

Geometrische Herausforderungen – Geodätische Lösungen

Herausfordernde Messaufgaben beim Wiederaufbau der Friesenbrücke / Ems und der EÜ über die Hunte bei Elsfleth

Markus FEDERMANN

intermetric GmbH, markus.federmann@intermetric.de

DOI: [10.3217/978-3-99161-070-0-030](https://doi.org/10.3217/978-3-99161-070-0-030), CC BY 4.0

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>

Diese CC-Lizenz gilt nicht für Materialien von Dritten und anderweitig gekennzeichnete Inhalte.

1 Einführung

1.1 Das Bahnnetz im Küstenbereich von Nord- und Ostsee

Das Streckennetz der Deutschen Bahn mit seinen insgesamt rund 39.900 km Länge ist ein wichtiger Teil der deutschen Infrastruktur und Grundlage für einen starken Wirtschaftsstandort. In den 1950er Jahren war der Streckenbau mit 53.700 km auf einem Höchststand und wurde dann aufgrund des erstarkten Straßenbaus und einer politischen Konzentration auf das Kraftfahrzeug sukzessive zurückgebaut. Seit den 2000er Jahren wurden einige Schnellfahrstrecken neu gebaut und ältere Strecken wieder in Betrieb genommen, sodass heute wieder der Stand von 1905 erreicht ist.

Viele Strecken haben somit eine lange Historie und klangvolle Namen. Wenn in diesem Vortrag der Norden Deutschlands bzw. der Küstenbereich im Fokus ist, sind es Namen wie Marschbahn von Hamburg über den Hindenburgdamm nach Sylt, die Ostsee-Route zwischen Rostock-Stralsund-Rügen, die Anbindung der touristischen Hotspots wie Warnemünde, Husum, und Fehmarn. Namen wie Usedomer Bäderbahn oder die Nordbahn welche die Heide mit Büsum verbindet.

Die Strecken sind gekennzeichnet von einer meist ebenen Gradientenführung, ihrer Gründung in weichen wasserführenden Bodenschichten und vielerorts durch den Einfluss der Gezeiten und extremen Wetterereignissen.

1.2 Die Eisenbahnüberführungen Friesenbrücke, EÜ über Hunte

Seit dem Jahr 2023 beschäftigt sich die intermetric GmbH mit zwei Ingenieurbauwerke in besonderer Weise.

Das erste Bauwerk betrifft als Teil der Bahnstrecke 1575, der sogenannten Wunderlinie, von Bremen ins niederländische Groningen ist die 335 m lange Eisenbahnüberführung Friesenbrücke über die Ems bei Weener. Diese wurde im Jahr 1876 errichtet und hatte in der Mitte ein drehbares Teil, um die Schiffbarkeit der Ems sicherzustellen. Später wurde die Friesenbrücke durch eine Klappbrücke ersetzt.

Das zweite Bauwerk als Teil der Bahnstrecke 1720 von Oldenburg nach Brake, die 115 m lange Eisenbahnüberführung (EÜ) über die Hunte bei Elsfleth. Die Brücke wurde im Jahr 1873

fertiggestellt und hatte ebenfalls einen beweglichen Teil, um den Verkehr von größeren Schiffen auf der Hunte zu ermöglichen.

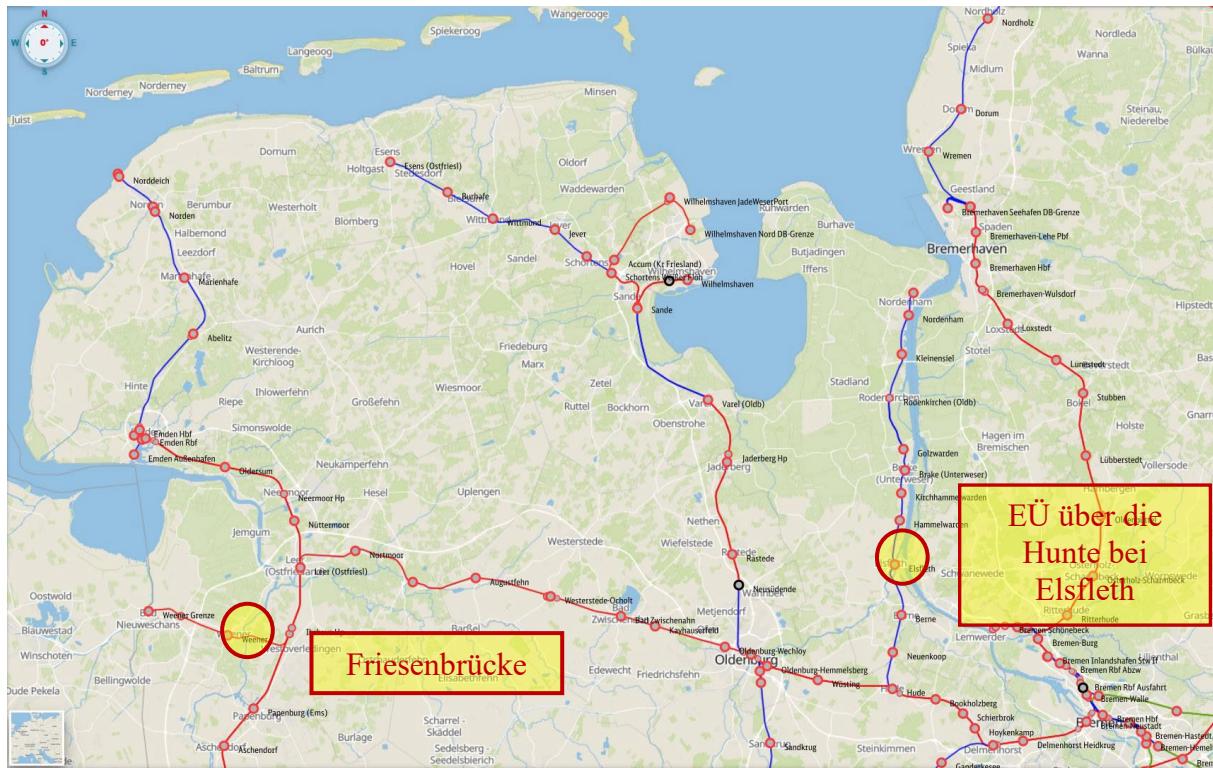


Abb. 1: Übersicht Streckennetz

1.3 Die Unfallereignisse durch Schiffshavarien

In den vergangenen Jahren wurden die beiden Brücken mehrfach in den Schlagzeilen der nationalen Presse erwähnt.

Angefangen die Friesenbrücke nach dem 3. Dezember 2015, als in der Nacht das Frachtschiff EMSMOON die nicht geöffnete Klappbrücke gerammt und diese stark beschädigt hatte. Die Untersuchungen des Unfallhergangs wurden veröffentlicht und sind im Internet zu finden. Die Brücke selbst wurde durch den Vorfall irreparabel beschädigt und muss wieder aufgebaut werden.

Von der Eisenbahnüberführung über die Hunte war zu lesen, dass im Februar 2024 ein Binnenfrachter gegen die Brücke stieß. Die Deutsche Bahn installierte daraufhin eine starre Behelfsbrücke um die Lücke zu schließen. Nach gut zwei Monaten wurde die Strecke wieder für den Verkehr freigegeben. Bereits am 23. Juli 2024 kam es zu einer weiteren Kollision, diesmal mit einem Tankmotorschiff, sodass die Bahnstrecke erneut einen Monat lang gesperrt werden musste. Am 2. Januar 2026 wurde die Brücke von einem 82 m langen Flusskreuzfahrtschiff touchiert, was keine Schäden an der Brücke verursachte.

Der aktuelle Zustand mit einer starren Hilfsbrücke, verbunden mit der Höheneinschränkung für passierende Schiffe, muss durch einen Neubau als Drehbrücke ersetzt werden.

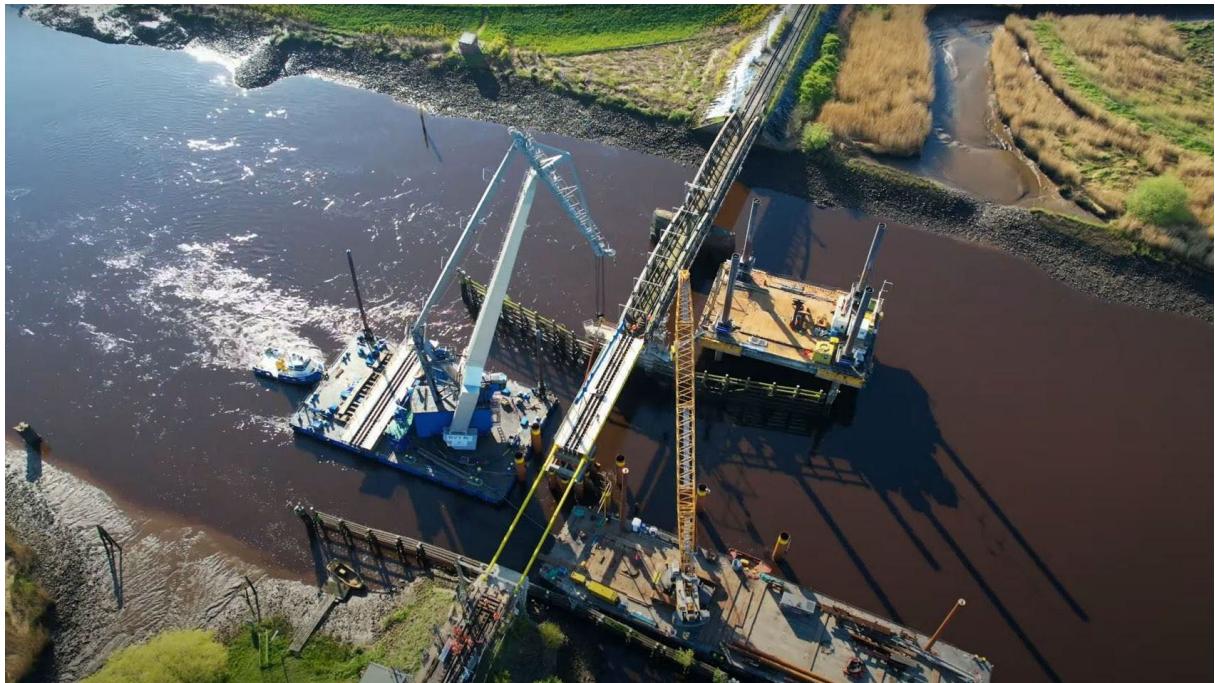


Abb. 2: Übersicht EÜ über die Hunte; Einbau Hilfsbrücke

2 Wiederherstellung der Bauwerke

2.1 Geodätische Aufgaben im Zuge der Wiederherstellung

Im Zuge der Wiederherstellung der beiden Bauwerke sind umfangreiche geodätische Aufgaben zu leisten:

1. Erstellung eines geodätischen Referenzrahmens im aktuellen Koordinatensystem DB_REF2016 der DB InfraGO AG.
2. Überführung der Gleistrassierung der Bahnstrecken in das System DB_REF2016.
3. Geodätische Bestandserfassung der Bauwerksbereiche als Planungsgrundlage.
4. Erstellung eines Bauwerksfestpunktfeldes als Pfeilernetz in hoher Genauigkeit.
5. Aufstellen eines Messprogramms für das Bewegungs- und Deformationsmonitoring

Den Aufgaben unter Punkt 4. und Punkt 5. kommt aufgrund der Lage der Bauwerke in Küstennähe eine besondere Bedeutung zu. Beide Bauwerke liegen im Bereich des Tideeinflusses der Nordsee und sind regelmäßigen Änderungen des Wasserpegels von ca. 4 m ausgesetzt. Die Friesenbrücke an der Ems liegt zudem im Einflussbereich des Emssperrwerks, mit welchem der Wasserpegel der Ems für die Überführung von Großschiffen mit einem Tiefgang von bis zu 8,5 m aus der Meyer Werft in Papenburg zur Nordsee aufgestaut werden kann.

2.2 Festpunktfeld im Tidebereich

Die Wiederherstellung der im Jahre 2015 havarierten Friesenbrücke begann im Juni 2023. Für die Errichtung eines Bauwerksfestpunktfeldes konnten keine tief gegründeten Pfeiler erstellt werden, da die an die Ems angrenzenden Dammbereiche sehr sensibel und nicht mit schwerem

Gerät befahrbar sind. Außerdem war der Einfluss der Tide und des hoch anstehenden Grundwasserspiegels auf Pfeilervermarkungen unklar und zu untersuchen. In Abstimmung mit den Geologen und dem Bauherrn wurde ein Messprogramm entworfen, welches eine Kombination von permanenten GNSS-Messungen und präzisen Tachymetremessungen vorgesehen hat. So wurden um das Projekt verteilt 4 permanente statische GNSS-Sensoren angeordnet, welche in einen Netzverband mit zwei Präzisionstachymetern eingebunden sind und zur Lagerung der periodisch durchgeführten tachymetrischen Bestimmung der Bauwerksfestpunkte verwendet wurden.

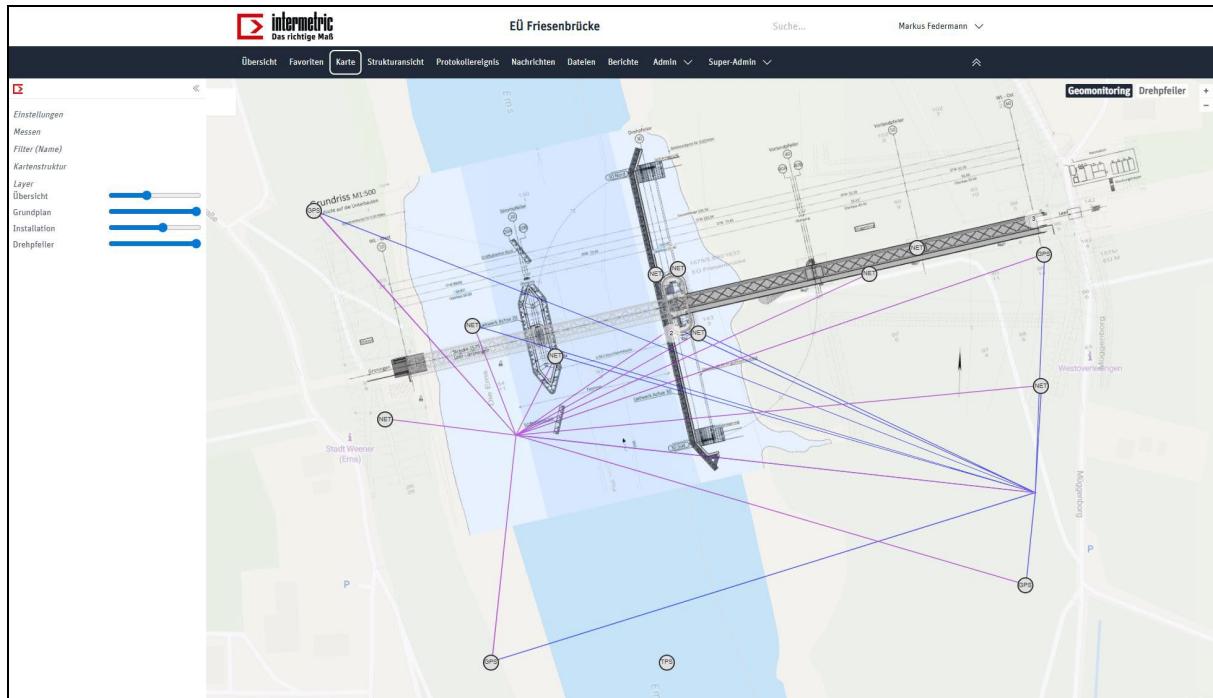


Abb. 3: Übersicht der örtlichen Netzgeometrie; Dynamisches Festpunktfeld

Ziel der permanenten Installation ist es, dass stündlich überprüfte Festpunkte für sämtliche laufenden Vermessungsaufgaben der Bauvermessung und des Bewegungs- und Deformationsmonitoring zur Verfügung stehen.

2.3 Bewegungs- und Deformationsmonitoring

Im Zuge der Wiederherstellung wurden Baubehelfe für die Gründungen der sechs neuen Pfeiler in Form von Spundwandverbauten eingebacht. Diese wurden wasserdicht konzipiert und ermöglichen so die Erstellung der Fundamente und Pfeiler in Stahlbetonbauweise. Ein besonderes Augenmerk lag bei der Realisierung auf dem zentralen Drehpfeiler. Durch das Bewegungs- und Deformationsmonitoring sollte die statische Berechnung der Baubehelfe und der neuen Gründungen geprüft und die prognostizierten Verformungen durch Messung verifiziert werden.

Zu diesem Zwecke wurden in das dynamische Festpunktfeld weitere Objektpunkte an den Baubehelfen, neuen Betongründungen und Pfeilern integriert, welche ebenfalls in einem stündlichen Messintervall tachymetrisch mitbeobachtet wurden.

Nach Fertigstellung des Rohbaus des zentralen Drehpfeilers wurde in diesem eine Schlauchwaage installiert. Mithilfe der Schlauchwaage sollen zusätzlich zur Überwachung der absoluten Verformung die relativen Verformungen in Form von Verkippungen permanent überwacht werden. Diese könnten während dem Einbau der mechanischen Antriebstechnik und dem Betrieb der Drehbrücke auftreten.



Abb. 4: Neue Friesenbrücke beim Drehvorgang

3 iGM.NET Dynamisches Festpunktfeld

3.1 iGM.NET - Das Geo-Monitoringsystem der intermetric

Die Aufgabe des dynamischen Festpunktfeldes wird mit iGM.NET, dem Geo-Monitoring System der Firma intermetric durchgeführt. Seit den Anfängen im Jahre 1998 wird das System aufgrund laufender Projektanforderungen ständig weiterentwickelt.

iGM.NET ist ein modulares Programmsystem, lässt sich horizontal und vertikal skalieren und bietet Schnittstellen zu allen gebräuchlichen geotechnischen und geodätischen Sensoren. Mit iGM.NET Web3 steht die dritte Generation der voll integrierten Web-Plattform als interaktive Benutzerschnittstelle zur Verfügung. Durch umfangreiche Cloud-Funktionen und dem umfassend konfigurierbaren Benutzer- und Rechtemanagement bietet die Web-Plattform vielseitige Präsentationsmöglichkeiten. In einigen großen Projekten wird die Plattform als das zentrale Datenmanagementsystem eingesetzt.

Die in den Richtlinien der DB InfraGO AG festgelegten Anforderungen sind mit diesem System umsetzbar.

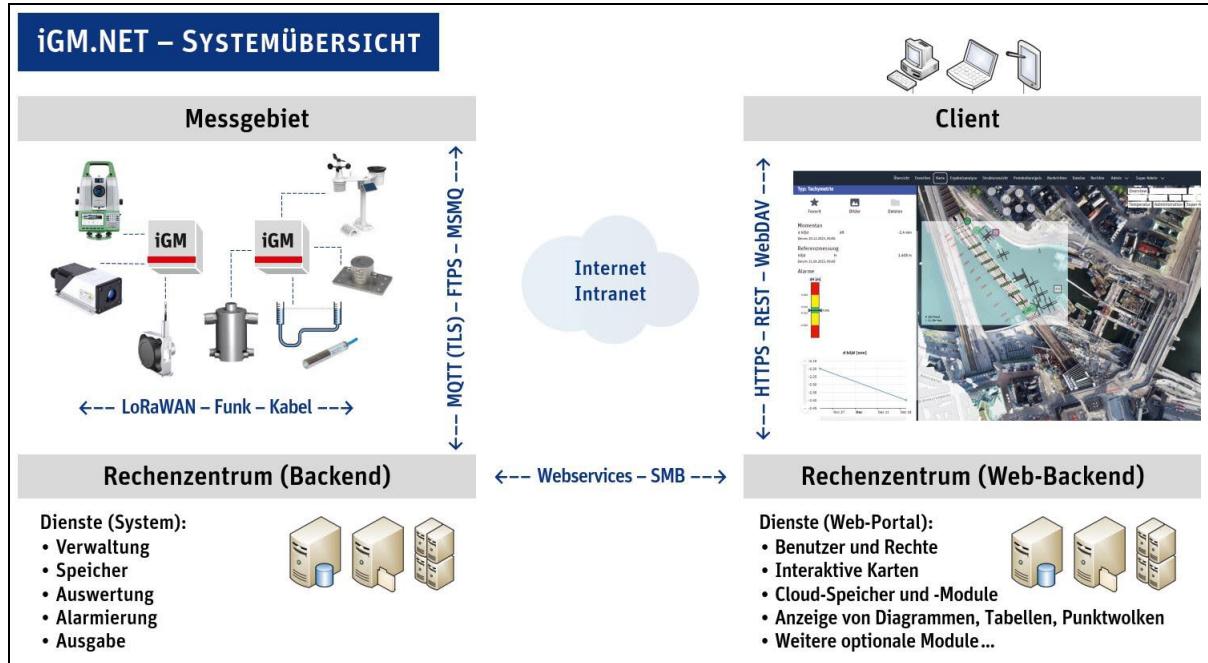


Abb. 5: iGM.NET Systemübersicht

Für die Anforderung im Projekt, ein dynamisches Festpunktfeld zu realisieren, sind insbesondere die Module 'Statische GNSS-Messungen' und 'Netzausgleichung' zu erwähnen.

iGM.NET - Modul 'Statische GNSS-Messungen' berechnet aus den GNSS-Rohdaten, welche von systemzugehörigen Empfängern und Empfängern aus dem SAPOS-Referenzdienst gestreamt werden, zur laufenden Messepoche die aktuellen Positionen der mit GNSS-Antennen besetzten Festpunkten.

iGM.NET –Modul 'Netzausgleichung' hat die Ausgleichungsanwendung xDesy integriert. Zur laufenden Epoche werden die Tachymettermessungen der Netzpunkte aus mehreren Vollsatzmessungen, die aktuellen GNSS-Positionen mit einer Standardabweichung sowie die Messungen auf die Objektpunkte der Deformationsüberwachung in eine gemeinsame Ausgleichsrechnung eingeführt. Das Ausgleichungsmodul führt eine Grobfehlersuche mit automatischer Bereinigung durch. Wenn alle Tests der Analyse bestanden sind, wird die Netzausgleichung mit einer dynamischen Lagerung auf den GNSS-Festpunkten zur endgültigen Koordinatenberechnung sämtlicher Fest- und Objektpunkte der laufenden Epoche durchgeführt.

3.2 Systemkomponenten und -konfiguration

Die Installation im Projekt der Friesenbrücke umfasst im Bereich der Sensorik 4 GNSS Antennen vom Typ Trimble R750 GNSS Receiver mit Antenne Trimble Zephyr 3, 2 Tachymeter vom Typ Leica TM50/60 sowie 4 Schlauchwaagensensoren vom Typ Position Control PC-HSD4.

Die Datenkommunikation läuft in iGM.NET in diesem Fall mit einem eigenen lokalen WLAN-Netzwerk sowie einem integrierten LoRaWAN-Gateway der Firma Worldsensing. Die

Datenübertragung nach Stuttgart erfolgt als verschlüsselte Kommunikation über den 5G Mobilfunkstandard mittels SIM-Karten mit National Roaming.



Abb. 6: Dynamisches Festpunktfeld; GNSS-, Tachymeterfestpunkt

Der zentrale Datenserver des Projektes befindet sich als virtueller Server im Rechenzentrum der intermetric in Stuttgart. Dorthin werden die Daten automatisch übermittelt und auf hochwertigen Speichersystemen zuverlässig gesichert. Auf der sogenannten Datenzentrale befindet sich auch das iGM.NET Backend, das mit verschiedenen Softwarekomponenten, aufeinander zeitlich abgestimmt, die komplette Datenprozessierung, Datenspeicherung und Datenpräsentation realisiert.

Im Projekt ist die Konfiguration so eingestellt, dass stündlich drei Tachymettermessungen im Abstand von 20 Minuten als satzweise Messung durchgeführt werden. Die GNSS-Signale der vier Antennen im Projekt und der benachbarten SAPOS-Station werden permanent aufgezeichnet. Stündlich wird eine Basislinienauswertung zur Positionsbestimmung durchgeführt. Die Positionen im System WGS84 werden zur Laufzeit in das Projektsystem im DB_REF2016 überführt.

Die aktuellen Positionen der GNSS-Festpunkte dienen im weiteren Schritt als Lagerungspunkte für die Tachymettermessungen. Die Auswertung erfolgt als dynamische Lagerung unter Einführung einer Standardabweichung für die Koordinaten in der Berechnung. Im Laufe des Projekts wurde zudem eine Historisierung in die Berechnung eingefügt. Aufgrund der Bautätigkeit waren durch Großmaschinen zeitweise über mehrere Tage hinweg Sichten für die Tachymettermessung nicht frei und somit ergaben sich Lücken im Datenmaterial. iGM.NET ermöglicht eine Historisierung in der Weise, dass Werte der aktuellen Epoche mit dem höchsten

Gewicht in die Berechnung eingehen und ältere Messwerte mit einer signifikant geringeren Gewichtung in die Berechnung miteingefügt werden. Somit können Lücken im Datenmaterial geschlossen und trotzdem gewährleistet werden, dass die aktuellen Messungen das Ergebnis vorrangig bestimmen.

Das Ergebnis der Auswertung wird nach Abschluss der Berechnungen in der Projektdatenbank epochenorientiert gespeichert. Auf dieser Basis werden dann Tabellen der aktuellen Koordinaten erzeugt, die den örtlichen Vermessungsingenieuren als Grundlage der laufenden Arbeiten zur Verfügung stehen. Der aktuellste Stand der Koordinaten wird laufend und automatisiert im Webportal des Projektes zur Verfügung gestellt.

3.3 Projekterfahrungen

Die Installation eines dynamischen Festpunktfeldes am Projekt Friesenbrücke wird als Erfolg im Projekt gesehen. Aufgrund der vier GNSS-Antennen und jeweils einstündigem Datenmaterial zur Basislinienbestimmung der Positionen bei besten GNSS-Voraussetzungen auf den Messpfeilern ist die angestrebte Genauigkeit von 2 mm eine realistisch erreichbare Größenordnung für die absolute Punktbestimmung des Festpunktfeldes. Die Einflüsse aus dem Tidegang des Wasserspiegels auf die Festpunkte war deutlich geringer als durch die Geologen im Vorfeld prognostiziert und durch die Messungen nicht signifikant nachweisbar. Dies war für das Projekt und die Realisierung eine wichtige Erkenntnis.

Problematisch ist die Beeinflussung durch die Bautätigkeiten selbst zu bewerten. Durch fehlende Sichten ist der auf zwei Tachymeter begrenzte Netzverband anfällig. Insbesondere bei den bauwerksnahen Festpunkten, die durch einfache Polarbestimmung aus dem Netzverband heraus bestimmt wurden, kam es immer wieder zu Ausfällen. Positiv ist, dass bei bauseitigen Veränderungen dieser Punkte, diese unmittelbar durch das System erkannt und durch eine aktualisierte Koordinate automatisch in der darauffolgenden Messepoche berichtet werden.

Aufgrund der ähnlichen Bedingungen an der Eisenbahnüberführung über die Hunte ist angedacht, für die im Jahre 2026 beginnende Wiederherstellung, ein ähnliches Messprogramm für das Bauwerksfestpunktfeld zu realisieren.

4 iGM.NET Bewegungs- und Deformationsmonitoring

4.1 Systemkomponenten und -konfiguration

Für das Bewegungs- und Deformationsmonitoring wurden an den Baubehelfen (Spundwandkästen) und fertiggestellten Bauwerksteilen (Brückenpfeiler und Widerlager) 3D-Verformungspunkte angebracht. Diese wurden in der Regel mit Miniprismen in der Örtlichkeit signalisiert und in das Messprogramm des dynamischen Festpunktfeldes integriert.

Die Punkte können durch die Baufirma vermarktet und mit einer groben Koordinate als Anfahrtposition für die Tachymeter im System konfiguriert werden. Auf diese Weise konnten laufend und auf einfache Weise, dem Baufortschritt folgend, neue Punkte als Deformationspunkte integriert werden.

Im neuen Drehpfeiler der Friesenbrücke wurde eine Schlauchwaage angeordnet, welche ebenfalls in einem stündlichen Messintervall geometrische Änderungen des Pfeilers erfasst. Insbesondere ist hier von Interesse, dass durch die enormen Kräfte durch die Bewegung der Brücke keine Verformungen in Form von Verkippungen des Pfeilers entstehen. Die Schlauchwaage erfasst die relativen Höhenänderungen zwischen den vier Sensoren in einer Genauigkeit von 0,2 mm.

Die Ergebnisse des Bewegungs- und Deformationsmonitoring werden durch Grafiken und Tabellen dargestellt und im Web-Portal des Projekts den Projektbeteiligten zur Auswertung zur Verfügung gestellt.

Das automatische Geo-Monitoring liefert für die statische Bewertung den projektbeteiligten Gutachtern wertvolle Informationen und wird als sehr positiv für das Projekt bewertet.

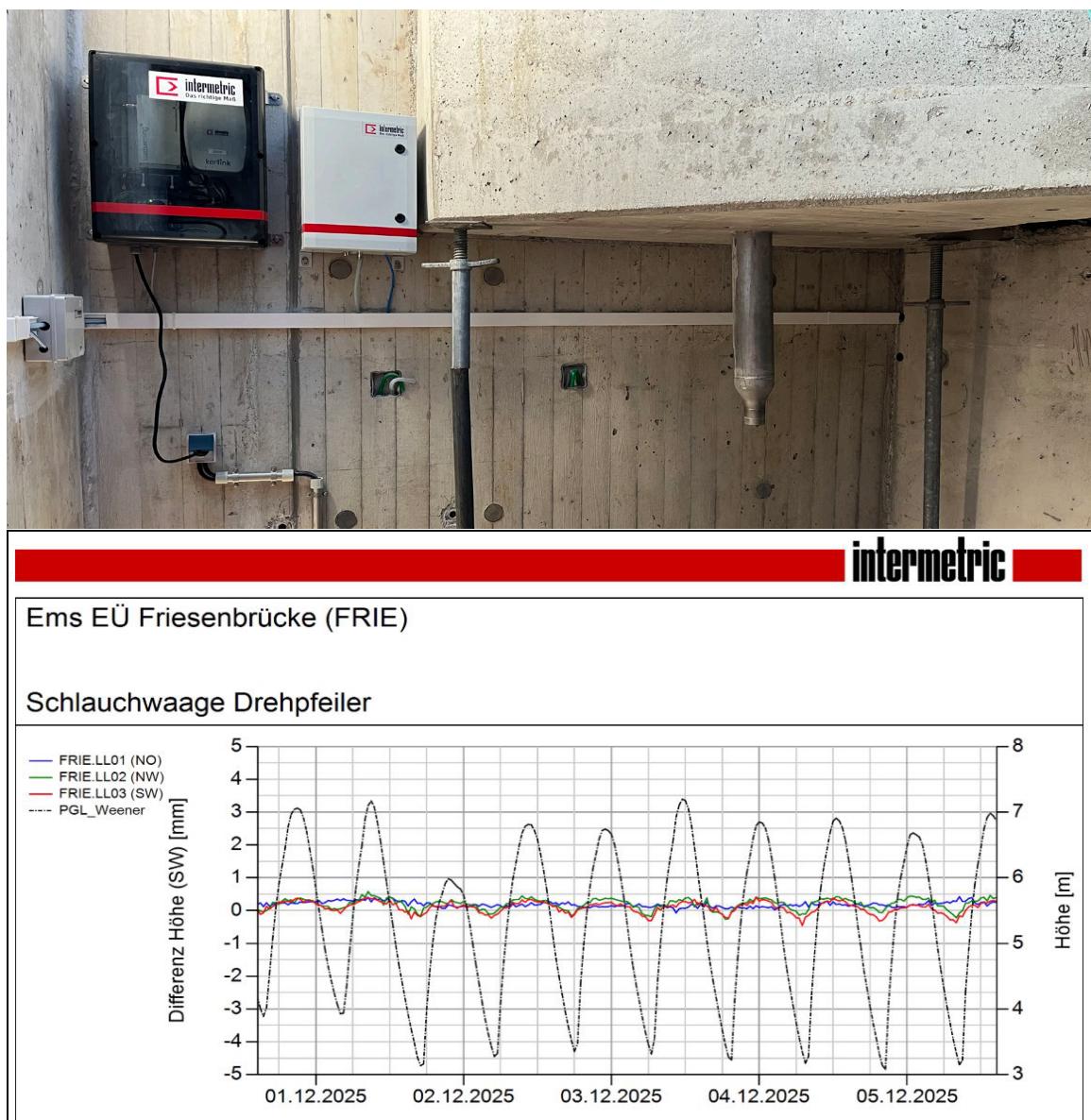


Abb. 7: Schlauchwaage im Drehpfeiler mit Ergebnissen