

## **Entwicklung eines operationellen automatisierten Höhenüberwachungssystems für Pegel im Bereich der Deutschen Bucht**

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

Inhaltlich baut das Projekt PEGASUS auf dem Vorgängerprojekt IKÜS (Fördernummer: 03KIS056) auf. Ziel von IKÜS war es rezente Krustenbewegungen im Gebiet der Deutschen Bucht abzuleiten. Das resultierende Modell sollte die Beobachtungen verschiedener Messverfahren (Nivellement, GNSS, Schwere und Pegel) kombinieren. Resultat des Projektes IKÜS waren signifikante Höhenänderungen (in der Regel großräumige Landsenkungen) im Gebiet der Deutschen Bucht. Vertikale Landbewegungen bzw. die Höhenänderungen werden von auf der Erdoberfläche installierten Pegelanlagen mit ausgeführt. In den an Pegeln erfassten langwelligen Wasserstandsänderungen überlagern sich demnach reale Wasserstandsänderungen mit Höhenänderungen der Pegelanlagen (Abschlussbericht KFKI-Projekt IKÜS). Für die Ableitung der absoluten Wasserstandsänderungen ist es damit notwendig, Höhenänderungen zu erfassen. Im Rahmen von IKÜS bestand eine Teilaufgabe darin, ein Konzept für ein Höhenmonitoring der Pegel zu erfassen. Das ausgearbeitete Konzept sah die Ausstattung wichtiger Pegel mit permanent arbeitenden GNSS-Sensoren vor. Aufgrund der exponierten Lage der Pegel kommen dabei nur geodätische GNSS-Empfänger in Frage, die über eine Fernadministration verfügen, deren Beobachtungsdaten automatisch an eine Auswertestelle übertragen und dort prozessiert werden. Am Ende werden wöchentliche Koordinaten der GNSS-Bezugspunkte auf den Pegeln ermittelt, die in Bezug zu einem bestimmten Referenzsystem bzw. einer Höhenreferenzfläche stehen (Georeferenzierung).

In Verbindung mit Nivellements zwischen den GNSS-Bezugspunkten und den Pegelfest- und Pegelnullpunkten lassen sich die Höhen der GNSS-Bezugspunkte auf den Pegelnullpunkt übertragen.

Im Rahmen von PEGASUS wurde das Konzept auf insgesamt sechs Stationen realisiert. Die Pegelstationen Knock, Leuchtturm Alte Weser, Unterfeuer Dwarsgat, Cuxhaven Steubenhöft, Büsum und Dagebüll wurden im Rahmen von PEGASUS mit entsprechenden Anlagen ausgestattet. Die dafür nötigen GNSS-Anlagen wurden von der BfG beschafft und bereitgestellt. Darüber hinaus wurden durch die BfG Infrastrukturen bereitgestellt, welche für die Datenübertragung, der Fernadministration und der Datenprozessierung erforderlich sind. Von Seiten der zuständigen Wasser- und Schifffahrtsämter bzw. des Landesbetriebes für Küstenschutz, Nationalpark und Meeresschutz Schleswig-Holstein wurden der Aufbau und die Unterhaltung der Stationen unterstützt.

Bei den eingesetzten GNSS-Systemen handelt es sich um geodätische Zweifrequenzempfänger der Firma Leica (GRX1200-Serie) in Verbindung mit absolut kalibrierten Choke-Ring Antennen (Leica AT504GG). Darüber hinaus wurde bei der Installation versucht, alle derzeit bekannten höhenbeeinflussenden Faktoren weitestgehend zu minimieren. Dies betrifft insbesondere die Setupkalibrierung (Kalibrierung mit Radom und Dreifuß in der Aufbaukonfiguration) und die Montage der Antennen an Orten ohne Reflektoren in der unmittelbaren Umgebung der Antenne (Minimierung von Nahfeldeffekten).

In Zusammenarbeit mit dem Deutschen Wetterdienst (DWD) wurde von Seiten der BfG ein mobilfunkbasierter Kommunikationsweg erstellt. Alle GNSS-Systeme sind mit einem GPRS-Modul ausgestattet, wobei die zugehörige SIM-Karte über den Mobilfunkbetreiber mit einem Server vom DWD und dieser wiederum mit dem Netzwerk der BfG verbunden ist. Der beschriebene Kommunikationsweg ist bidirektional, wodurch eine Steuerung der GNSS-Systeme aus dem Intranet der BfG heraus möglich ist und die Receiver die gesammelten GNSS-Beobachtungen automatisch auf einen FTP-Server der BfG übertragen. Die Receiver arbeiten autark und ein Eingriff ist nur in Ausnahmefällen vorgesehen (Upgrades usw.).

Alle GNSS-Beobachtungen werden nach internationalen Standards aufbereitet und qualitätsgesichert. Im wissenschaftlichen Bereich werden zur Ableitung langfristiger Koordinatenänderungen die Beobachtungsdaten auf 30 Sekunden ausgedünnt und in Tagesblöcken auf einem FTP-Server bereitgestellt. Im Rahmen einer Überprüfung der Beobachtungsdaten werden diese einem Qualitätscheck unterzogen, wobei einzelne Kennzahlen wie etwa Beobachtungsdauer, Anzahl der GNSS-Beobachtungen, Signal-Rauschverhältnisse, Multipath-Kennzahlen und andere Angaben berechnet und je Tag und Station zusammen mit den GNSS-Beobachtungen abgespeichert werden. Neben den GNSS-Beobachtungen sind weitere Informationen (Beschreibungen, Bilder, Antennenmodelle usw.) und Nivellementsergebnisse (Höhendifferenz GNSS-Bezugspunkt –

Pegelfest-/Pegelnulldpunkt) an dieser Stelle hinterlegt. Mit den hinterlegten Informationen ist es auch anderen Nutzern möglich, die GNSS-Beobachtungen in jedem beliebigen Referenzrahmen zu prozessieren und die Koordinaten auf den Pegelnulldpunkt zu übertragen. In Verbindung mit den Wasserstandsdaten über dem Pegelnulldpunkt ergeben sich Wasserstandsdaten, die auf das jeweils gewählte Referenzsystem bezogen sind. Alle auf dem FTP-Server hinterlegten Daten sind wissenschaftlichen Nutzern frei zugänglich.

Die Prozessierung erfolgte in sehr enger Zusammenarbeit mit dem Deutschen Geodätischen Forschungsinstitut in München (DFGI). Diese Einrichtung trägt wesentlich zu der Realisierung globaler Referenzsysteme bei. Darüber hinaus prozessiert das DGFI einen Teil des TIGA-Netzwerkes (TIGA = Tide GAUGE Benchmark Monitoring Project), dessen Aufgabe darin besteht, die Vertikalbewegungen von weltweit verteilten Pegelstationen zu überwachen. Vom DGFI werden dabei über sechzig Stationen im Nord- und Südatlantik prozessiert.

Im Rahmen von PEGASUS erfolgte eine Prozessierung mit der Bernese Software 5.0 unter Nutzung von Produkten des IGS. Neben den Pegelstationen wurden auch verschiedene IGS und EPN Stationen mit eingebunden. Die Prozessierung erfolgt vom Großen ins Kleine. In Relation zu einem globalen Referenzsystem werden die Koordinaten der GNSS-Pegelstationen ermittelt und anschließend in die regionalen amtlichen Referenzsysteme überführt. Vom IGS wird wöchentlich eine Koordinatenlösung aller IGS-Stationen in einem globalen Referenzsystem (IGS05) herausgegeben. Diese enthält die aktuellen Koordinaten der IGS-Stationen in Relation zu einem unveränderlichen Koordinatensystem. Bewegungen und damit verbundene Koordinatenänderungen dieser Stationen (z.B. durch Auflasteffekte, Grundwasserentnahmen, Tektonik usw.) sind damit erfasst. Eine Auswahl von IGS-Stationen dienen als weiche Lagerungspunkte („Coordinate constraint solution“) für das BfG GNSS-Netz. Die im Rahmen von PEGASUS ermittelten Koordinaten sind damit auf die wöchentlichen Koordinaten des IGS bezogen.

Daraus resultierende Koordinatenlösungen der Pegelstationen sind für die Auswertung von Wasserstandszeitreihen nur bedingt geeignet. Für eine Überführung in ein physikalisches (amtliches) Höhensystem wird ein Schwerefeldmodell benötigt. Im Rahmen des Projektes wurde das GCG05 Modell des BKG genutzt, wobei dafür Koordinaten im amtlichen Koordinatensystem der Landesvermessung nötig sind. Über mitprozessierte GREF-Stationen (BORJ, HELG, HOBU und HOE2) wird der Bezug der amtlichen Realisierung des ETRS89 Referenzsystems hergestellt und die Koordinatenlösung in das amtliche ETRS89 Referenzsystem überführt und die Höhenanomalie des GCG05 angebracht. Ergebnis sind aktuelle Höhen im Höhenstatus 160 (DHHN92).

Aufgrund der kurzen Zeitreihe lassen sich im Rahmen von PEGASUS kaum belastbare Aussagen zu Höhenänderungen treffen. Im Rahmen des BMVBS Forschungsprogramms KLIWAS wird der eingeschlagene Weg weiter fortgesetzt. Es wurden und werden weitere Pegelstationen mit kontinuierlichen GNSS-Systemen ausgestattet. Aktuell sind im Bereich der Deutschen Bucht bzw. den Ästuaren auf 18 WSV-Pegelstationen GNSS-Systeme installiert. Zu den 18 GNSS Stationen der BfG kommen weitere GREF GNSS-Stationen des BKG, deren Bezug zum Pegel durch die WSV/BfG überwacht wird. Dabei handelt es sich um die GREF-Stationen HELG, HOE2 und BORJ bzw. den Pegeln Helgoland, Hörnum und Borkum-Südstrand.

Neben Deutschland haben weitere Staaten (Großbritannien, Niederlande und Norwegen) wichtige Pegel mit permanent arbeitenden GNSS-Systemen ausgestattet, deren Beobachtungen im Rahmen von KLIWAS mit genutzt werden. Dies erlaubt eine grenzüberschreitende Auswertung der Wasserstandsdaten, da die Pegelnulldpunkte aller GNSS-Pegelstationen in einem homogenen Referenzsystem vorliegen. Praktisch bedeutet dies, dass beispielsweise der Pegelnulldpunkt des Pegels Lerwick auf den Shetland Inseln mit dem Pegelnulldpunkt des Pegels Cuxhaven Steubenhöft mit einer Genauigkeit von wenigen mm vergleichbar ist. Darüber hinaus ist es mit Pegelnulldpunkten in globalen Referenzsystemen möglich, die dort erfassten Wasserstände mit den Beobachtungen der Satellitenaltimetrie zu kombinieren.