

## **Integriertes Höhenüberwachungssystem in Küstenregionen IKÜS - Schwerpunkt Pegel -**

Dr.-Ing. Astrid Sudau, Dipl.-Ing. Robert Weiß - Bundesanstalt für Gewässerkunde

Ziel des Verbundprojektes IKÜS war die Kombination der Messverfahren (Nivellement, GNSS, Schwere und Pegel) in einem einheitlichen, homogenen und kinematischen Modell zur Erfassung rezenter Krustenbewegungen im Gebiet der Deutschen Bucht.

Der BfG wurde innerhalb des Verbundprojektes IKÜS die Aufgabe zuteil, Nivellements entlang der Bundeswasserstraßen (BfG/WSV), geodätische Pegelinformationen und Wasserstandsdaten aufzubereiten bzw. im Rahmen von IKÜS auszuwerten. Die Nivellements unterscheiden sich in technischer Hinsicht nicht von denen der Landesvermessung und werden an die amtlichen Netze angeschlossen. Aus diesem Grund wurden alle verfügbaren Nivellements der BfG/WSV im Küstenbereich aufbereitet und in die IKÜS-Datenbank implementiert. Dabei wurde im Rahmen von IKÜS beschlossen, originale Feldbuchbezeichnungen zu nutzen, um eventuell auftretende Digitalisierungsfehler zu minimieren. Je nach Kampagne, Zeitpunkt und beobachtender Behörde verfügen die Punkte und damit auch die Pegelfest- und Pegelnullpunkte über verschiedene Bezeichnungen. Aus diesem Grund war es notwendig, Punktidentitäten zu klären bzw. die verschiedenen Bezeichnungen identischer Punkte innerhalb der Datenbank zu speichern. Neben den aufbereiteten Nivellements der Landesvermessung bildeten die Nivellements der BfG/WSV und die Punktidentitätstabelle eine Grundlage für das kinematische Modell des Projektpartners TU-Braunschweig.

Die Aufbereitung der Pegeldaten umfasste in erster Linie auf Aufbereitung und Implementierung der geodätischen Pegelinformationen. Die Pegelvorschrift (PV) versteht unter dem Begriff „Pegel“ eine Einrichtung zum Messen von Wasserständen. Die maßgebenden Teile eines Pegels sind laut PV ein Lattenpegel und mindestens 3 zugehörige Pegelfestpunkte (PFP). Der Nullpunkt der Pegellatte wird als Pegelnullpunkt (PNP) bezeichnet. Die PFP sollen die Vertikalbewegungen der näheren Umgebung und damit auch des Pegels repräsentieren. Daraus resultiert, dass die innere Geometrie des „Systems Pegel“ über die gesamte Zeit konstant bleiben muss. In der Praxis bedeutet dies, dass die Sollhöhenunterschiede  $dH_{\text{soll}}$ , definiert als bei der erstmaligen Einrichtung festgestellten Höhendifferenzen zwischen PFP und PNP, über die gesamte Dienstzeit des Pegels beibehalten werden sollen. Aufgrund der Tatsache, dass die PFP im Laufe der Zeit unterschiedliche Vertikalbewegungen ausführen, muss aufgrund von Erfahrungen und lokalen Gegebenheiten mindestens ein PFP als repräsentativ festgelegt werden.

Durch einen Anschluss an ein amtliches Höhenreferenzsystem wird ein PNP georeferenziert bzw. dessen Höhenlage in Relation zu einem übergeordneten Höhenreferenzsystem bestimmt. Erst mit einer entsprechenden Georeferenzierung ist die Vergleichbarkeit der Wasserstandsregistrierungen verschiedener Pegel möglich. Eine Analyse langfristiger Wasserstandsänderungen (z.B. als ein Indikator für Klimaänderungen) setzt voraus, dass die Höhenlagen der Pegel und damit auch der PNP während der gesamten Beobachtungsdauer konstant bzw. bekannt sind. Die Pegelvorschrift gibt dabei vor, dass im Küstenbereich bei einer erstmaligen Einmessung der PNP eine Höhenlage von N.N. - 5,000m aufzuweisen hat. Tektonische und anthropogene Einflüsse (z.B. Gasentnahmen) bewirken eine vertikale Bewegung der Erdoberfläche (rezente Krustenbewegungen), wodurch auch die auf der Erdoberfläche installierten Pegel diese Bewegung mit ausführen. Häufig überlagern sich reale Wasserstandsänderungen und rezente Krustenbewegungen, die in Teilbereichen der Nordseeküste eine Größenordnung von einigen mm/Jahr annehmen können. Die unerkannten bzw. nicht berücksichtigten Vertikalbewegungen der Pegel führen zu scheinbaren Wasserstandsänderungen und kausal hydrologisch bzw. klimabedingte Wasserstandsänderungen können nicht nachgewiesen werden. Die PV trägt diesem Sachverhalt mit der Forderung nach regelmäßigen Anschlussnivellements der Pegel an die übergeordneten Nivellementsnetze der Landesvermessung Rechnung.

Historisch bedingt existieren verschiedene Realisierungen entsprechender amtlicher Höhenreferenzsysteme, die sich in Größenordnungen einiger cm unterscheiden können und somit nicht direkt kombinierbar sind. Aufgrund der Anschlüsse an die jeweils gültigen Höhenreferenzsysteme liegen Höhenangaben der Pegel in verschiedenen Höhenreferenzsystemen bzw. Realisierungen vor. Beispielhaft sind die Auswirkungen des Systemwechsels von Helgoländer Null H.N. auf NormalNull N.N. in der Abb. 1 dargestellt. Im Gegensatz zu diesem in Abb. 1 erkennbaren

Sprung (2002) in der Wasserstandszeitreihe sind die Auswirkungen von anderen Systemwechseln häufig groß genug, um langfristige Trends zu verfälschen, jedoch zu klein um in den Zeitreihen erkennbar zu sein.

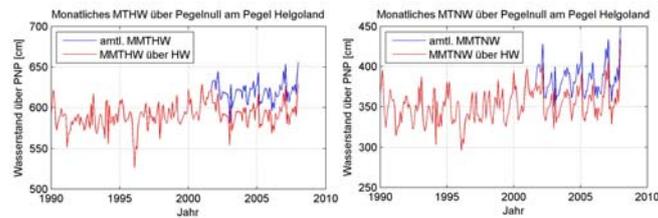


Abb.1: Auswirkungen des Systemsprungs von Helgoländer Null H.N. auf NormalNull N.N auf den erfassten Wasserstand

Aufgrund von Fehlinterpretationen der Pegelvorschrift wurden z.T. die PNP trotz Höhenänderungen der PFP (neue Messungen) durch Verschieben der Pegellatte auf NN -5,000m gehalten, wodurch sich die Sollhöhenunterschiede  $dh_{soll}$  und damit auch die innere Geometrie geändert haben. Hinzu kommt, dass bei Standortverlagerungen bzw. Umbauten an Pegeln die PNP häufig wieder auf eine Höhenlage von N.N. -5,000m eingestellt wurden. Dies hat zur Folge, dass vertikale Landbewegungen zum Teil über Verschiebungen der Pegellatte mechanisch kompensiert wurden.

Die Forderungen nach einer konstanten inneren geometrischen Beziehung zwischen PFP und PNP und die nach einer Höhenlage des PNP von N.N. -5,000m schließen sich gegenseitig aus. Bei Höhenänderungen der PFP führt dies zwangsläufig zu einem Widerspruch, in dessen Folge es zu unterschiedlichen Interpretationen der Pegelvorschrift bezüglich der Erhaltung der Höhenlage des PNP und dem Umgang mit wechselnden Höhenreferenzsystemen kam. Die bisherigen Vorgehensweisen bei festgestellten Höhenänderungen bestehen einerseits in einem mechanischen Verschieben der Pegellatte und damit verbundenen Änderungen der Sollhöhenunterschiede  $dh_{soll}$  und andererseits einer Änderung von Höhenangaben der PNP bei gleichzeitiger Beibehaltung der  $dh_{soll}$ . Im Verlauf der Zeit wurden an ein und demselben Pegel beide Verfahren praktiziert. Die Folge sind heterogene und aus geodätischer Sicht für den Nachweis säkularer Wasserstandsänderungen unzureichende Datenbestände.

Im Rahmen von IKÜS wurden die geodätischen Pegelinformationen soweit aufbereitet, dass die Forderung nach einer konstanten geometrischen Beziehung zwischen repräsentativen PFP und PNP (konst. Sollhöhenunterschiede  $dh_{soll}$ ) erfüllt ist und gleichzeitig die realen Höhenlagen der PNP abgebildet werden. Praktisch bedeutet dies eine Rückgängigmachung der Lattenverschiebungen über an die Wasserstände anzubringende Offsets. Sofern am Pegel Lattenverschiebungen vorgenommen worden sind, ist entscheidend, welcher PFP als repräsentativ für die Vertikalbewegungen der näheren Umgebung angenommen worden ist. Dieser Sachverhalt ist insbesondere bei Küstenschutzbauwerken von sehr großem Interesse, da für entsprechende Anwendungen die relativen Wasserstandsänderungen gegenüber der unmittelbaren Umgebung entscheidend sind.

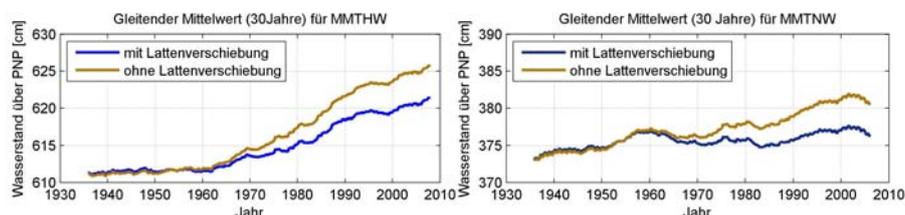


Abb.2 : Amtliche Wasserstände und um Lattenverschiebungen korrigierte Wasserstände des Pegels Norderney.

Durch eine Kombination der aufbereiteten geodätischen Pegelinformationen, den Anschlussnivelements und den Ergebnissen der TU-Braunschweig lassen sich die PFP und die PNP in das kinematische IKÜS-Modell integrieren. In Verbindung mit den Wasserstandsdaten über dem PNP lassen sich Aussagen hinsichtlich säkularer Wasserstandstrends unter Berücksichtigung der vertikalen Krustenbewegungen treffen. Die zugehörigen Wasserstände wurden im Rahmen von IKÜS analysiert und mit zugehörigen Metainformationen in die IKÜS-DB implementiert. Für ein künftiges Pegelmonitoring wurde ein Konzept erstellt und in Ansätzen realisiert. Dieses besteht im Kern aus permanenten GNSS-Pegelstationen, die in einem homogenen, global kompatiblen Referenzsystem ausgewertet und sowohl amtlichen als auch wissenschaftlichen Anforderungen gerecht werden.