder

¹ Dipl.-Ing., Franzius-Institut, Nienburger Straße 4, 30167 Hannover

² Dipl.-Phys. Dipl.-Ing., Franzius-Institut, Nienburger Straße 4, 30167 Hannover

³ Dr. rer. nat. habil., Bundesanstalt für Gewässerkunde, Kaiserin-Augusta-Anlagen 15-17, 56068 Koblenz

⁴ Dipl.-Ing., Bundesanstalt für Gewässerkunde, Kaiserin-Augusta-Anlagen 15-17, 56068 Koblenz

⁵ Univ.-Prof. Dr.-Ing., Franzius-Institut, Nienburger Straße 4, 30167 Hannover

Pfahlschächte, bedeuten einen hohen Kostenfaktor sowohl bei der Errichtung als auch bei der Wartung. Parameter, wie Seegang und Wellen oder Eisdicken, können mit dieser Technik nicht erfasst werden.

Um die Investitionskosten zu reduzieren, wird die Anwendbarkeit von berührungslos messenden Sensoren zur Erfassung des Wasserstands geprüft (BARJENBRUCH et al., 2000). Ein weiterer positiver Aspekt ist die Möglichkeit, Wasserstand, Wellen und Eisdicken mit nur einem Sensor simultan messen zu können. Daher wurde das BMBF-Projekt „Grundlagenuntersuchungen zur Signalbildung von kommerziellen Radar-Füllstandssensoren im Bereich der schnellen Wassertandsmessung im Küstenpegelwesen unter Einbeziehung der Eisbildung auf der Wasseroberfläche“ (Förderkennzeichen: 03 KIS 033/034) von der Bundesantalt für Gewässerkunde, Koblenz, und dem Franzius Institut der Universität Hannover initiiert.

Es werden Laboruntersuchungen, im Wellenkanal Schneiderberg und dem Großen Wellenkanal, und zeitgleich Naturmessungen am Pegel „Borkum“ durchgeführt. Die Messungen erfolgen mit kommerziellen Radar-Füllstandssensoren, die nach dem Puls- und dem FMCW-Verfahren arbeiten (TAYLOR & JACKSON, 1986). Mit einem modifizierten Gerät wird zusätzlich der Einfluss verschiedenster Parameter, unter anderem der geneigten Wasserspiegeloberfläche, der Größe des Belichtungskegels oder der Apertur, auf die Signalbildung untersucht. Hierzu können die Hüllkurven der Mikrowellenintensitäten aufgezeichnet werden, so dass anschließend die Distanzermittlung, d.h. der Abstand vom Radarsensor zur Wasseroberfläche, bei gleichzeitiger Analyse des Echopeaks erfolgen kann.

2. LABORUNTERSUCHUNGEN MIT KOMMERZIELLEN RADAR-FÜLLSTANDSSENSOREN

Bei den Laboruntersuchungen im Wellenkanal Schneiderberg (WKS) des Franzius Instituts der Universität Hannover und im Großen Wellenkanal (GWK) des Forschungszentrums Küste wurden Radarfüllstandsmessgeräte der Hersteller Vega, Endress & Hauser, Siemens und Krohne eingesetzt. Die Anordnung der Füllstandssensoren und der Referenzpegel, im WKS die Delfter Wellenpegel und im GWK die Drahtwellenpegel, ist in Abbildung 1 zu sehen.



Abbildung 1: Versuchsaufbau im Wellenkanal Schneiderberg (WKS) und im Großen Wellenkanal (GWK).

Wie bei Geräten der Voruntersuchung (MAI & ZIMMERMANN, 2001) kommt es bei den Messungen der Radargeräte zu einer teilweise massiven, Unterschätzung der Wellenhöhe. Dies ist deutlich in der Darstellung der Wasserspiegelauslenkung in Abbildung 2 erkennbar. Der Sensor der Firma Vega weist bei der Messung der Wellenparameter die größte Genauigkeit auf. Die Auswertung der gemessenen Zeitreihen erfolgt sowohl im Zeit- als auch im Frequenzbereich (s. Abbildung 3, 4) analog zu MAI (2001).

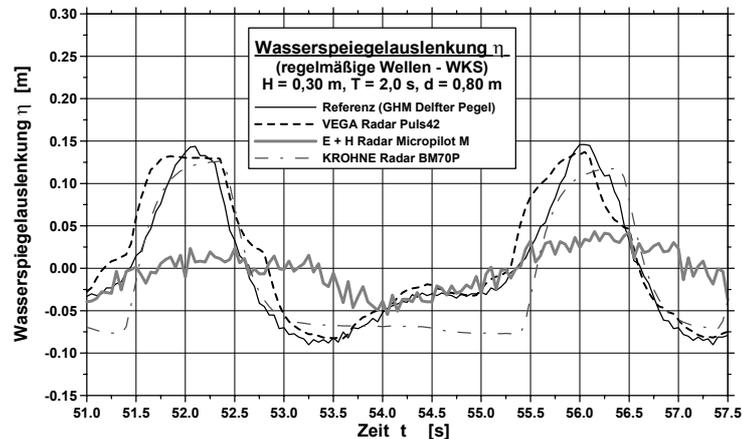


Abbildung 2: Zeitreihe der Referenzmessung im Vergleich zu den Zeitreihen der Radarsensoren der Firmen Vega, Endress & Hauser (E + H) und Krohne.

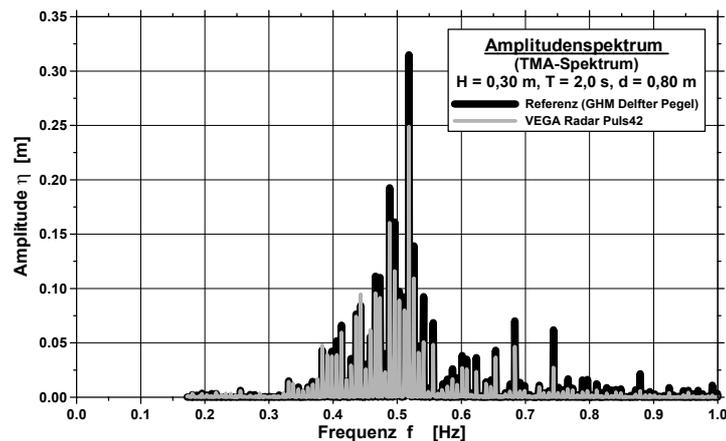


Abbildung 3: Auswertung im Frequenzbereich: Vergleich der Amplitudenspektren der Referenzmessung und des Vega Füllstandssensors Puls 42.

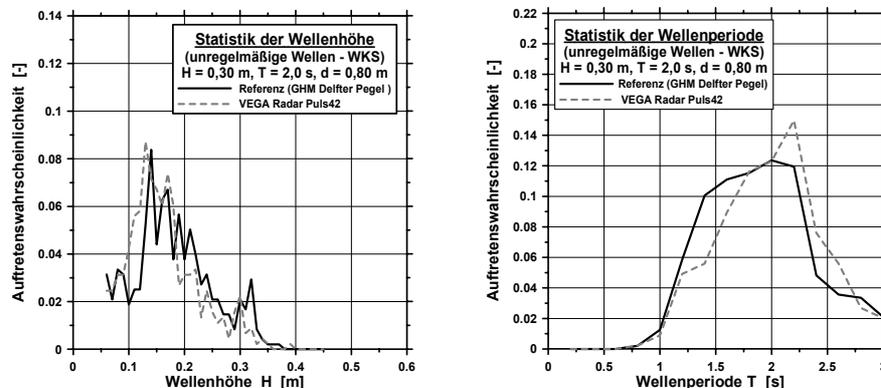


Abbildung 4: Auswertung im Zeitbereich: Vergleich der gemessenen Wellenhöhen und -perioden der Referenzmessung und des Vega Füllstandssensors Puls 42.

3. FELDUNTERSUCHUNGEN MIT KOMMERZIELLEN RADAR-FÜLLSTANDSENSOREN

Zusätzlich zu den Laboruntersuchungen werden am Pegel „Borkum“ vor der Insel Borkum in situ Messungen durchgeführt, um umweltbedingte Einflüsse, wie z.B. Nebel, Regen, Wind, Temperaturänderungen oder Salzgehalt, aufzudecken.

Abbildung 5 zeigt die Lage und Instrumentierung des Pegels „Borkum“. Bei den Felduntersuchungen werden die gleichen Radarsensoren verwendet wie im Labor. Ein GWK-Drahtwellenpegel ist ebenfalls am Pegel installiert. Der in einem Schwallrohr eingebaute Schwimmerpegel zeichnet den Wasserstand auf.

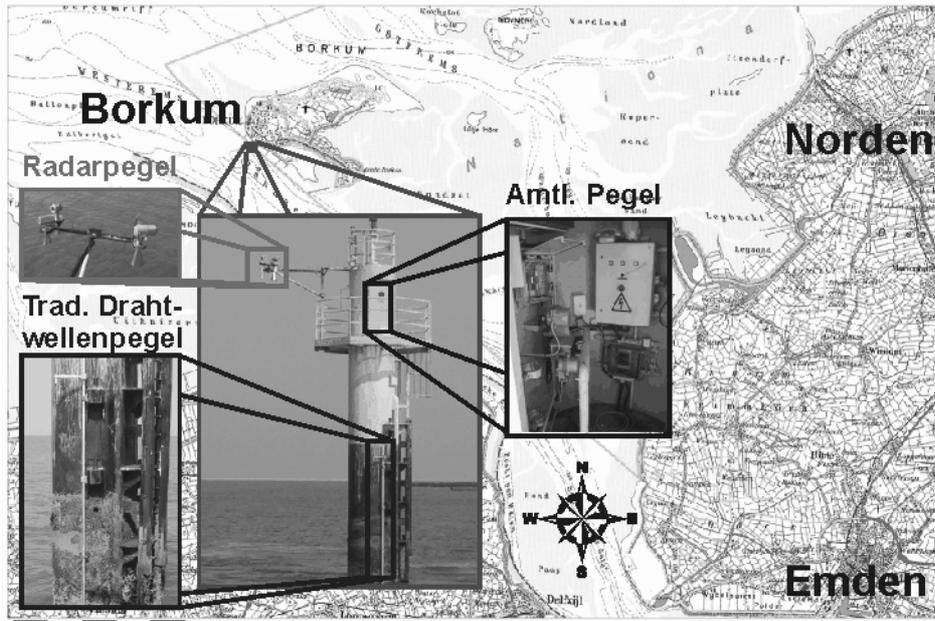


Abbildung 5: Lage des Pegels „Borkum“ vor der Insel Borkum und der Versuchsaufbau mit verschiedenen Radargeräten, Wasserstandspegel und Drahtwellenpegel.

Ein Beispiel einer sowohl mit dem traditionellen Schwimmerpegel als auch mit den Radarsensoren am Pegel „Borkum“ gemessenen Tidekurve ist in Abbildung 6 dargestellt. Die kurzzeitigen Wasserstandsänderungen infolge Wellen wurden mit folgender exponentiellen Glättungsfunktion aus den Messungen der Radarpegel herausgefiltert:

$$\begin{array}{ll} \text{Für } t = 0 & ex_0 = x_0 \quad \text{und} \\ \text{für } t > 0 & ex_t = \alpha * x_t + (1 - \alpha) * ex_{t-1} \quad \text{mit } \alpha = 0.01 \end{array}$$

Die Übereinstimmung der Tidekurven ist sehr gut. Die Abweichung der gedämpften Radarsensormesssignale bezüglich des amtlichen Pegels „Borkum“ liegt unterhalb der nach der deutschen Pegelnorm zulässigen Grenze von $\Delta d = \pm 1$ cm, bis auf die kleine Beule bei $0.38 \cdot T$. Diese ist aber wahrscheinlich dem amtlichen Pegel zuzuschreiben.

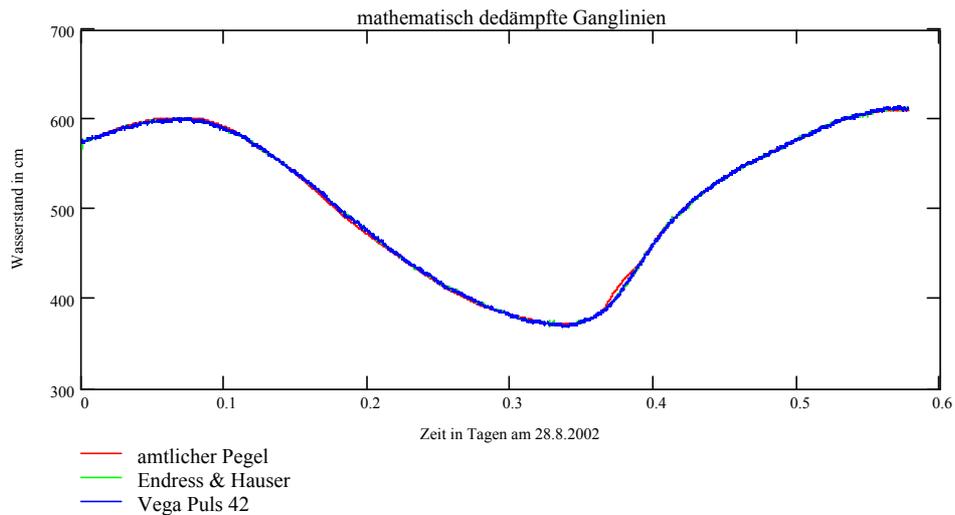


Abbildung 6: Vergleich der Zertreihe des amtlichen Pegels, gemessen vor der Insel Borkum, und der geglätteten Zeitreihen der Radarsensoren der Firmen Vega und Endress & Hauser (28. Aug. 2002).

4. LABORUNTERSUCHUNGEN MIT MODIFIZIERTEM RADARSENSOR MIT HÜLLKURVENAUSGABE

Im Wellenkanal Schneiderberg (WKS) wurden Messungen mit dem Radarfüllstandssensor Vega Puls 42 und einem modifizierten Modell durchgeführt. Die Draufsicht der Versuchsanordnung ist in Abbildung 7 dargestellt. Bei dem Serienmodell wird die im Display angezeigte Distanz über ein zweiadriges Kabel ausgegeben, über welches gleichzeitig die Stromversorgung erfolgt (Zweileiter-Radar). Für die Ausgabe der Hüllkurven wurde bei dem rechts abgebildeten Sensor das interne Auswertemodul

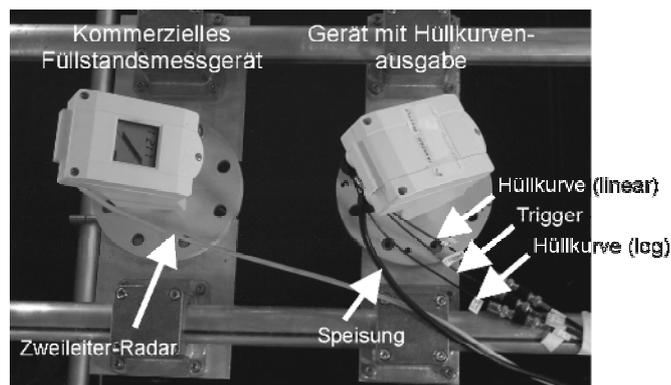


Abbildung 7: Kommerzieller Radarfüllstandssensor der Firma Vega (Puls 42) und modifiziertes Gerät mit Hüllkurvenausgabe.

überbrückt, so dass die Veränderung der Mikrowellenintensitäten über die Laufzeit direkt mittels drei separater Ausgänge aufgezeichnet werden kann. Ein exemplarischer Ausschnitt aus einer gemessenen Hüllkurve und die der Distanzermittlung zugrunde liegende Definition ist in Abbildung 8 zu sehen. Über das Triggersignal wird der Startzeitpunkt einer Hüllkurve festgelegt. Zunächst wird der Sendepuls mit der Intensität S_0 vom Gerät

abgestrahlt. Nach einer Laufzeit von $\sim 3,4$ ms ($\approx 3,71$ m) wird der Echoimpuls, die von der Wasserspiegeloberfläche zum Sensor reflektierten Mikrowellen, mit der Intensität S_{Echo} empfangen. Aus der Laufzeit von Sende- zu Echopuls ist direkt durch Multiplikation mit dem Faktor $1,092$ [ms/m] die Distanz zu ermitteln (HEIM, 2000).

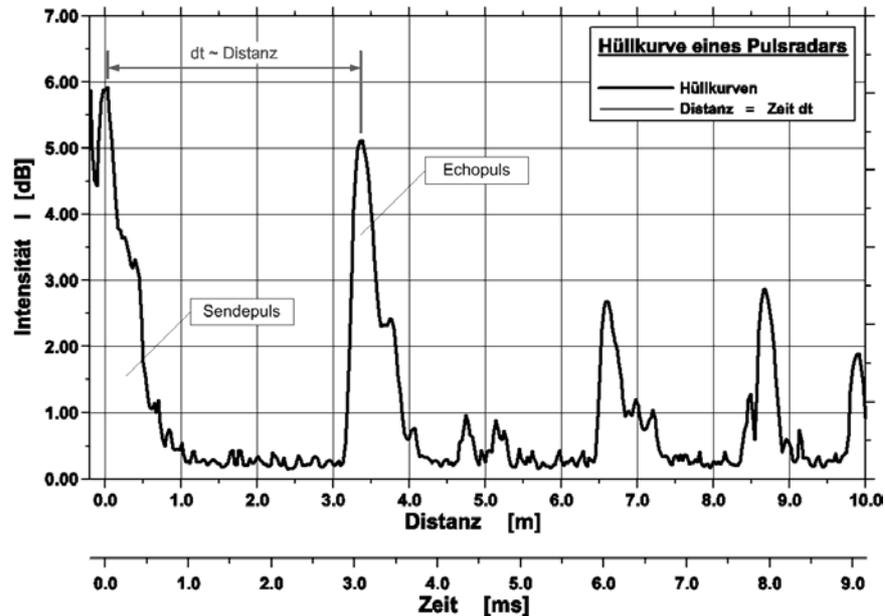


Abbildung 8: Hüllkurvendarstellung und Definition der Distanzermittlung.

Vom Gerät werden 22 Hüllkurven pro Sekunde ausgegeben. Werden diese Kurven vertikal aneinander gereiht und die Intensitäten durch unterschiedliche Färbung symbolisiert, ergibt sich eine Darstellung wie in Abbildung 9 zu sehen. Im oberen Teil der Abbildung verlaufen die farbigen Balken mit gleichmäßiger Stärke über den Messzeitraum, d.h. der Sendeimpuls bleibt weitestgehend konstant über die Zeit. Unterhalb des Sendeimpulses,

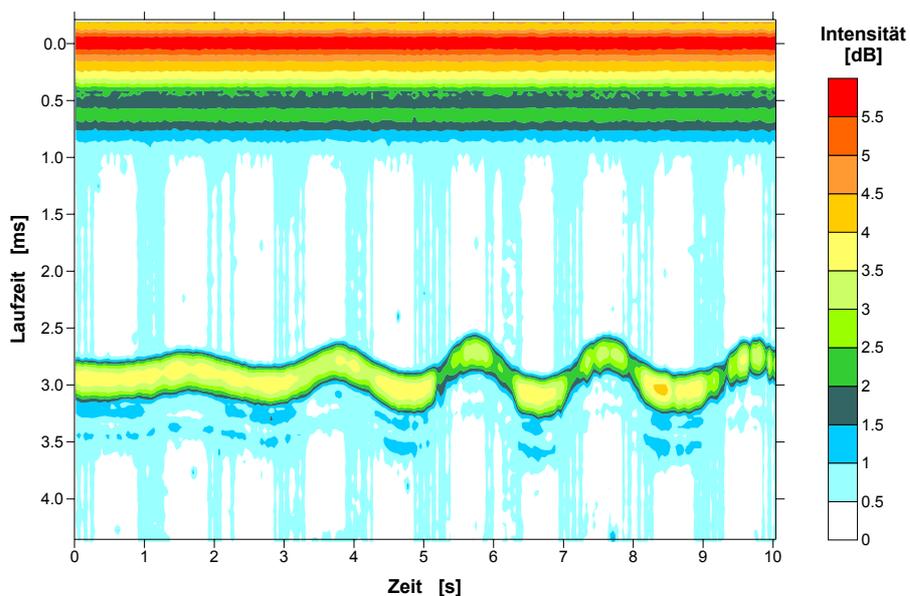


Abbildung 9: 3-D Darstellung der Hüllkurvenintensitäten bei schneller Wasserstandsänderung infolge Wellen.

zwischen einer Laufzeit von 2,5 – 3,5 ms, ist der Echoimpuls dargestellt. Die Messung wurde bei einem Versuch mit einer Wellenperiode von $T = 2$ s aufgezeichnet. Die Wellenhöhe nimmt zum rechten Rand hin zu, bis auf eine Höhe von $H = 0,30$ m. Die Grafik zeigt sehr deutlich den Einfluss der geneigten Wasserspiegeloberfläche auf die Echointensitäten. Zu Beginn bei geringer Wellenhöhe und nahezu horizontaler Wasserspiegeloberfläche ist die Energie der reflektierten Mikrowellen konstant über die gesamte Wellenperiode. Mit zunehmender Wellensteilheit nimmt im Bereich der geneigten Flächen die Echointensität und die Breite des empfangenen Mikrowellenpulses stark ab. In Abbildung 9 ist dies als Einschnürung erkennbar. Die aus der Laufzeitdistanz von Sendepuls zu Echopuls resultierende Wasserspiegelauslenkung ist in Abbildung 10 im Vergleich zur Referenzmessung aufgetragen. Auch hier ist der Einfluss der geneigten Wasserspiegeloberfläche deutlich zu erkennen. Die Abweichungen der schwarz gezeichneten Kurve zur Referenzmessung sind abhängig von der Wellenphase. Im Wellental und –berg, wenn die Mikrowellen von einer als horizontal angenommenen Ebene reflektiert werden, sind die Übereinstimmungen der Kurven sehr gut. Bei starker Neigung, d.h. im Bereich der Nulldurchgänge bei den steilen Wellen, weicht der aus der Hüllkurvenauswertung ermittelte Verlauf systematisch von der Wellenpegelmessung ab.

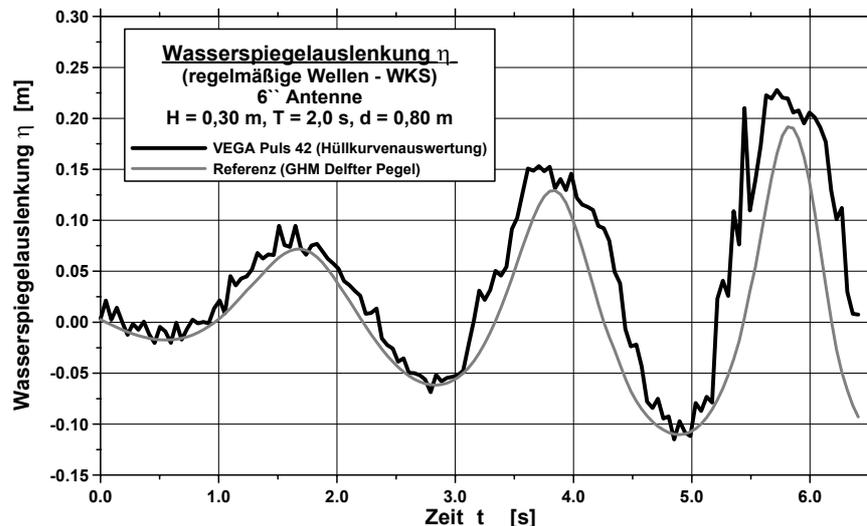


Abbildung 10: Aus Hüllkurvenanalyse ermittelte Wasserspiegelauslenkung im Vergleich zur Referenz.

5. ZUSAMMENFASSUNG

Die bisherigen Untersuchungen ergaben zufrieden stellende Wasserstandsmessungen mit kommerziellen Radar-Füllstandssensoren, wobei die absoluten Abweichungen gemäß der deutschen Pegelnorm weiter untersucht werden.

Die Anwendung der Sensoren bei schneller Wasserstandsänderung erfordert zusätzliche Entwicklungsarbeiten in der Analyse der Mikrowellensignale, um z.B. Wellenhöhen und -perioden mit ausreichender Genauigkeit ermitteln zu können. Dies wird in weiteren physikalischen und numerischen Untersuchungen erfolgen.

Das INSTITUT FÜR GEOPHYSIK DER WESTFÄLISCHEN WILHELMS-UNIVERSITÄT MÜNSTER untersucht zusätzlich die systembedingten Messfehler der

Radarabstandsmessung bei einer eisbedeckten Wasseroberfläche zu erfassen und ggf. zu eliminieren.

6. SCHRIFTTUM

- BARJENBRUCH, U., ZENZ, T. und KRANZ, S.: A New Technology Applicable To Water-Level Gauging. Proc. of the XXV General Assembly of the European Geophysical Society EGS, Nizza, Frankreich, 2000
- BARJENBRUCH, U., MAI, S., OHLE, N., MERTINATIS, P. und IRSCHIK, K.: Monitoring of Water Level, Waves and Ice with Radar Gauges. Hydro 2002, Kiel, 2002
- HEIM, M.: Puls-Radar for mm-Precision in Level Measurement, Technisches Messen tm, Nr. 67, 2000
- MAI, S.: Anwendbarkeit kommerzieller Radar-Wasserstandspegel zur Seegangsmessung. Mitteilungen des Franzius-Institutes, Heft 46, Hannover, 2001
- MAI, S. und ZIMMERMANN, C.: Brührungslose Seegangsmessung mit Radar. Proceedings zum 3. FZK-Kolloquium „Planung und Auslegung von Anlagen im Küstenraum“, Hannover, 2001
- TAYLOR, M. und JACKSON, D. A.: High Precision Non-Contacting Optical Level Gauge, Optica Acta, Band 33, 1986