

Seegangsmessung mit Radar

-Forschungsprojekt des BMBF-

P. Mertinatis, T. Zenz, S. Mai¹ und Dr. habil. U. Barjenbruch

Bundesanstalt für Gewässerkunde, Am Mainzer Tor 1, 56002 Koblenz,
Tel: +49 (0)261/1306-5406, Fax: +49 (0)261/1306-5619

¹ Universität Hannover, Franzius-Institut, Nienburger Str. 4, 30167 Hannover,
Tel: +49 (0)511/762- 4295, Fax: +49 (0)511/762-4002

Einführung in die Thematik: Der stetige technische Fortschritt auch auf dem Gebiet der Distanzmesstechnik und der steigende Kostendruck öffentlicher Messnetzbetreiber hat den Einsatz von bisher nicht in der Gewässerkunde etablierten Messverfahren für die Wasserstandsmessung, z. B. die Radartechnik, interessant werden lassen. Mit der Wahl einer neuen Messmethode (Bild 2) verknüpft man unter Beibehaltung des bisherigen Anspruchs an eine hohe Messgenauig-



Bild 1: Pegelstation mit Pegelhaus und Schwimmerschacht, links im Bild die Radarsensorik im Größenvergleich.

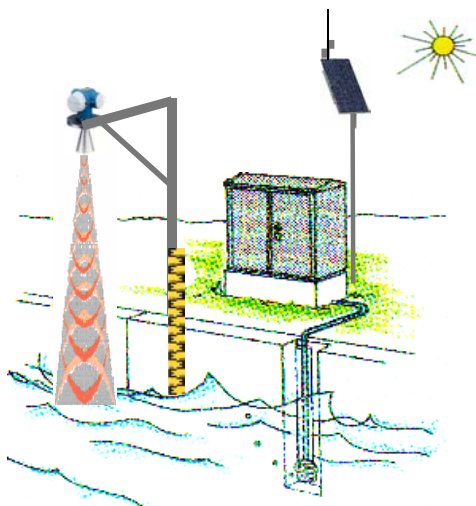


Bild 2: Zukünftige autarke Pegelstation, Kombination von Radar- und Einperltechnologie

keit die Erwartung auf geringere Wartungs- bzw. Unterhaltungsbedürftigkeit. Diese Sensortechnik bietet im Vergleich zu den bisherigen Standardmethoden zur Erfassung des Wasserstandes eine kostensparende Alternative. Durchgeführte Studien der Bundesanstalt für Gewässerkunde^{1,2} (BfG) zeigen die Anwendbarkeit dieser Radartechnik sowie deren Grenzen auf.

¹ Barjenbruch, U., Zenz, T. and Kranz, S., A New Technology Applicable To Water-Level Gauging; Proc. of the XXV General Assembly of the European Geophysical Society EGS; Nice, France, 2000

² BfG-Bericht-1276, Untersuchung "innovativer" Sensorik zur gewässerkundlichen Erfassung von Wasserständen oberirdischer Gewässer, Koblenz 1997

In Deutschland werden zur gewässerkundlichen Erfassung von Wasserständen zwei Messverfahren, das Schwimmer- und das Einperlmessverfahren, als Standard eingesetzt. Bei Bund und Ländern gibt es ca. 4400 gewässerkundliche Pegel. In vielen Fällen besteht eine Pegelstation (siehe Bild 1) aus einem massiven Pegelhaus, einem Schwimmerschacht und einer Messeinrichtung mit Baukosten von über 100.000€. Weiterhin erfordert die bisherige

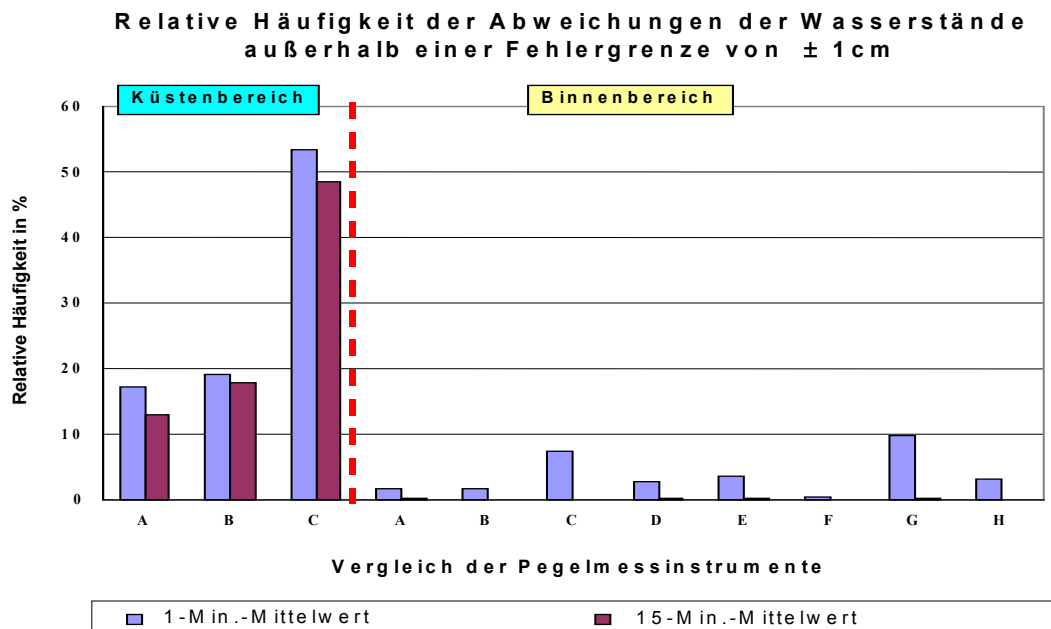


Bild 3: Vergleich verschiedener Verfahren zur Wasserstandsmessung. Die Sensoren A, B, D, E, F sind kommerzielle Radarsensoren, die Sensoren C und H beruhen auf einem pneumatischen Wasserstandsmessverfahren und G ist ein Sensor der nach einem magnetostruktiven Messverfahren arbeitet.

Erfassung des Wasserstandes mittels Schwimmer- und Einperlverfahren eine ständige Wartung mit hohem personellem Einsatz. Aus diesen Gründen wird in der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) intensiv nach kostensenkenden Alternativen zur herkömmlichen Wasserstandsmesstechnik gesucht.

Die bisherigen eigenen Untersuchungen der BfG in der Wasserstandsensornik mit Radar und eine im Auftrag der BfG durchgeführte Untersuchung im "Großen Wellenkanal" des Forschungs-



Bild 4: Beispiele von kommerziellen Radarsensoren, die von der BfG auf Ihre Anwendbarkeit für die Wasserstandsmessung getestet worden sind

zentrums Küste^{3,4} zeigen, dass die heutigen Radarsensoren sowohl bei bewegter Wasseroberfläche (Wellengang) als auch bei eisbedeckter Wasseroberfläche die bisher gefor-

³ Franzius-Institut: Anwendbarkeit kommerzieller Radar-Wasserstandspegel zur Seegangsmessung, Auftrag der Bundesanstalt für Gewässerkunde, Versuchsbericht, 2000

⁴ Mai, S., Zimmermann, C.: Applicability of Radar Level Gauges in Wave Monitoring, Proc. of the 2nd Int. Conf. Port Development & Coastal Environment, PDCE, Varna, Bulgaria, 2000

derte Messgenauigkeit⁵ nicht einhalten. Das Bild 2 stellt die relativen Fehlerhäufigkeiten der Wasserstandsmessungen bei unterschiedlichen Messverfahren außerhalb einer Standardabweichung von $\pm 1\text{cm}$ dar. Auch erste Orientierungsmessungen der BfG bei einer eisbedeckten Wasseroberfläche weisen auf Messfehler in der Distanzmesstechnik mit Radarsensoren hin, die für die hydrologische Messtechnik nicht tolerierbar sind. Daher hat die Bundesanstalt für Gewässerkunde im Jahr 2001 beim Bundesministerium für Forschung und Technologie (BMBF) ein Forschungsvorhaben beantragt, dessen Ziel es sein soll, die schnelle Wasserstandsmessung (Seegangsmessung) mit Radarsensoren unter Einbeziehung der Eisbildung auf der Wasseroberfläche zu untersuchen und weiter zu entwickeln.

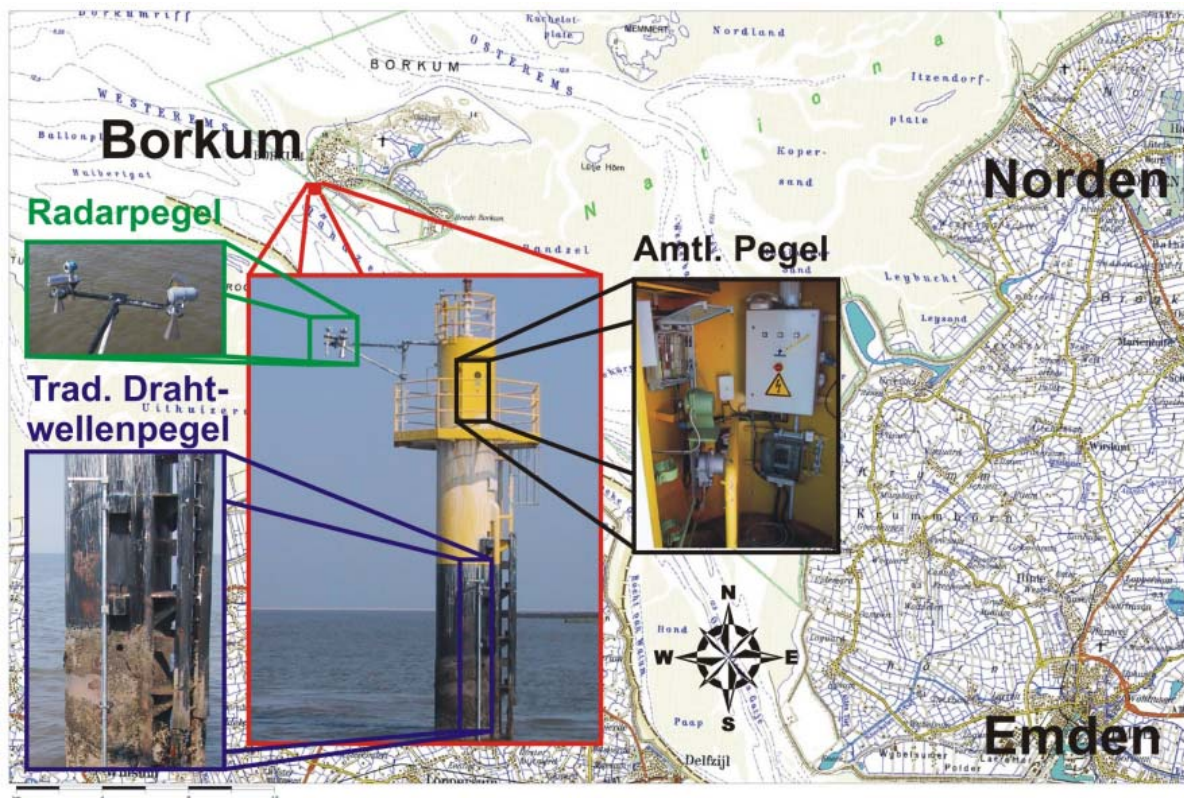


Bild 5: Radarteststation in der Nordsee (Borkum-Südstrand) mit Drahtwellen- und Schwimmerpegel

Aufbau der Radarsensorenuntersuchung: Das seit dem 1.1.2002 laufende Forschungsvorhaben ist in drei Teilbereiche gegliedert:

Messungen in der Natur: Hier wurde von der BfG in der Nordsee (Pegel Borkum-Südstrand (siehe Bild 5) ein Testmessstand für Radarsensoren aufgebaut, an dem alle kommerziellen Radarsensoren der namhaften Hersteller hinsichtlich ihrer Eignung für eine Seegangsmessung in einem Langzeittest erprobt werden sollen. Als Referenz für die schnelle Radarmessung (Messfrequenz möglichst größer 10 Hz) ist ein, am Franzius-Institut in Han-

⁵ Deutsche Pegelvorschrift, Herausgegeben von der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) und dem Bundesministerium für Verkehr-, Bau- und Wohnungswesen (BMVBW)

nover entwickelter, Drahtwellenpegel (siehe Bild 5, kleines Bild unten rechts) eingesetzt worden. Weiter werden die Wasser- und Lufttemperatur, die Windgeschwindigkeit und -richtung sowie die Leitfähigkeit des Wassers aufgezeichnet. Zu einen späteren Zeitpunkt sollen hier

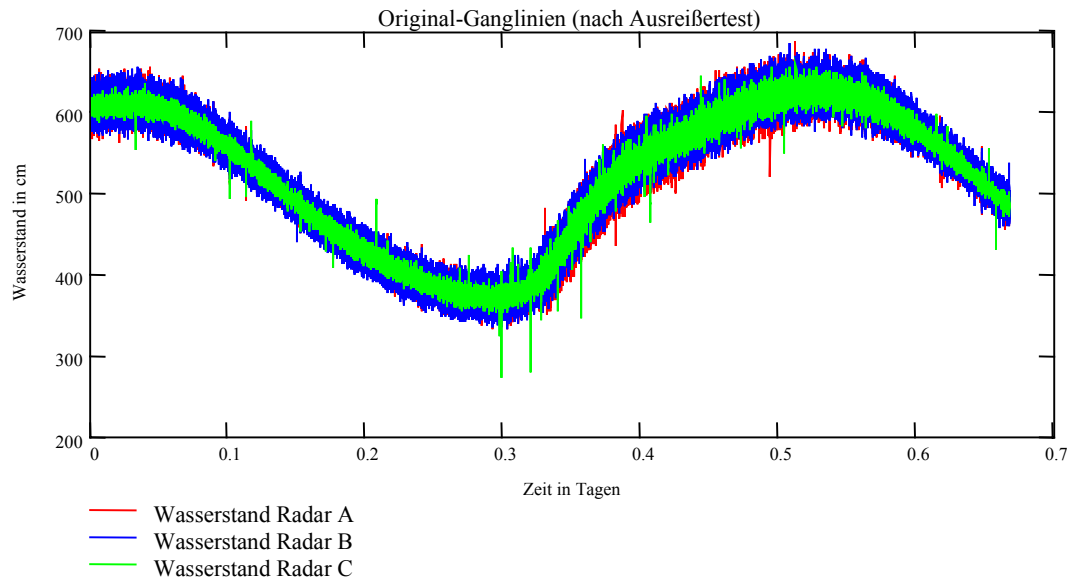


Bild 6: Originalganglinie des Wasserstandes von drei Radarsensoren nach einem statistischen Ausreißertest

auch die in dem Forschungsvorhaben hinsichtlich ihrer Messeigenschaften optimierten Radarsensoren zum Einsatz kommen. In Bild 6 ist die original gemessene Tide-Ganglinie nach einem statistischen Ausreißertest dargestellt.

Der Radarsensor A zeigt sehr viele Fehlmessungen, von ca. $1,4 \times 10^5$ Werten hat der Ausreißertest $1,2 \times 10^4$ Werte als Ausreißer identifiziert, d.h. ungefähr 10 %. Der Radarsensor C hat eine zu kleine Abtastrate um die Wellenspitzen aufzulösen.

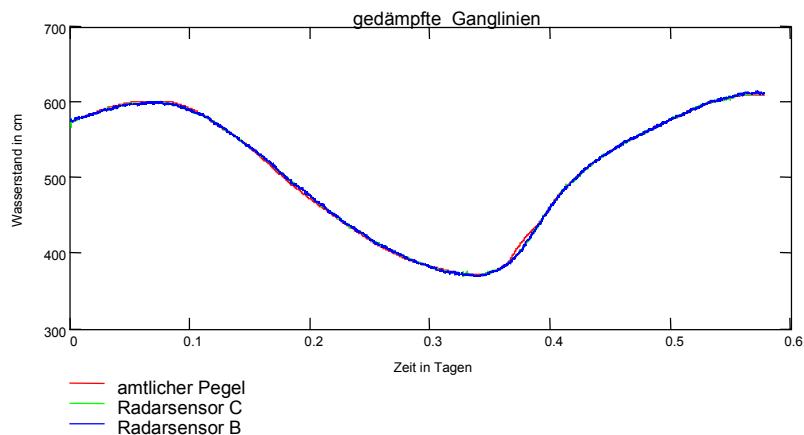


Bild 7: Vergleich vom amtlichen hydrologischen Pegel mit den Radarsensoren B und C

Nur der Radarsensor B zeigt ein halbwegs befriedigendes Ergebnis, obwohl auch er hinsichtlich der Wellenauflösung gegenüber dem Drahtwellenpegel noch Einschränkungen aufweist.

Werden die so gewonnenen Daten einer Exponentialglättung⁶ unterzogen und dann daraus die Messfehlerhäufigkeit der einzelnen Radarsensoren berechnet, so ergibt sich die in Bild 8 dargestellte Häufigkeitsverteilung. Für die Messgenauigkeit der Radarsensoren stellt sich eine Fehlerhäufigkeit innerhalb des von der Pegelvorschrift geforderten Intervalls von ± 1 cm von 67,5%, 84,8% bzw. 85,4% für die Radarsensoren A, B bzw. C dar. Ein Vergleich der stark gedämpften Radarsensorenmesssignale B und C mit dem hydrologischen amtlichen Pegel zeigt eine gute Übereinstimmung (Bild 7).

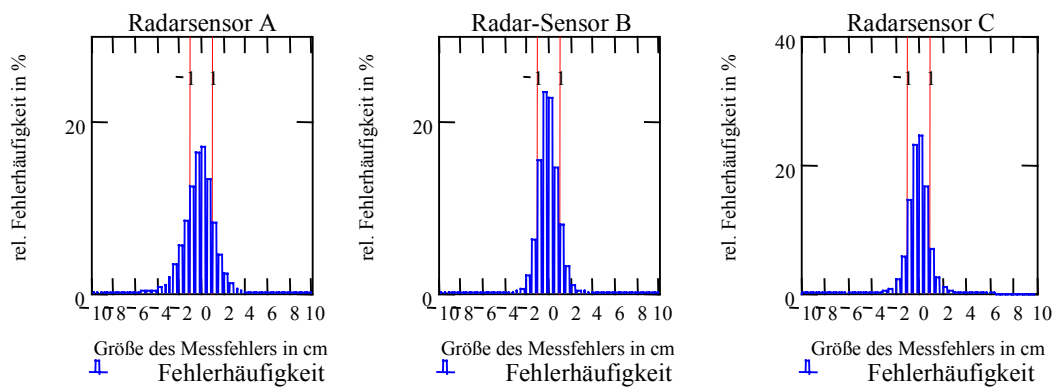


Bild 8: Histogramm der Fehlerhäufigkeit der Radarsensoren am Pegel "Borkum-Südstrand".

In einer Gegenüberstellung der Fehlerhäufigkeit von Radarsensoren und pneumatischen Wasserstandsmessverfahren (siehe Bild 9, hier an der Pegelstation "Oestrich" am Rhein) mit Simulationsrechnungen unter Berücksichtigung unterschiedlicher Rauschbeiträge lässt sich zeigen, dass eine Ursache der verbreiterten Fehlerhäufigkeitsverteilung der Radarsensoren gegenüber dem Einperlpegel in einem doppelt so großen 1/f-Rauschen der Radarsensoren zu suchen ist. In Bild 9 ist die deutlich verbreiterte Fehlerhäufigkeitsverteilung des Radarsensors zu erkennen.

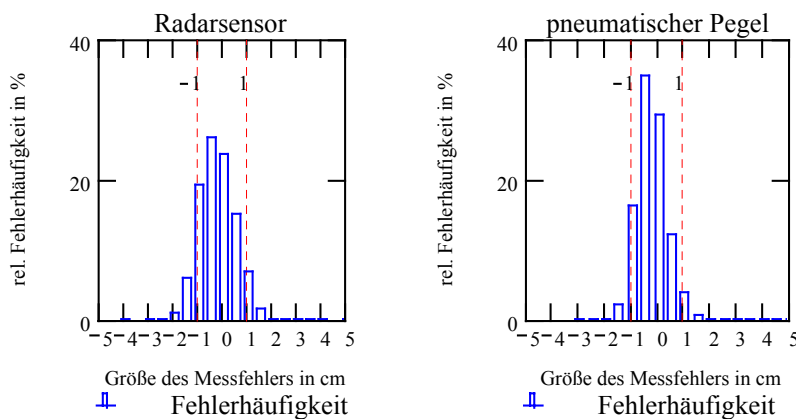


Bild 9: Fehlerhäufigkeit im Vergleich Radarsensor gegenüber einem pneumatischen Einperlpegel.

zu erkennen. In Bild 9 ist die deutlich verbreiterte Fehlerhäufigkeitsverteilung des Radarsensors zu erkennen.

⁶Exponentialglättung: Für Zeiten $t=0$
für Zeiten $t>0$

$$ex_0 = x_0$$

$$ex_t = \alpha * x_t + (1 - \alpha) * ex_{t-1} \quad \text{mit } \alpha = 0.01$$

Diese ersten Messungen machen deutlich, dass die heute kommerziell verfügbaren Radarsensoren nicht ohne weitere Optimierungsverfahren in der Hydrometrie der Seegangsmessung einsetzbar sind. Im weiteren Verlauf des Forschungsvorhabens sollen diese Mängel durch gezielte technische Veränderung (z.B. der Abbildungsoptik und der Messdatenverarbeitung) beseitigt werden, so dass auch im Pegelwesen die Vorzüge einer berührungslosen Distanzmesstechnik genutzt werden können.

Messungen im Wellenkanal: Ein weiterer Teilbereich des Forschungsvorhabens findet im Labor des Franzius-Institutes der Universität Hannover bzw. im "Großen Wellenkanal" des Forschungszentrums Küste statt. Hier werden unter labortechnischen Bedingungen die Radarsensoren in ihrer Messgenauigkeit (siehe Bild 10) analysiert und optimiert. Zu diesem Zweck ist ein Testmessstand im "Großen Wellenkanal" aufgebaut worden, in dem die Radarsensoren mit einem wohldefinierten Seegang in ihrer Messgenauigkeit untersucht werden. Erste Ergebnisse dieser Untersuchungen sind auf der Hydro 2002 in Kiel⁷ vorgestellt worden.



Bild 10: Messaufbau für Radarsensoren im "Großen Wellenkanal" in Hannover

⁷ Monitoring of Water Level, Waves and Ice with Radar Gauges, S. Mai, N. Ohle, K. Irschik, P. Mertinatis and U. Barjenbruch, 13th International Hydrographic Conference, Kiel, 2002

Messungen im Eislabor: Die Untersuchungen zur Distanzmessung mit Radarsensoren bei eisbedeckter Wasseroberfläche sollen an der Universität Münster im Institut für Geophysik durchgeführt werden. Diese Messproblematik ist nach unseren Literaturstudien bisher ungeklärt. Bild 11 zeigt eine schematische Skizze dieser Messanordnung.

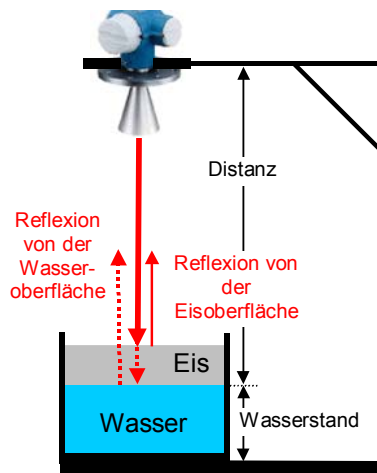


Bild 11: Schematische Darstellung einer Wasserstandsmessung einer eisbedeckten Wasseroberfläche.

Man erwartet aufgrund der unterschiedlichen Dielektrizitätskonstanten sowohl von der Eis- als auch von der Wasseroberfläche ein Reflexionssignal. Ob es gelingt, diese beiden Signale messtechnisch von einander zu trennen, werden die ab Dezember 2002 beginnenden Messungen zeigen.

Weitere Informationen und Messergebnisse zu diesem Forschungsvorhaben werden im Internet unter http://www.bafg.de/html/aufgaben/fachbe/m4/html/projekte_m4.html

veröffentlicht.

Danksagung: Dem Bundesministerium für Forschung und Technologie sei an dieser Stelle für die finanzielle Unterstützung gedankt. Weiterhin möchten wir den Herstellern von Radarsensoren für ihre Unterstützung bei dem Forschungsvorhaben danken.