

ABSCHLUSSBERICHT IKÜS-PROJEKT





ABSCHLUSSBERICHT

**Aufbau eines integrierten Höhenüberwachungssystems in Küstenregionen
durch Kombination höhenrelevanter Sensorik (IKÜS)**

Zuwendungsempfänger	Förderkennzeichen
Geodätisches Institut, Technische Universität Dresden	03KIS055
Bundesanstalt für Gewässerkunde	03KIS056
Institut für Geodäsie und Photogrammetrie, Technische Universität Braunschweig	03KIS057
Landesvermessung und Geobasisinformation Niedersachsen	03KIS058

Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2005–30.09.2008

Berichtszeitraum: 01.10.2005–30.09.2008

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis – iii

Tabellenverzeichnis – vii

Abkürzungsverzeichnis – xi

1 Kurzdarstellung – 1

1.1 Aufgabenstellung – 1

1.2 Voraussetzungen zur Durchführung des Vorhabens – 2

1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens – 2

1.4 Wissenschaftlicher und technischer Ausgangszustand – 4

1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen – 6

2 Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse – 7

2.1 Nivellement – 7

2.1.1 Analyse und Aufbereitung historischer und aktueller Nivellementsdaten – 7

2.1.2 Validierung zukünftiger Netzstrukturen – 12

2.2 GNSS – 15

2.2.1 Auswertung der GNSS-Beobachtungen – 15

2.2.2 Entwicklung einer mehrwegeresistenten Referenzstation – 18

2.2.3 Erfassung von Mehrwegeänderungen infolge von Antennenwechseln – 23

2.3 Pegel – 25

2.3.1 Geodätische Arbeiten der Bundesanstalt für Gewässerkunde – 25

2.3.2 Analyse und Aufbereitung der Wasserstandsregistrierungen – 36

2.3.3 Zukünftiges Pegelmonitoring – 38

2.4 Schwere – 40

2.4.1 Schweremessungen zur Überführung nivellitische Höhenunterschiede in geopotentielle Koten – 40

2.4.2 Höhenveränderungen aus Schweremessungen – 40

2.5 Datenbank – 42

2.5.1 Datenbankstruktur – 43

2.5.2 Zugriffskonzept – 46

2.6	Kombination – 48
2.6.1	Grundgedanken – 48
2.6.2	Entwicklung des kinematischen Modells – 49
2.6.3	Realisierung – 55
2.6.4	Ausgleichung – 58
2.6.5	IKÜS-Software – 60
2.6.6	Ergebnis – 62
2.7	Gesamtergebnisse – 64
2.7.1	Aufbereitete Messdaten – 64
2.7.2	IKÜS-Datenbank – 65
2.7.3	IKÜS-Software und Höhen-Geschwindigkeitsfeld – 66
	Literaturverzeichnis – 69
A	Anhang – 73
A.1	Nivellement – 74
A.1.1	Punktidentitäten und Bezeichnungsschlüssel – 77
A.2	GPS/GNSS – 78
A.3	Schwere – 90
A.4	Datenbank – 91
A.5	Pegel – 99
A.5.1	Zeitreihen ausgewählter Pegel – 99
A.5.2	Berechnung der Scheitelwerte aus hochaufgelösten Wasserstandsdaten – 165
A.5.3	Forschungsplattform FINO-1 – 169
A.5.4	Konzept für ein GNSS-gestütztes Pegelmonitoring – 171

Abbildungsverzeichnis

- 1-1 Zusammenhang von Höhenänderungen, Meeresspiegeländerungen und Pegelinformationen – 1

- 2-1 Übersicht über die im Untersuchungsgebiet vorliegenden Höhennetze – 8
- 2-2 Netzbilder des Nordseeküstennivellement I und II – 9
- 2-3 Übersicht über die Erneuerungskampagne des DHHN 2006 – 2011 – 13
- 2-4 Stationsresiduen der GPS-Station 0647 (Emden), relativ zur Station 0648 (Wilhelmshaven) nach der WaSoft/Netz-Ausgleichung – 17
- 2-5 Änderungen der GPS-Stationen (Trend in Lage und Höhe) auf der Grundlage der relativen Residuen (zur Station 0648) – 19
- 2-6 Jahreszeitliche Änderungen der GPS-Stationen auf der Grundlage der relativen Residuen (zur Station 0648) – 20
- 2-7 Jahreszeitliche Schwankungen in der Lagekomponente für die SAPOS-Stationen 0652 (Alfeld) und 0658 (Nordhorn) – 21
- 2-8 Entwickelter Antennenprototyp zur Verringerung des Mehrwegeeinflusses – 22
- 2-9 Vergleich berechneter Doppeldifferenzen – 22
- 2-10 Gegenüberstellung der Standardabweichung der Einzelepochenlösungen für die Höhenkomponente – 23
- 2-11 Messaufbau zur Erfassung von scheinbaren Positionsänderungen – 23
- 2-12 Beobachtungskorrekturen für GPS-Signale L1 und L2 für die alte Antenne Dresden in Bezug auf die neue Antenne – 24
- 2-13 Wochenpositionslösungen für Dresden im Netz umliegender Referenzstationen – 25
- 2-14 Prinzipieller Aufbau einer Pegelanlage – 27
- 2-15 Pegelanlagen, deren Daten im Rahmen von IKÜS aufbereitet wurden – 27
- 2-16 Auswirkung des Systemsprungs von HN zu NN auf die ermittelten Wasserstände am Beispiel des Pegel Helgoland – 30
- 2-17 Lage der Pegel und Pegelfestpunkte auf Norderney – 31
- 2-18 Interpolierte und nicht-interpolierte Pegelnullpunkte am Pegel Knock und deren Auswirkungen auf den Trend des monatlich mittleren Tidehochwassers – 32

-
- 2-19 Amtliche Angaben für monatlich gemittelte Tidehoch- und Tideniedrigwasser über PNP mit Lattenbewegungen – 35
 - 2-20 Amtliche Angaben für monatlich gemittelte Tidehoch- und Tideniedrigwasser über PNP ohne Lattenbewegungen – 35
 - 2-21 Angaben für monatlich gemittelte Tidehoch- und Tideniedrigwasser ohne Lattenbewegungen über Normalnull (Höhen-Geschwindigkeitsfeld berücksichtigt) – 36
 - 2-22 Dreißigjähriges gleitendes Mittel für Tidehoch- und Tideniedrigwasser über NN – 36
 - 2-23 Analoges Trommelschreiber – 37
 - 2-24 Durch GNSS überwachte Pegelstation Dwarsgat – 39
 - 2-25 Stationen für Absolutschweremessungen im Bereich der Deutschen Nordseeküste – 41
 - 2-26 Ableitung von Höhenänderungen aus gemessenen Absolutschwerewerten – 42
 - 2-27 Zugriffskonzept der IKÜS-Datenbank basierend auf einem Client-/Serversystemen – 46
 - 2-28 Das »IKÜS-Portal« zur Bereitstellung der Ergebnisse des Projektes – 47
 - 2-29 Beispiel einer 3D-radialen Basisfunktion – 54
 - 2-30 Beispiele von 2D-radialen Basisfunktionen mit unterschiedlicher Höhe und Steilheit – 54
 - 2-31 Summation der Anteile zweier radialer Basisfunktionen – 55
 - 2-32 Beispiele von 2D-radialen Basisfunktionen mit unterschiedlicher Steilheit und konstantem Abstand – 56
 - 2-33 Zeitreihe des Punktes 0647 (Emden) – 59
 - 2-34 Geschwindigkeitsfeld als Ergebnis der Auswertung der Nivellementdaten – 62
 - 2-35 Geschwindigkeitsfeld als Ergebnis der Auswertung der GPS-Daten – 63
 - 2-36 Geschwindigkeitsfeld als Ergebnis der Kombination von Nivellement- und GPS-Daten – 63

 - A-1 Jahreszeitliche Schwankungen in der Lagekomponente für die SAPOS-Stationen 0656 (Oldenburg) und 0660 (Lüneburg) – 78
 - A-2 Stationsresiduen der GPS-Station 0641 (Cuxhaven) – 79
 - A-3 Stationsresiduen der GPS-Station 0662 (Stade) – 80
 - A-4 Stationsresiduen der GPS-Station 0667 (Carolinensiel) – 81
 - A-5 Stationsresiduen der GPS-Station 0670 (Norderney) – 82
 - A-6 Stationsresiduen der GPS-Station 0701 (Norderney 2) – 83
 - A-7 Stationsresiduen der GPS-Station 0994 (Bremerhaven) – 84
 - A-8 Stationsresiduen der GPS-Station BORK (Borkum) – 85
 - A-9 Stationsresiduen der GPS-Station HELG (Helgoland) – 86
 - A-10 Verteilung der Punkte für die Relativschweremessungen – 90

- A-11 Übersicht zum Entity Relationship Diagramm der IKÜS-Datenbank – 91
- A-12 Ausschnitt des Entity Relationship Diagramms der IKÜS-Datenbank – Nivellement – 92
- A-13 Ausschnitt des Entity Relationship Diagramms der IKÜS-Datenbank – GNSS – 93
- A-14 Ausschnitt des Entity Relationship Diagramms der IKÜS-Datenbank – Pegel – 94
- A-15 Ausschnitt des Entity Relationship Diagramms der IKÜS-Datenbank – Absolutschwere – 95
- A-16 Ausschnitt des Entity Relationship Diagramms der IKÜS-Datenbank – Relativschwere – 96
- A-17 Ausschnitt des Entity Relationship Diagramms der IKÜS-Datenbank – Kombination – 97
- A-18 Ausschnitt des Entity Relationship Diagramms der IKÜS-Datenbank – Punktinformati-
onen – 98
- A-19 Erfasste Wasserstandszeitreihe des Pegel Borkum-Fischerbalje und berechnete Polyno-
me 7. Grades bei variierender Fensterbreite – 165
- A-20 Erfasste Wasserstandszeitreihe des Pegel Borkum-Fischerbalje und berechnete Polyno-
me verschiedenen Grades bei konstanter Fensterbreite – 166
- A-21 Erfasste Wasserstandszeitreihe des Pegel Borkum-Fischerbalje und berechnete Scheitel-
werte bei variierender Fensterbreite und variierendem Polynomgrad – 166
- A-22 Verbesserungen zwischen den ausgeglichenen Polynomen 7. Grades (variierende Fens-
terbreite 30', 45', 60' und 90') und den gemessenen Wasserständen – 166
- A-23 Verbesserungen zwischen den ausgeglichenen Polynomen (Grad 3., 5., 7., 9. und kon-
stanter Fensterbreite von 45') und den gemessenen Wasserständen – 167
- A-24 Abweichungen der aus den Kunz-Köves Verfahren ermittelten Wasserstände (konstan-
te Fensterbreite 45', variierender Polynomgrad) für das Tidehochwasser gegenüber den
amtlich festgestellten Tidehochwasser am Pegel Borkum Fischerbalje im Jahr 2000 –
167
- A-25 Abweichungen der aus den Kunz-Köves Verfahren ermittelten Wasserstände (variieren-
de Fensterbreite, Polynom 7. Grades) für das Tidehochwasser gegenüber den amtlich
festgestellten Tidehochwasser am Pegel Borkum Fischerbalje im Jahr 2000 – 167
- A-26 Abweichungen der aus den Kunz-Köves Verfahren ermittelten Eintrittszeitpunkte (kon-
stante Fensterbreite, variierender Polynomgrad) für das Tidehochwasser gegenüber den
amtlich festgestellten Eintrittszeitpunkten am Pegel Borkum Fischerbalje im Jahr 2000
– 168

- A-27 Abweichungen der aus den Kunz-Köves Verfahren ermittelten Eintrittszeitpunkte (variierende Fensterbreite, Polynom 7. Grades) für das Tidehochwasser gegenüber den amtlich festgestellten Eintrittszeitpunkten am Pegel Borkum Fischerbalje im Jahr 2000 – 168
- A-28 Differenzen zwischen den gemessenen Wasserständen und den berechneten Wasserständen, falls Dichteinformationen unberücksichtigt bleiben – 170
- A-29 Übersicht von Pegelstandorten auf denen permanent betriebene GNSS-Systeme installiert werden sollen – 171
- A-30 Kommunikationsweg zwischen der BfG und den fest installierten GNSS-Stationen auf den Pegeln – 172

Tabellenverzeichnis

- 1-1 Teilprojekte und Institutionen im Verbundprojekt IKÜS – 2
- 1-2 Eigenschaften und Leistungsfähigkeit von Höhenmessverfahren – 5

- 2-1 Angaben zum Höhenbezug der Nivellementnetze – 10
- 2-2 Höhen- und Sollhöhenunterschiede des Pegelfestpunktes 1 am Pegel Norderney – 31
- 2-3 Abweichungen von der Solllage bzw. den Sollhöhenunterschieden dH_{Soll} infolge von Kontrollen der Höhenlage – 33
- 2-4 Änderung der Höhe des Pegelfestpunktes 1 basierend auf dem Höhen-Geschwindigkeitsfeld und deren Auswirkung auf den Pegelnullpunkt Norderney – 33
- 2-5 Höhenänderungen des Punktes 2419/9/26 aus der Kombination und damit verbundene Änderungen der Anschlussnivellements bzw. Pegelnullpunkthöhen des Pegels Bremerhaven – 34

- A-1 Übersicht der verfügbaren Metainformationen der einzelnen Höhennetze – 74
- A-2 Datenformate und Datenumfang der Nivellementbeobachtungen – 76
- A-3 Bezeichnungsschlüssel für Nivellementkampagnen – 77
- A-4 Stations- und Antennenübersicht für die homogene Auswertung der GPS-Daten – 87
- A-5 Ergebnisse des Höhen-Geschwindigkeitsfeldes für die Anschlusspunkte des Pegels Borkum-Fischerbalje – 99
- A-6 Anschlussmessungen zwischen Punkten des Höhen-Geschwindigkeitsfeldes und dem repräsentativen Pegelfestpunkt 10059 sowie dem Pegelnullpunkt (PNP = HWP) – 100
- A-7 An die Wasserstände anzubringende Offsets für den Pegel Borkum-Fischerbalje (HWP) – 100
- A-8 Ergebnisse des Höhen-Geschwindigkeitsfeldes für die Anschlusspunkte des Pegels Borkum-Südstrand – 102
- A-9 Anschlussmessungen zwischen den Punkten des Höhen-Geschwindigkeitsfeldes und den repräsentativen Pegelfestpunkten 20021/22001 sowie den Pegelnullpunkten – 103
- A-10 An die Wasserstände anzubringende Offsets für den Pegel Borkum-Südstrand (HWP) – 103

- A-11 An die Wasserstände anzubringende Offsets für den Pegel Borkum-Südstrand (Staffel II) – 106
- A-12 An die Wasserstände anzubringende Offsets für den Pegel Borkum-Südstrand (Staffel III) – 106
- A-13 Ergebnisse des Höhen-Geschwindigkeitsfeldes für die Anschlusspunkte des Pegels Emshörn – 108
- A-14 Anschlussmessungen zwischen Punkten des Höhen-Geschwindigkeitsfeldes und den repräsentativen Pegelfestpunkten sowie dem Pegelnullpunkt – 109
- A-15 An die Wasserstände anzubringende Offsets für den Pegel Emshörn (HWP) – 109
- A-16 Ergebnisse des Höhen-Geschwindigkeitsfeldes für die Anschlusspunkte des Pegels Dukegat – 110
- A-17 Anschlussmessungen zwischen Punkten des Höhen-Geschwindigkeitsfeldes und dem repräsentativen Pegelfestpunkt 40210 sowie dem Pegelnullpunkt – 110
- A-18 An die Wasserstände anzubringende Offsets für den Pegel Dukegat (HWP) – 111
- A-19 Ergebnisse des Höhen-Geschwindigkeitsfeldes für die Anschlusspunkte des Pegels Knock – 112
- A-20 Anschlussmessungen zwischen Punkten des Höhen-Geschwindigkeitsfeldes und den repräsentativen Pegelfestpunkten 50657/50110 sowie dem Pegelnullpunkt – 112
- A-21 An die Wasserstände anzubringende Offsets für den Pegel Knock (HWP) – 113
- A-22 Ergebnisse des Höhen-Geschwindigkeitsfeldes für die Anschlusspunkte des Pegels Emden Neue Seeschleuse – 114
- A-23 Anschlussmessungen zwischen Punkten des Höhen-Geschwindigkeitsfeldes und dem repräsentativen Pegelfestpunkt 60645 sowie dem Pegelnullpunkt – 114
- A-24 An die Wasserstände anzubringende Offsets für den Pegel Emden Neue Seeschleuse (HWP) – 115
- A-25 Ergebnisse des Höhen-Geschwindigkeitsfeldes für den Anschlusspunkt des Pegels Norderney (Hafen und Riffgat) – 118
- A-26 Anschlussmessungen zwischen Punkten des Höhen-Geschwindigkeitsfeldes und dem repräsentativen Pegelfestpunkt 70001 sowie dem Pegelnullpunkt – 118
- A-27 An die Wasserstände anzubringende Offsets für den Pegel Norderney Hafen (HWP) – 119
- A-28 An die Wasserstände anzubringende Offsets für den Pegel Norderney Hafen (Staffel II) – 121
- A-29 An die Wasserstände anzubringende Offsets für den Pegel Norderney Riffgat (HWP) – 122

- A-30 An die Wasserstände anzubringende Offsets für den Pegel Norderney Riffgat (Staffel II) – 124
- A-31 Ergebnisse des Höhen-Geschwindigkeitsfeldes für den Anschlusspunkt des Pegels Bremerhaven Alter Leuchtturm. – 127
- A-32 Anschlussmessungen zwischen Punkten des Höhen-Geschwindigkeitsfeldes und den repräsentativen Pegelfestpunkten 86622/86618 und dem Pegelnullpunkt – 128
- A-33 An die Wasserstände anzubringende Offsets für den Pegel Bremerhaven Alter Leuchtturm (HWP) – 128
- A-34 Ergebnisse des Höhen-Geschwindigkeitsfeldes für den Anschlusspunkt des Pegels Wilhelmshaven Alter Vorhafen – 130
- A-35 Anschlussmessungen zwischen Punkten des Höhen-Geschwindigkeitsfeldes und dem repräsentativen Pegelfestpunkt 90020 sowie dem Pegelnullpunkt – 130
- A-36 An die Wasserstände anzubringende Offsets für den Wilhelmshaven Alter Vorhafen (HWP) – 131
- A-37 Ergebnisse des Höhen-Geschwindigkeitsfeldes für die Anschlusspunkte des Pegels Wilhelmshaven Neuer Vorhafen – 134
- A-38 Anschlussmessungen zwischen Punkten des Höhen-Geschwindigkeitsfeldes und dem repräsentativen Pegelfestpunkt 100002 sowie dem Pegelnullpunkt – 134
- A-39 An die Wasserstände anzubringende Offsets für den Pegel Wilhelmshaven Neuer Vorhafen (HWP) – 135
- A-40 Ergebnisse des Höhen-Geschwindigkeitsfeldes für den Anschlusspunkt des Pegels Cuxhaven Steubenhöft – 137
- A-41 Anschlussmessungen zwischen Punkten des Höhen-Geschwindigkeitsfeldes und dem repräsentativen Pegelfestpunkt 11041 sowie dem Pegelnullpunkt – 137
- A-42 An die Wasserstände anzubringende Offsets für den Pegel Cuxhaven Steubenhöft (HWP) – 138
- A-43 An die Wasserstände anzubringende Offsets für den Pegel Cuxhaven Steubenhöft (Staffel II) – 141
- A-44 An die Wasserstände anzubringende Offsets für den Pegel Cuxhaven Steubenhöft (Staffel III) – 143
- A-45 Anschlussmessungen zwischen Punkten der Landesvermessung und den repräsentativen Pegelfestpunkten 1813/E und 120602 sowie dem Pegelnullpunkt – 145
- A-46 An die Wasserstände anzubringende Offsets für den Pegel Helgoland Binnenhafen (HWP) – 146
- A-47 Anschlussmessungen zwischen dem Punkt der Landesvermessung (1215/9/104) und den repräsentativen Pegelfestpunkten 130104 und 130010 sowie dem Pegelnullpunkt – 148

- A-48 An die Wasserstände anzubringende Offsets für den Pegel Hörnum (HWP) – 149
- A-49 An die Wasserstände anzubringende Offsets für den Pegel Hörnum (Staffel II) – 151
- A-50 Anschlussmessungen zwischen dem Punkt der Landesvermessung (1819/9/113) und dem repräsentativen Pegelfestpunkt 140113 sowie dem Pegelnullpunkt – 152
- A-51 An die Wasserstände anzubringende Offsets für den Hauptwasserpegel Büsum (HWP) – 153
- A-52 An die Wasserstände anzubringende Offsets für den Pegel Büsum (Staffel II) – 155
- A-53 Anschlussmessungen zwischen dem Punkt der Landesvermessung (1819/9/129) und dem repräsentativen Pegelfestpunkt 150129 sowie dem Pegelnullpunkt – 156
- A-54 An die Wasserstände anzubringende Offsets für den Pegel Dagebüll (HWP) – 157
- A-55 An die Wasserstände anzubringende Offsets für den Pegel Dagebüll (Staffel II) – 160
- A-56 Ergebnisse des Höhen-Geschwindigkeitsfeldes für den Anschlusspunkt des Pegels Bensorsiel – 162
- A-57 Anschlussmessungen zwischen Punkten der Landesvermessung (2311/9/14, 2311/9/30) und den repräsentativen Pegelfestpunkten 160138 und 160134c sowie dem Pegelnullpunkt – 163
- A-58 An die Wasserstände anzubringende Offsets für den Pegel Bensorsiel (HWP) – 163
- A-59 An die Wasserstände anzubringende Offsets für den Pegel Bensorsiel (Staffel II) – 164

Abkürzungsverzeichnis

AAA	AFIS, ALKIS, ATKIS
AdV	Die Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland
AFIS	Amtliches Festpunktinformationssystem
ALKIS	Amtliches Liegenschaftskataster-Informationssystem
ANSI	<i>American National Standards Institute</i>
ATKIS	Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem
BfG	Bundesanstalt für Gewässerkunde
BKG	Bundesamt für Kartographie und Geodäsie
BLOB	<i>Binary Large Object</i>
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BMV	Bundesministerium für Verkehr
BMVBS	Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
BSH	Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrografie
DBMS	Datenbankmanagementsystem
DDR	Deutsche Demokratische Republik
DHHN	Deutsches Haupthöhennetz
DHSN	Deutsches Hauptschwerenetz
DSN	Deutsches Schwerenetz
DWD	Deutscher Wetterdienst
EDBS	Einheitliche Datenbankschnittstelle
EPN	<i>EUREF Permanent GPS Network</i>
ERM	<i>Entity-Relationship-Modell</i>
ETRS89	<i>European Terrestrial Reference System 1989</i>
FINO-1	Forschungsplattform Nord- und Ostsee Nr. 1

FTP	File Transfer Protokoll
FWU	Forschungsinstitut Wasser und Umwelt, Universität Siegen
GDI-NI	Geodateninfrastruktur Niedersachsen
GLONASS	<i>Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema</i>
GMT	<i>Generic Mapping Tools</i>
GNSS	<i>Global Navigation Satellite System</i>
GPRS	<i>General Packet Radio Service</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
GRAF	Geodätisches Referenznetz
HN	Helgoländer Null
HWP	Hauptwasserpegel
Hz	Horizont
IGS	<i>International GNSS Service</i>
IKÜS	Aufbau eines integrierten Höhenüberwachungssystems in Küstenregionen durch Kombination höhenrelevanter Sensorik
IKÜS-DB	IKÜS-Datenbank
IP	<i>Internet Protocol</i>
ISO	Internationale Organisation für Normung
IT	Informationstechnik
ITRF	<i>International Terrestrial Reference Frame</i>
KFKI	Kuratorium für Forschung im Küsteningenieurwesen
LAWA	Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser
LfGH	Landesanstalt für Gewässerkunde und Hauptnivellement
LGN	Landesvermessung und Geobasisinformation Niedersachsen
LVA	Landesvermessungsamt
LVB	Landesvermessungsbehörde
MMTHW	Monatlich mittleres Tidehochwasser
MMTNW	Monatlich mittleres Tideniedrigwasser
MTHW	Mittleres Tidehochwasser

NHR	Normalhöhen Reduktion
NIMEDA	Nivellementsdatenbank
NKN	Nordseeküstennivellement
NLVA	Niedersächsisches Landesvermessungsamt
NLVwA	Niedersächsisches Landesverwaltungsamt – Abteilung Landesvermessung
NLWKN	Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz
NN	Normalnull
NOR	Normalorthometrische Reduktion
NURBS	<i>Non-Uniform Rational B-Splines</i>
NWP	Niedrigwasserpegel
PFP	Pegelfestpunkt
PNP	Pegelnulppunkt
Pr. LA	Preußische Landesaufnahme
PTB	Physikalisch-Technische Bundesanstalt
PV	Pegelvorschrift
RAM	<i>Random access memory</i>
RBF	Radiale Basisfunktionen
RDBMS	Relationales Datenbankmanagementsystem
RfL	Reichsamt für Landesaufnahme
RHN	Reichshöhennetz
RINEX	<i>Receiver Independent Exchange</i>
SAPOS	Satellitenpositionierungsdienst der deutschen Landesvermessung
SIM	<i>Subscriber Identity Module</i>
SINEX	<i>Solution (Software/technique) Independent Exchange</i>
SNN	Staatlichen Nivellementnetz
SQL	<i>Structured Query Language</i>
VPN	<i>Virtual Private Network</i>

WSA	Wasser- und Schifffahrtsamt
WSV	Wasser- und Schifffahrtverwaltung des Bundes

1 Kurzdarstellung

1.1 Aufgabenstellung

Wasserstände werden an den Küsten durch Pegel erfasst. Zur Erkennung von langfristigen Wasserstandsänderungen werden Pegelmesszeitreihen verwendet. Bei deren Analyse sind präzise Angaben zur Höhenlage der Pegel erforderlich. Die Höhen der Pegel sind vielfach nicht konstant, sondern unterliegen tektonischen und anthropogenen Einflüssen (z. B. durch Rohstoffentnahmen), die eine vertikale Bewegung der Erdoberfläche und damit auch der Pegel bewirken können. Diese vertikalen Bewegungen erreichen in Teilbereichen der deutschen Nordseeküste bis zu einigen Millimetern pro Jahr.

Häufig überlagern sich reale Wasserstandsänderungen und vertikale Bewegungen der Erdoberfläche (Abb. 1-1). Werden letztere nicht berücksichtigt, ergeben sich systematisch verfälschte Wasserstandsänderungen, die eine korrekte Interpretation ihrer hydrologischen oder klimabedingten Ursachen nicht erlauben. Vertikale Bewegungen der Erdoberfläche werden mit geodätischen Messtechniken bestimmt, wodurch die Geodäsie einen unverzichtbaren Beitrag zur Erfassung von Wasserstandsänderungen liefert (z. B. Baker 1993; Teferle u. a. 2006).

Ziel des IKÜS-Projektes war die Kombination der höhenrelevanten geodätischen Messverfahren Nivellement, satellitengestützte Positionsbestimmung (*Global Navigation Satellite System* – GNSS) und Schweremessungen auf der Grundlage der z. T. viele Jahrzehnte zurückreichenden Messungen im deutschen Nordseeküstenbereich. Als Ergebnis sollten Informationen über Höhenänderun-

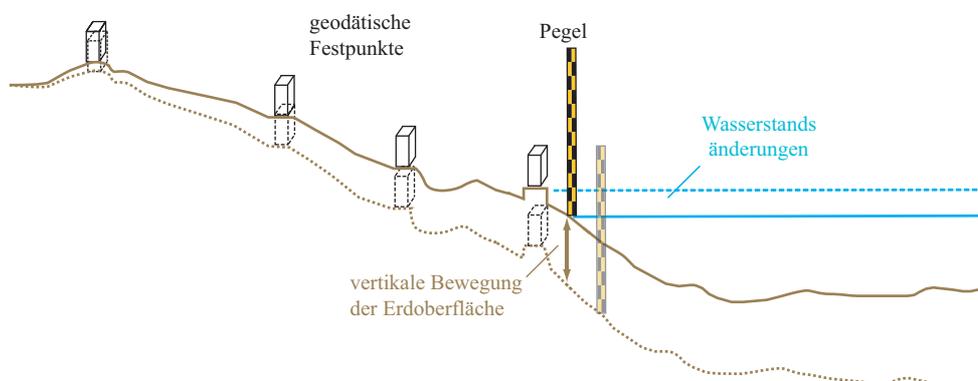


Abb. 1-1: Zusammenhang von Höhenänderungen, Meeresspiegeländerungen und Pegelinformationen.

gen (Höhen-Geschwindigkeitsfeld) mit verbesserter räumlicher und zeitlicher Auflösung, sowie höherer Zuverlässigkeit und Genauigkeit entstehen. Zusätzlich sollten Werkzeuge (IKÜS-Datenbank, IKÜS-Software) entwickelt werden, die es auch zukünftig erlauben werden, neue Ergebnisse der unterschiedlichen geodätischen Messverfahren einzubeziehen und verbesserte Gesamtlösungen zu berechnen.

In Kombination mit den Zeitreihen der Wasserstandsregistrierungen im Küstenbereich wird es somit möglich, genauere und zuverlässigere Wasserstandsänderungen zu ermitteln.

1.2 Voraussetzungen zur Durchführung des Vorhabens

Bei der Durchführung der im IKÜS-Projekt vorgesehenen Arbeitspakete konnte auf Erfahrungen früherer Forschungsprojekte zurückgegriffen werden, an denen die Projektpartner beteiligt waren.

Einen wichtigen Beitrag zum Gelingen des Forschungsvorhabens stellte der Zugang zu den höhenrelevanten Daten dar, die durch die in Abschnitt 1.5 aufgeführten Behörden der Bundesländer und des Bundes bereitgestellt wurden.

1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Das Verbundprojekt IKÜS bestand aus vier eng verwobenen Teilprojekten (IKÜS-A – IKÜS-D). Die einzelnen Arbeitsschwerpunkte der Teilprojekte sowie die Projektpartner sind in Tabelle 1-1 zusammengefasst.

Tab. 1-1: Teilprojekte und Institutionen im Verbundprojekt IKÜS.

	Teilprojekt			
	IKÜS-A	IKÜS-B	IKÜS-C	IKÜS-D
Schwerpunkt	Satellitengestützte Höhenbestimmung	Küstenpegel (Höhenkontrollmessungen und Wasserstandsregistrierungen)	Kombination hybrider Messinformationen	Daten der Landesvermessung und IKÜS-Datenbank
Institution	Geodätisches Institut, Technische Universität Dresden	Bundesanstalt für Gewässerkunde	Institut für Geodäsie und Photogrammetrie, Technische Universität Braunschweig	Landesvermessung und Geoinformation Niedersachsen
Akronym	GI TUD	BfG	IGP TU BS	LGN

Hauptziel des Vorhabens war die Entwicklung, Erprobung und der Einsatz eines integrierten Ansatzes für die Höhenbestimmung und -überwachung in ausgedehnten Küstenregionen. Hierzu wurden in einem ersten Schritt die vorhandenen höhenrelevanten Datenquellen

- Präzisionsnivellement
- *Global Navigation Satellite System (GNSS)* augenblicklich *Global Positioning System (GPS)*
- Präzisionsschweremessungen

zusammengetragen und unter Beachtung ihrer sensorspezifischen Besonderheiten analysiert und für die Kombination aufbereitet.

In einem weiteren Schritt erfolgte die Entwicklung und der Aufbau einer geeigneten Datenbankstruktur. In der entwickelten IKÜS-Datenbank (IKÜS-DB) wurden die aufbereiteten Höheninformationen für die Kombination gespeichert.

Die für die Integration und Kombination der hybriden Höheninformationen notwendigen Werkzeuge wurden konzeptionell entwickelt und programmtechnisch realisiert, erprobt und angewandt.

Die Ergebnisse der Kombination – Höhenänderungen höchster Genauigkeit und Zuverlässigkeit – wurden auch in der IKÜS-Datenbank gespeichert, um sie ausgewählten Nutzern wie z. B. **Kuratorium für Forschung im Küsteningenieurwesen (KFKI)** zur Verfügung zu stellen. Gleichzeitig können die gewonnenen Höheninformationen mit den aufbereiteten Zeitreihen der Wasserstandsregistrierungen verknüpft werden. Ableitungen von Wasserstandsänderungen werden somit möglich.

Innerhalb des IKÜS-Projektes wurden die Zukunftsaspekte der Höhenbestimmung im Küstenbereich, die für die langfristige Nutzung des zu entwickelnden integrierten Höhenüberwachungssystems von großer Wichtigkeit sind, betrachtet:

- Wirtschaftliche Aspekte werden zu einer Ausdünnung der Nivellementnetze führen. Zu diesem Zweck wurden Anforderungen definiert und validiert, die sicherstellen sollen, dass auch die ausgedünnten Netzstrukturen ihrer Aufgabe bei der Höhenüberwachung der Küstenregionen gerecht werden.
- Die zunehmende Wichtigkeit der satellitengestützten Techniken erfordert eine weitere Verbesserung der damit erzielbaren Genauigkeiten. Zu diesem Zweck wurden Untersuchungen hinsichtlich einer mehrwegeresistenten **GNSS-Referenzstation** durchgeführt. Ziel hierbei war die Steigerung der Höhengenaugkeit bei der höhenmäßigen Anbindung der Küstenpegel, aber auch beim Einsatz permanenter **GNSS-Referenzstationen**.
- Der Übergang beim Pegelmonitoring vom Präzisionsnivellement bzw. Einsatz der Präzisionsschlauchwaage zur satellitengestützten Höhenbestimmung bedarf weiterer Entwicklung. Basierend auf den Erfahrungen, welche im Laufe des Projektes gewonnen werden konnten, wurde ein Konzept für das künftige **GNSS-gestützte Höhenmonitoring** von Küstenpegeln erarbeitet.

1.4 Wissenschaftlicher und technischer Ausgangszustand

Die wichtigste Informationsquelle für Höhen stellt bislang noch das amtliche Höhenfestpunktfeld dar. Sie basieren auf dem Präzisionsnivellement und folgen dem klassischen Modellansatz, der von einer statischen Netzauffassung ausgeht. Da den Festpunktfeldbetreibern die Unzulänglichkeit dieses Ansatzes bekannt ist, wird das Konzept der wiederholten Messepochen genutzt:

- das jeweilige Netz ist in möglichst kurzen Zeiträumen geschlossen zu beobachten
- die Messungen sind kontinuierlich zu wiederholen (Messepochen),
- die alten Höhenwerte sind (ganz oder teilweise) durch die neuen Ergebnisse zu ersetzen

Hervorzuhebende Beispiele hierfür sind die Arbeiten am 1. **Nordseeküstennivellement (NKN)**, dessen Grundnetz in 3 Jahren (1928–1932) gemessen wurde, ebenso wie die beiden Messepochen 1954–1956 und 1976–1978 des **Staatlichen Nivellementnetz (SNN)** der Deutschen Demokratischen Republik (**DDR**) (**Lang und Steinberg 1993**) und die Wiederholungsmessungen des Deutschen Haupthöhennetzes (**DHHN**) 1980–1985 (**AdV 1993**). Der Wiederholungszeitraum ist dabei eine Funktion der vermuteten Höhenänderungen und der Punkterstörungsrate. In Deutschland lag der Epochenabstand bisher zwischen 20–30 Jahren. Dieses Konzept ist noch im Gebrauch, da es den Interessen der meisten Nutzer entspricht, da diese nur lokale Genauigkeitsanforderungen haben und gleichmäßige regionale Höhenänderungen nicht bemerkt werden.

Die wiederholten Nivellementnetzbeobachtungen dienen dabei primär der Bestimmung von Höhenänderungen. Die Weiterführung dieser Beobachtungen im bisherigen Netzzumfang wird durch die Landesvermessungen in Zukunft nicht mehr sichergestellt sein. Für die aktuellen Trends sind deshalb primär satellitengestützte Techniken einzusetzen, die nicht mehr linienhaft arbeiten, sondern punktwise, dafür aber eine hohe zeitliche Auflösung erlauben.

Die satellitengestützten Verfahren (insb. **GPS**) haben sich in den letzten 20 Jahren stetig weiterentwickelt. Gerade in der Höhenkomponente weisen sie aber noch Defizite auf, die Spielraum für Genauigkeitssteigerungen lassen. So wurde in dem vom **Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)** geförderten Projekt NN-SAT (1998–2002) vornehmlich untersucht, inwieweit Verbesserungen der Höhenbestimmung durch Einbeziehung von zusätzlichen Sensoren zur Erfassung troposphärischer Refraktion möglich sind. Ergebnis dieses Projektes war, dass diese zusätzlichen Sensoren noch nicht praxistauglich sind und dass auf **GPS**-Referenz- und Pegelpunkten vielfach Mehrwegeausbreitung den primären genauigkeitsbegrenzenden Faktor darstellt (**NN-SAT 2002**).

Eine deutliche Verringerung der **GPS**-Trägerphasenmehrwegeinflüsse durch verbesserte Messtechnik in den Empfängern oder verbesserte Antennen ist nicht zu erwarten. Dies gilt selbst für die in Zukunft zu erwartenden neuen **GPS**- und Galileo-Signale (**Weill 2002**). Es ist abzusehen, dass eine Steigerung der Höhenmessgenauigkeit durch Mehrantennensysteme erzielt werden kann. Die zu-

sätzlichen Messinformationen, durch den simultanen Einsatz von mehreren Empfangssystemen mit geringem Antennenabstand von einigen Zentimetern (korrelierte Mehrwegeeffekte) oder größerem Antennenabstand von einigen Metern (unkorrelierte Mehrwegeeffekte), können zur Modellierung und Elimination von Mehrwegeeffekten verwendet werden (Ray 2000; Wanninger 2002).

Als weiteres und unabhängiges Verfahren kommen gravimetrische Messungen hinzu. Schwere-messungen (präzise) stellen eine einzelpunktbezogene Möglichkeit dar, Höhenänderungen indirekt aus Schwereänderungen abzuleiten. Die derzeitige Messgenauigkeit von 10 bis 20 nms^{-2} auf guten Inlandstationen (Wilmes u. a. 2003) lässt sich jedoch nicht ohne Inkaufnahme eines höheren Mess-rauschens von 20 bis 40 nms^{-2} auf Küstenstationen übertragen. Dies entspricht einer Höhenmessge-nauigkeit auf dem 1 cm-Niveau.

Tabelle 1-2 fasst die wichtigsten Einflussgrößen auf die Höhenbestimmung mit den erwähnten Messverfahren und auf die Wasserstandsregistrierungen zusammen. Eine Steigerung von Höhengenaugigkeit und -zuverlässigkeit, über die Potentiale der einzelnen Sensoren hinaus, kann sich insbesondere aus der Kombination der Einzelverfahren zu einem integrierten System ergeben. Auch der sich abzeichnende Übergang vom Präzisionsnivellement zur satellitengestützten Höhenbestimmung als dominante Messmethode macht die Kombination der Einzelverfahren notwendig, um die beste-

Tab. 1-2: Eigenschaften und Leistungsfähigkeit von Höhenmessverfahren und Wasserstandsregistrierungen.

Mess- verfahren	Genauigkeits- begrenzende Einflussgrößen	Genauigkeit Höhe	Höhenänderung
Präzisions- nivellement	restliche systematische Effekte (u. a. Refraktion, Grundwasser)	8 mm (NKN: Osnabrück – Norderney 200 km)	0,1 – 0,3 mm/a aus kinematischer Netzausgleichung (Messepochenabstand 50 Jahre) (Wolfram 1999)
GNSS (GPS, GLONASS, Galileo)	Restfehler der Signalausbreitung (Mehrwegeeffekte, troposphärische Refraktion), Antennenverhalten	4 – 5 mm bei guter Stationsqualität (NN-SAT 2002)	0,5 mm/a bei guter Stationsqualität und Messzeitraum von 5 bis 10 Jahren (NN-SAT 2002)
Präzisions- schwere- messungen	Modellierung der Massenänderungen	10 – 15 mm (Richter u. a. 1998) (= 30 – 50 nms^{-2}) bzw. 3 – 7 mm (= 10 – 20 nms^{-2}) (Wilmes u. a. 2003)	zur Zeit 20 mm → 2 mm/a bei Messepochenabstand von 10 Jahren

henden Höhenzeitreihen weiterführen zu können.

1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Ein Hauptbestandteil des Projektes war die Erschließung und Erfassung der verschiedenen höhenrelevanten Messdaten (Nivellement, GNSS, Pegel und Schwere). Der Großteil der Messdaten stammt von der **Landesvermessung und Geobasisinformation Niedersachsen** und der **Bundesanstalt für Gewässerkunde**. Ein Teil der Mess- und Metadaten sind Datenbestand weiterer Behörden des Bundes und der Länder, insbesondere:

- Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (Frankfurt)
- Landesvermessungsamt Schleswig-Holstein (Kiel)
- Landesbetrieb Geoinformation und Vermessung Hamburg
- GeoInformation Bremen
- Wasser- und Schifffahrtsdirektionen Nord und Nordwest
- Wasser- und Schifffahrtsämter (**WSA**) Cuxhaven, Tönning, Wilhelmshaven, Bremerhaven und Emden
- Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (**NLWKN**)
- Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (**BSH**)
- Forschungsinstitut Wasser und Umwelt der Universität Siegen (**FWU**)

Auf alle für das **IKÜS**-Projekt relevanten Beobachtungen konnte problemlos zugegriffen werden.

2 Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

2.1 Nivellement

Beim Nivellement werden Höhendifferenzen zwischen vermarkten Punkten bestimmt. Die Angabe einer absoluten Höhe für diese Punkte gelingt nur in Bezug auf einen oder mehrere Referenzpunkte, denen eine Höhe, z. B. aus Anschlussmessungen zu einem Pegel, zugewiesen wurde. Die Ableitung von Höhenänderungen aus Wiederholungsmessungen ist möglich, sofern jeweils die gleichen Referenzpunkte gewählt wurden. Die festgestellten Höhenänderungen zeigen nur dann wirkliche Veränderungen der Höhenlage der Festpunkte, wenn der Referenzpunkt als stabil angenommen werden kann.

2.1.1 Analyse und Aufbereitung historischer und aktueller Nivellementsdaten

Für die deutsche Nordseeküste im Bereich der Bundesländer Bremen, Hamburg, Niedersachsen und Schleswig-Holstein liegen insgesamt 10 Messepochen vor. Die Epochen reichen bis zum Ende des 19. Jahrhunderts. Abbildung 2-1 gibt einen Überblick über die vorhandenen Messkampagnen im Untersuchungsgebiet. Weitere Informationen sind der Tabelle A-1 im Anhang zu entnehmen.

Die ersten Nivellementmessungen wurden im Rahmen des Urnivellement durchgeführt. Aufgrund der schlechten Vermarkung der Festpunkte, die sich als nicht standsicher erwies, wurde im Zuge der preußischen Landesaufnahme ein neues Nivellementnetz geschaffen. Es wird als Reichshöhennetz (RHN) bzw. als Deutsches Haupthöhennetz 1912 (DHHN 12) bezeichnet.

Dem Reichsamt für Landesaufnahme (1932) ist zu entnehmen, dass es schon zu Beginn des zwanzigsten Jahrhunderts Diskussionen über die Frage der Senkung der deutschen Nordseeküste gab, die zur Einrichtung eines Nivellement-Sondernetzes zu wissenschaftlichen Zwecken – dem Nordseeküstennivellement (NKN) – führten. Bei den durchgeführten Beobachtungen erfolgte gleichzeitig auch der Anschluss der Pegelfestpunkte an das DHHN 12, was die Voraussetzung für die Verknüpfung von Nivellement und Wasserstandsregistrierung ist. Das NKN wurde bisher zweimal wiederholt. Es stellt für die bisherigen Höhenuntersuchungen im Nordwestdeutschen Raum (z. B. Leonhard 1987) die wichtigste Grundlage dar. Die Wiederholungen des NKN gingen gleichzeitig mit Erneuerungsarbeiten und Wiederholungsmessungen im DHHN einher. Die Abbildung 2-2 zeigt Netzbilder des Nordseeküstennivellement und seiner ersten Wiederholungsmessung.

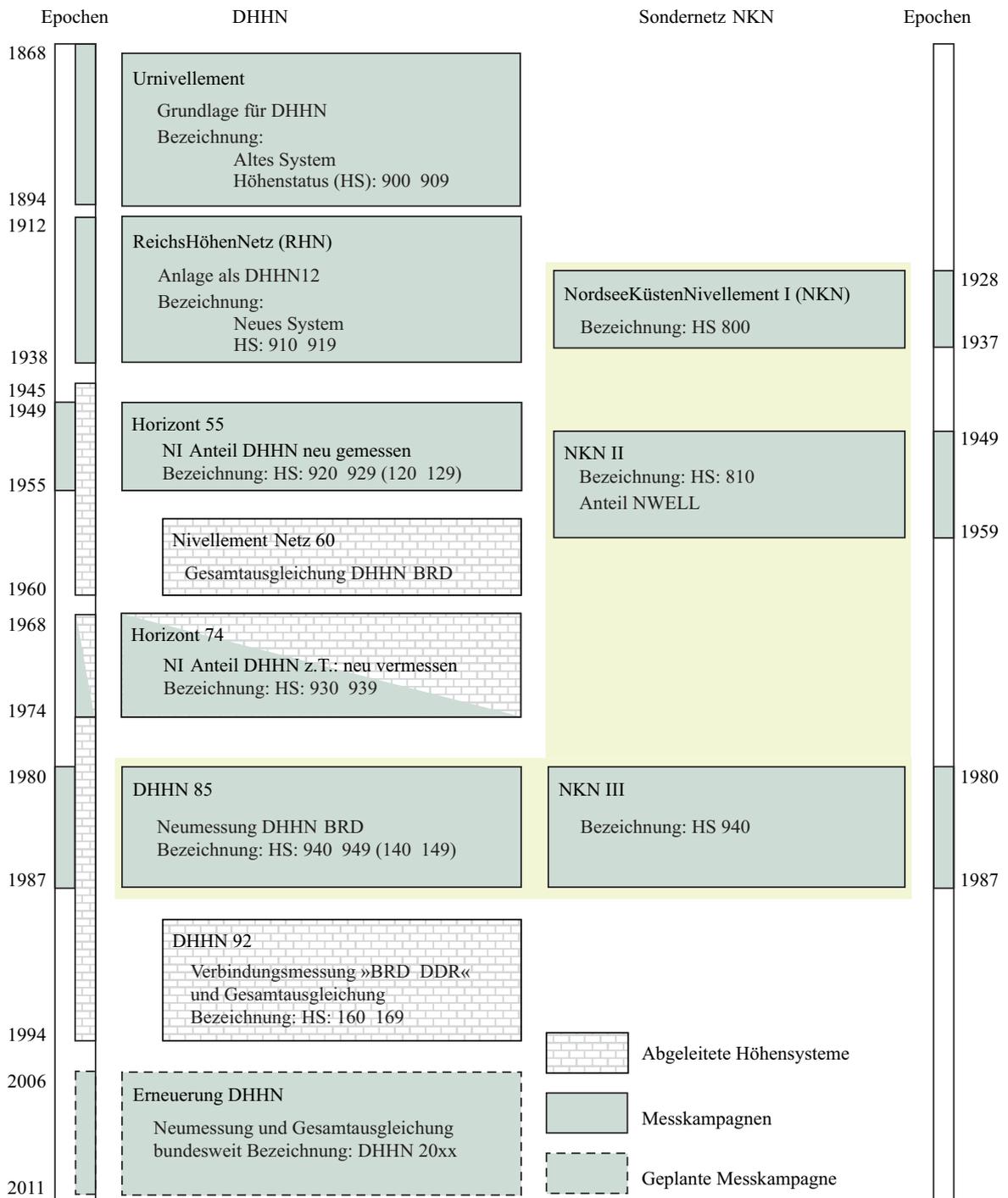


Abb. 2-1: Übersicht über die im Untersuchungsgebiet vorliegenden Höhennetze.

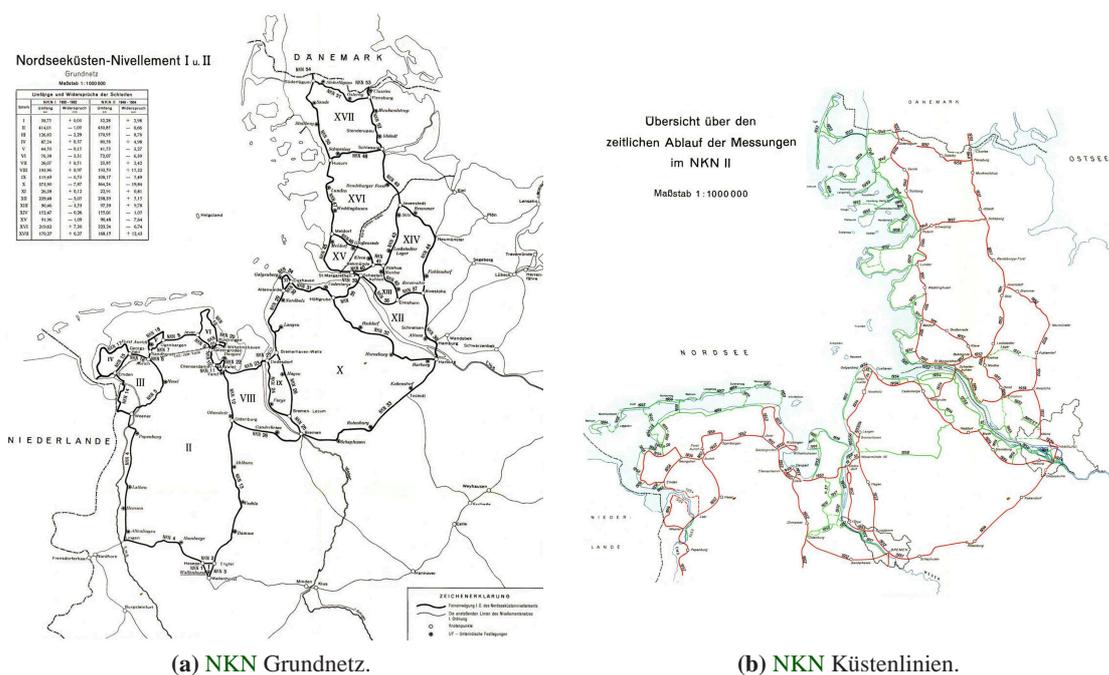


Abb. 2-2: Netzbilder des Nordseeküstennivellement I und II (AdV 1960).

Die Nivellementnetze Niv-Netz 60 und **DHHN 92** entsprangen den Bestrebungen, die bis dahin in Teilnetzen vorliegenden Höhenangaben zusammenzuführen. Für die Teilnetze vor 1960 wurde auf dem Gebiet der alten Bundesländer das Niv-Netz 60 eingerichtet. Der Horizont 74 (**H_z 74**) wurde nur in Niedersachsen eingeführt. Er entstand auf Grundlage neuer Messungen in Nordwestniedersachsen und zurückliegender Beobachtungen, des Niv-Netzes 60. Nach der Wiedervereinigung 1990 wurde ein einheitliches Höhennetz – das **DHHN 92** – für Gesamtdeutschland geschaffen. Da bei der Berechnung der Höhen nur Beobachtungsmaterial vorheriger Messkampagnen benutzt wurde, enthalten diese Höhenangaben keine neuen Informationen zu Höhenänderungen und werden daher im Projekt nicht berücksichtigt. Die erste einheitliche gesamtdeutsche Wiederholung des **DHHN 12** wird gegenwärtig durch die Messkampagne **DHHN 2006–2011** geschaffen (AdV 2008b).

Die im Projekt zur Verfügung stehenden Nivellementdaten wurden bezüglich des Datenformates in Höhen und Höhenunterschieden (= Beobachtungen) unterteilt (siehe Anhang A-2). Höhen stellen einen absoluten Wert dar, der aus Beobachtungen (Höhenunterschieden) abgeleitet wird. Die Beobachtungen werden in der Regel korrigiert (z. B. Temperaturkorrektion) und reduziert wie in diesem Fall mittels der **Normalorthometrische Reduktion (NOR)**. Die verbleibenden Schleifenwidersprüche werden bei einer Ausgleichung mit Bedingungsgleichungen auf die Beobachtungen entfernungsabhängig verteilt.

Für die kombinierte Auswertung bestand grundsätzlich die Möglichkeit, Höhen oder Höhenun-

terschiede als Eingangsgrößen in einer Datenbank zu speichern. Der Höhenbezug der einzelnen Nivellementnetze wurde in den Jahren unterschiedlich realisiert (Tabelle 2-1). Die Nivellementnetze unterscheiden sich hinsichtlich des gewählten Datumspunktes, des Höhenniveaus (Anschlusspegel), der Bezugsfläche und des Maßstabes. Weiterhin gibt es Unterschiede bezüglich des verwendeten Ausgleichsverfahrens, der Netzanschlussbedingungen und der verwendeten Korrekturen.

Werden Höhen verschiedener Epochen miteinander verglichen und ausgewertet, ergibt sich das Problem, dass sich Höhen bereits aufgrund verschiedener Berechnungsmethoden unterscheiden können. Dies hat zur Folge, dass bei der Ableitung von Höhenänderungen aus den Höhen der verschiedenen Nivellementnetze im Ergebnis Höhenänderungen berechnet werden, die jedoch auf systembedingte Unterschiede zurückzuführen sind. Eine Gegenüberstellung von Höhen verschiedener Messepochen würde als Höhenänderung fehlinterpretiert werden und zu falschen Aussagen führen. Um dies zu vermeiden und nicht die angebrachten Korrekturen, Reduktionen und Ausgleichsverbesserungen zusätzlich in der Datenbank zu speichern, wurde im Projekt beim Nivellement auf die gemessenen Größen zurückgegriffen. Dies sind die relativen Höhenunterschiede, die als Rohbeobachtungen bezeichnet werden. Daten von abgeleiteten Höhenbezugssystemen konnten nicht für IKÜS-Untersuchungen verwendet werden, da sie Höhenangaben andersartig repräsentieren ohne zusätzliche Informationen bezüglich vertikaler Bewegungen im Untersuchungsgebiet zu liefern.

Entsprechend dieser Zielsetzung erfolgten die Aufbereitungsarbeiten der Nivellementdaten. Sofern die Nivellementdaten nur als abgeleitete Größen (Höhen) vorlagen, wurden diese mithilfe zu-

Tab. 2-1: Angaben zum Höhenbezug der Nivellementnetze.

Bezeichnung	Datumspunkt	Anschlusspegel	Höhenbezugsfläche	Maßstab
Urnivellement	Berliner Sternwarte = NH 1879	Neufahrwasser u. Flutmesser HH; seit 1879 Amsterdam	keine Reduktion	Legales Meter (bis 1893)
RHN/DHHN 12	Hoppegarten = NH 1912	Amsterdam	NN-Fläche/NOR	International
NKN I, NKN II	Wallenhorst	Amsterdam	NN-Fläche/NOR	International
H _z 55	ausgewählte Anschlusspunkte	Amsterdam	NN-Fläche/NOR	International
Niv-Netz60, H _z 74, NKN III/ DHHN 85	Wallenhorst	Amsterdam	NN-Fläche/NOR	International
DHHN 92	Wallenhorst	Amsterdam	Quasigeoid/NHR	International

sätzlicher Informationen, wie z. B. angebrachten Korrekturen und Verbesserungen, in relative Höhenunterschiede überführt. Relative Höhenunterschiede in digitaler Form lagen für Teile des **DHHN 12**, für das **NKN I** und **II** und für das **NKN III** als Anteil vom **DHHN 85** vor. Jedoch waren auch für die aufbereiteten Beobachtungen des **DHHN 12**, des **NKN I** und **II** weitere Bearbeitungsschritte notwendig, um Rohbeobachtungen zu erzeugen. Neben Formatierungsarbeiten wurden hauptsächlich angebrachte Reduktionen berücksichtigt (siehe unten).

Für die Nivellementnetze ohne vorliegende Rohbeobachtungen mussten diese zum Teil aus vorliegenden Höhen aufwendig erzeugt werden. Hierzu wurden folgende Arbeitsschritte durchgeführt:

1. Bildung der Höhendifferenzen von benachbarten Nivellementpunkten,
2. Rückrechnung der angebrachten Ausgleichungsverbesserungen,
3. Rückrechnung der angebrachten Reduktionen,
4. Rückrechnung der angebrachten Korrekturen (außer instrumenteller und nivellierlattenabhängiger Korrekturen).

Lagen für Messepochen keine Rohbeobachtungen, sondern nur ausgeglichene Höhen vor, wurden nach der Erfassung aus den ausgeglichenen Höhen Höhenunterschiede gebildet. Konnte für diesen Schritt nicht auf vorhandene Linienverzeichnisse zurückgegriffen werden, so wurden diese nachträglich erzeugt. Anhand der Punktnummerierung und der Messdokumentationen in **AdV (1960)** und **Reichsamt für Landesaufnahme (1927)** wurden die alten Linienverläufe rekonstruiert. Anschließend wurden entlang der Linie ausgeglichene, reduzierte und korrigierte Höhenunterschiede berechnet.

Im nächsten Schritt wurden die angebrachten Ausgleichungsverbesserungen zurückgerechnet. Dafür waren Angaben bezüglich der durchgeführten Ausgleichungsrechnung notwendig. In **AdV (1960)** wird beschrieben, wie in den aufzubereitenden Messepochen aus den einzelnen Linien, begrenzt durch jeweils zwei Knotenpunkte, Schleifen gebildet wurden. Für jede Schleife wurde eine Bedingungsgleichung aufgestellt. Als Ergebnis der Ausgleichung erhielten die Knotenpunkte ausgeglichene Höhenwerte, während Nivellementpunkte zwischen den Knotenpunkten eingerechnet wurden. Dazu wurde die Differenz zwischen dem aufsummierten Höhenunterschied der Beobachtungen einer Linie und dem Unterschied der benachbarten Knotenpunkte auf die einzelnen Beobachtungen verteilt. Diese Linienverbesserung konnte für die Aufbereitungsarbeiten des **IKÜS**-Projektes verschiedenen Veröffentlichungen entnommen werden. Durch die Verteilung nachgewiesener bzw. errechneter Verbesserungen auf die aufzubereitenden Beobachtungen, konnten reduzierte und korrigierte Höhenunterschiede gebildet werden.

In der Veröffentlichung der **AdV (1960)** wird geschildert, dass Nebenlinien, wie z. B. Küstenlinien, an Punkte des Grundnetzes mit ausgeglichenen Höhenwerten unter Zwang angeschlossen wurden. Insofern diese angebrachten Linienverbesserungen der Literatur entnommen werden konnten,

wurden die Ausgleichungsverbesserungen aus den Beobachtungen entsprechend dem Grundnetz, herausgerechnet.

Zur Erzeugung von Rohdaten wurden abschließend die angebrachten Reduktionen bestimmt und berücksichtigt. Bei den im Untersuchungsgebiet aufzubereitenden Daten wurde bis auf das Urnivellement immer die normalorthometrische Reduktion (**NOR**) angebracht. Da diese angebrachte Reduktion zu einem Großteil nicht mehr für die aufzubereitenden Beobachtungen zur Verfügung standen, wurden sie mithilfe der verwendeten Formeln erneut berechnet. Hierzu wurde die Lage und Näherungshöhe der Nivellementpunkte benötigt. Nach der Rückrechnung der **NOR** lagen korrigierte Höhenunterschiede vor.

Beobachtungen bei denen Instrumenten- und Lattenkorrekturen berücksichtigt wurden, konnten nicht verwendet werden, da die Korrekturen nicht im erforderlichen Umfang dokumentiert wurden. Durch ihre Herleitung und erneute Berücksichtigung war kein Genauigkeitsgewinn zu erwarten. Weitere Korrekturen, die an den zur Verfügung stehenden Daten angebracht wurden, sind nicht bekannt.

Beim Aufbereitungsprozess sollte gewährleistet werden, dass Punktidentitäten der erfassten Daten über die Punktnummer erkennbar sind. Da sich die Nummerierung der Nivellementpunkte im Laufe der Jahre zwischen den verschiedenen Messkampagnen geändert hat, wurden zur Herstellung von Punktidentitäten ggf. vorhandene Lagekoordinaten oder Lagebeschreibungen genutzt. Bestanden unterschiedliche Punktnummern für ein und denselben Punkt, wurden Identitätslisten angelegt. Da in den Daten des Weiteren Widersprüche vermutet wurden, die auf früheren Erfassungsfehlern oder falschen Punktidentitäten beruhen bzw. bei der Eingabe der zu erfassenden Daten entstanden, wurden im gesamten Aufbereitungsprozess Plausibilitätskontrollen eingebaut. Abschließend wurden alle Punktkennzeichen in einer Identitätsliste erfasst und einer einheitlichen **IKÜS**-Punktnummer zugeordnet.

Ein Großteil der Aufbereitungsarbeiten nahm die Erfassung notwendiger Lageinformationen der Nivellementdaten in Anspruch, da für viele heute zerstörte Nivellementpunkte keine Koordinaten existierten. Mithilfe alter und nachträglich erstellter Linienverzeichnisse konnten sowohl die vorliegenden koordinierten Nivellementpunkte als auch die Nivellementpunkte ohne Lageinformation einer gemeinsamen Linie zugeordnet werden. Mittels Darstellung der bekannten Koordinaten in Kombination mit topografischen Kartenwerken in einem Geoinformationssystem war es möglich, anhand von Straßenverläufen und bekannten Punktabständen fehlende Koordinaten nachträglich zu konstruieren. Als weiteres Hilfsmittel der Digitalisierung dienten analoge Lagebeschreibungen.

2.1.2 Validierung zukünftiger Netzstrukturen

Im klassischen Sinn werden Nivellementnetze zur Realisierung eines festgelegten, definierten Höhenstatus genutzt. Das Nivellementnetz ermöglicht dazu durch geschlossene Linienbeobachtungen die Höhenübertragung auf alle Teile des Landes. Für hohe Genauigkeitsanforderungen, für die Mög-

lichkeit weiterer Verdichtung sowie für eine langfristige Nutzung von Nivellementnetzen ist die Auswahl von Nivellementlinien mit möglichst geringen zeitlichen Höhenänderungen von grundlegender Bedeutung. Die Stabilität der Linien stellt somit ein wichtiges Kriterium zur Auswahl der Nivellementlinien dar, die im Rahmen von Wiederholungsnivellements beobachtet werden sollen.

Die Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland (AdV) hat im April 2005 die Erneuerung des DHHN beschlossen. Erstmals werden neben modernen Präzisionsnivellements epochengleiche GNSS- und Absolutschweremessungen auf ausgewählten Punkten durchgeführt. In der Umsetzungsphase von 2006 bis 2011 werden ca. 21.000 km Nivellementlinien des Höhenetzes 1. Ordnung neu gemessen (Abb. 2-3). Im Jahr 2008 fand zudem eine bundesweite GNSS-Messkampagne mit 250 Bodenpunkten unter Einbeziehung der Referenzstationen verschiedener GNSS-Netze nämlich *International GNSS Service (IGS)*, *EUREF Permanent GPS Network (EPN)*, *Geodätisches Referenznetz (GREF)*, *Satellitenpositionierungsdienst der deutschen Landesvermessung (SAPOS)* statt. Schließlich werden auf 100 der am Nivellementnetz orientierten Repräsentativpunkte Absolutschweremessungen durchgeführt. Die Kombination aller Messungen in einer Epoche ergibt somit für die Zukunft eine für Deutschland bislang einmalige Arbeitsgrundlage für eine mögliche integrative Zusammenführung der Festpunktfelder sowie interdisziplinärer Aufgabenstellungen im Bereich der Geowissenschaften.

Im Gegensatz zu der klassischen Anwendung können Nivellementnetze auch für die Untersuchung

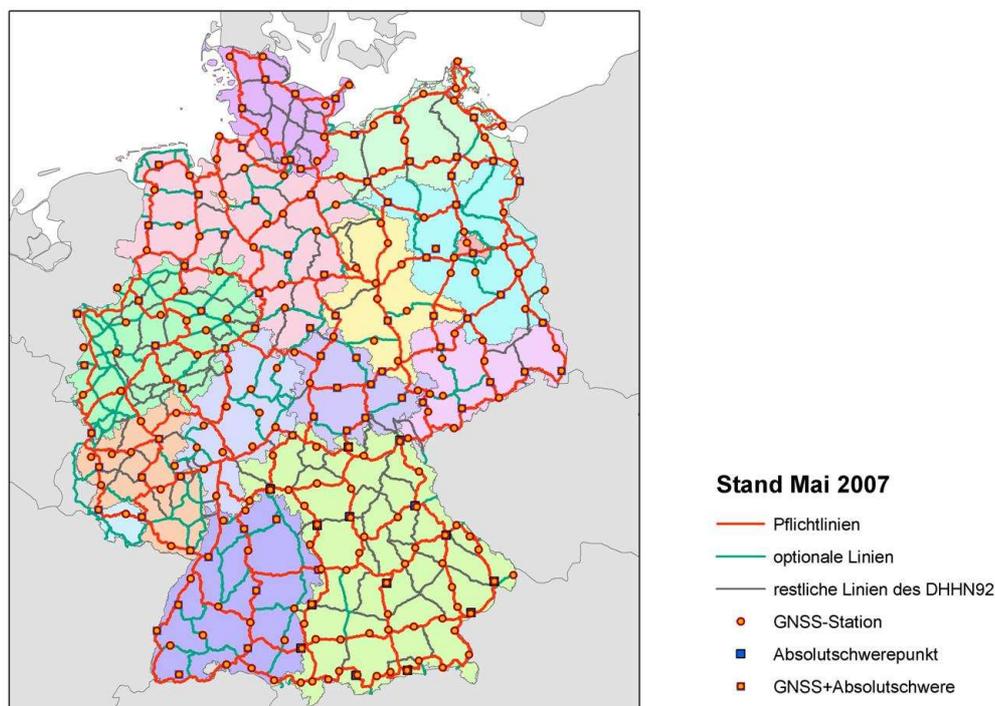


Abb. 2-3: Übersicht über die Erneuerungskampagne des DHHN 2006 – 2011.

von Boden- bzw. Krustenbewegungen über lange Zeiträume herangezogen werden. Für diese speziellen Zielsetzungen werden die vermeintlich stabilen Netze mittels Linien niedriger Ordnung weiter verdichtet. Als Hauptanforderung für Verdichtungsnetze ist die Beobachtung möglichst vieler mit vorhergehenden Epochen identischer Punkte zu nennen. Weiterhin sollten die Nivellementlinien die vermuteten Bewegungsgebiete kreuzen. Vor diesem Hintergrund legt Niedersachsen aus Gründen der Daseinsvorsorge und des Küstenschutzes während der aktuellen Erneuerungskampagne des **DHHN** besonderen Wert auf die Beobachtung von möglichst vielen identischen Repräsentativpunkten des **NKN**.

Eine Betrachtung zukünftiger Nivellementnetzstrukturen und eine entsprechenden Validierung im **IKÜS**-Projekt musste sowohl den Anforderungen eines Nivellementnetzes entsprechen, als auch die Gesichtspunkte der kombinierten **IKÜS**-Auswertung berücksichtigen. Dem im Abschnitt 2.6 geschilderten Konzept der Nivellementauswertung liegen keine Linien zu Grunde, sondern es basiert auf der Bildung von Doppeldifferenzen. Dazu werden wie beschrieben aus Nivellementmessungen eines Jahres einzelne Messepochen gebildet. Statt der Einführung der in den Nivellementmessungen bestimmten Δh werden doppelte Höhendifferenzen $\nabla\Delta h$ gebildet. Diese doppelten Differenzen entsprechen Höhendifferenzänderungen zwischen zwei Messepochen und können somit einfacher in das Modell integriert werden. Die doppelten Differenzen kommen dem Produkt aus der Geschwindigkeitsdifferenz zwischen den Punkten und der Zeitspanne zwischen den Messepochen gleich.

Diese Auswertemethode wird durch die Tatsache charakterisiert, dass keine zusammenhängenden Netze pro Messepoche vorliegen müssen. Ausgehend von identischen Punkten zwischen zwei Messepochen werden in beiden Epochen Züge zwischen den identischen Punkten gebildet und passende Höhendifferenzen zu doppelten Differenzen zusammengefasst.

Eine auf **IKÜS**-Ergebnissen basierende Untersuchung verschiedener Netzcharakteristiken ist demnach nur bedingt sinnvoll, da die Güte der Auswertung direkt von der Informationsdichte, nicht aber vom Netzdesign abhängt. Grundsätzlich kann jedoch festgehalten werden, dass für eine kinematische Analyse des Bewegungsverhaltens der Nordseeküste möglichst viele identische Punkte auch in zukünftigen Epochen vorhanden sein müssen. Nur durch einen Vergleich von Messdaten mehrerer Epochen können relative Oberflächenbewegungen ermittelt werden. Die Aufbereitung der vorliegenden Daten hat gezeigt, dass gerade hier große Defizite vorliegen.

Durch zusätzliche Informationen über bekannte Bodenbewegungsgebiete und ihre Ausdehnung können in Zukunft gezielt Verdichtungsmessungen durchgeführt werden. Im Bezug auf das **IKÜS**-Auswertemodell bieten sich radiale Messrichtungen zum Zentrum des Bodenbewegungsgebietes an. Diese ermöglichen eine optimale Schätzung der Parameter der »Radialen Basisfunktion«.

Die bevorstehende Einführung des neuen Bezugssystems *European Terrestrial Reference System 1989 (ETRS89)*, die Veränderungen in der Netztopologie und in der Anwendung technischer Verfahren sowie die Nutzung des Satellitenpositionierungsdienstes **SAPOS** führten dazu, dass starke Verän-

derungen innerhalb der Arbeitsprozesse des Raumbezugs stattfanden. Die Kernpunkte bilden die aus wirtschaftlichen Gründen geforderte Neustrukturierung des Festpunktfeldes, aber auch die gleichzeitig steigenden Genauigkeitsanforderungen bzw. die höhere Auflösung/Genauigkeit von Geobasisdaten, z. B. für den Hochwasser- und Küstenschutz.

Die rechtlich beabsichtigte und wirtschaftlich notwendige Verringerung der Anzahl der Vermessungspunkte des Raumbezugs von über 100.000 auf wenige Tausend Punkte erschwert die Möglichkeit, Bodenbewegungen zu erkennen und zu dokumentieren. Dies beeinträchtigt den gesetzlichen Auftrag zur Daseinsvorsorge, zur Eigentumssicherung durch das Liegenschaftskataster und erschwert die Bereitstellung des Landesbezugssystems, z. B. für Ingenieurbauprojekte (Jade-Weser-Port, Bahn-Trassen, Hochwasser- und Küstenschutz).

Um trotz der unklaren Zukunft des Festpunktfeldes ein Küstenmonitoring zu gewährleisten, müssen besonders in Bodenbewegungsgebieten vermarktete Vermessungspunkte in höherer Dichte erhalten bzw. neu angelegt werden. Das Einbeziehen von weiteren GNSS-Stationen in die SAPOS-Vernetzung ermöglicht die Ausweitung des bestehenden Monitoringsystem der Referenzstationen auf ein allgemeines Küstenmonitoring. Mittels grafischer und numerischer Darstellung von Informationen könnte ein Monitoringdienst permanent Angaben zum Bewegungsverhalten der Referenzstationen liefern.

Eine zusätzliche Ausweitung des SAPOS-Netzes in der Küstenregion würde zudem die Qualität des Küstenmonitorings beträchtlich steigern. Hierbei spielt die aktuelle Ausrüstung von mehreren Pegelstationen mit moderner GNSS-Technologie eine tragende Rolle (siehe Abschnitt 2.3.3).

Die in den SAPOS-Daten weiterhin enthaltenen tageszeitlichen Variationen durch Bewegungen des Trägergebäudes werden zur Zeit in einem Forschungsprojekt durch Institute der Leibniz Universität Hannover untersucht. Durch diese Analysen soll die Qualität der Referenzstationsdaten aufgezeigt werden, um eine weitere Steigerung der für die Genauigkeit der Höhenkomponente maßgebenden Parameter zu erreichen.

2.2 GNSS

2.2.1 Auswertung der GNSS-Beobachtungen

Das Geodätische Institut der Technischen Universität Dresden war für die Auswertung der GNSS-Beobachtungen (*Global Navigation Satellite System*) verantwortlich. Schwerpunkt war die homogene (Neu-)Ausgleichung der zur Verfügung gestellten GNSS-Beobachtungen der letzten Jahre. Die homogene Reprozessierung sollte mit dem aktuellen Wissensstand bzgl. Ausgleichung regionaler GNSS-Netze durchgeführt werden.

Datengrundlage

Die von den Landesvermessungsämtern zur Verfügung gestellten **GPS**-Beobachtungen (*Global Positioning System*) von **SAPOS**-Stationen umfassten im Wesentlichen einen Zeitraum von 1998 bis 2006 (**GPS**-Woche 967–1408). Die Daten vor 1998 wurden nicht für die Auswertung verwendet, da die Datenqualität nach einer Analyse als nicht ausreichend eingestuft wurde. Zusätzlich wurden weitere Stationen nationaler und internationaler Netze für die Auswertung herangezogen. Das Datenmaterial wurde für eine automatisierte Berechnung entsprechend aufgearbeitet (z. B. Anpassung der Antennenbezeichnungen).

Auswertung

Die Auswertung erfolgte in drei Stufen. Der erste Schritt umfasste fünf **SAPOS**-Stationen mit der bis dato längsten »Laufzeit«. Anhand dieses minimalen Netzes wurde die automatisierte Prozessierung der Daten mit WaSoft/Netz Version 3.33 getestet. Dadurch sollten Probleme bei der Berechnung und der Bereitstellung zusätzlicher Informationen aufgedeckt werden. Im zweiten Schritt wurden 27 Stationen (westliches Niedersachsen) ausgewertet. Im letzten Schritt wurden 38 **GPS**-Stationen:

- 3 **IGS**-Stationen
- 4 **EPN**-Stationen
- 1 **GRAF**-Stationen
- 30 **SAPOS**-Stationen

ausgewertet. Details zur Laufzeit, verwendeten Empfängern und Antennen der einzelnen Stationen sind in Tabelle A-4 zusammengefasst.

Die Prozessierung der **GPS**-Daten wurde unter Verwendung der Software WaSoft/Netz Version 3.33 durchgeführt. Zur Erzielung höchster Genauigkeiten wurden präzise Ephemeriden und Antennenkorrekturen in die Auswertung einbezogen. Die Elevationsmaske wurde auf fünf Grad festgelegt.

Das Ergebnis sind Session- bzw. Tageslösungen in Form von Koordinaten mit vollständiger Kovarianzmatrix. Die Session- bzw. Tageslösungen wurden zu Wochenlösungen, unter Berücksichtigung aller Kovarianzinformationen, zusammengefasst. Im Rahmen des IKÜS-Projektes wurde sich darauf geeinigt, existierende Datenformate für den Austausch bzw. als Schnittstelle für die IKÜS-Datenbank zu verwenden. Im Bereich der GNSS-Auswertung wurde das bereits existierende **SINEX**-Format (*Solution (Software/technique) Independent Exchange*, (**SINEX Working Group 1996**)) für die Weitergabe der Wochenlösungen verwendet.

Die Berechnung der Tages- und Wochenlösungen für das Gesamtnetz (38 Stationen) wurde auf einem handelsüblichen PC – Core 2 Duo mit 2 GHz und 2 GB **RAM** (*Random access memory*)

– durchgeführt und benötigte ca. 180 Stunden ($\approx 7,5$ Tage). Es wurden 441 Wochenlösungen im SINEX-Format erzeugt und in der IKÜS-Datenbank (Abschn. 2.5) für die Kombination der hybriden Messinformationen abgelegt.

Analyse und Interpretation

Im Zuge der Reprozessierung der GPS-Daten wurde auf eine strenge Datumsfestlegung verzichtet. Die absolute Lagerung des GPS-Netzes soll in der kombinierten Auswertung aller Messinformationen (GPS, Nivellement, Schwere) erfolgen. Um im Vorfeld Aussagen bezüglich der horizontalen und vertikalen Stabilität der verwendeten GPS-Stationen treffen zu können, erfolgte eine relative Lagerung des Netzes bezüglich einer einzelnen »stabilen« Station – Wilhelmshaven (0648). Zu dieser Station wurden Residuen, getrennt für die Nord-, Ost- und Höhenkomponente (dN , dE , dH) gebildet. Zusätzlich wurden Veränderungen der GPS-Station durch Antennen- oder Empfängerwechsel sowie

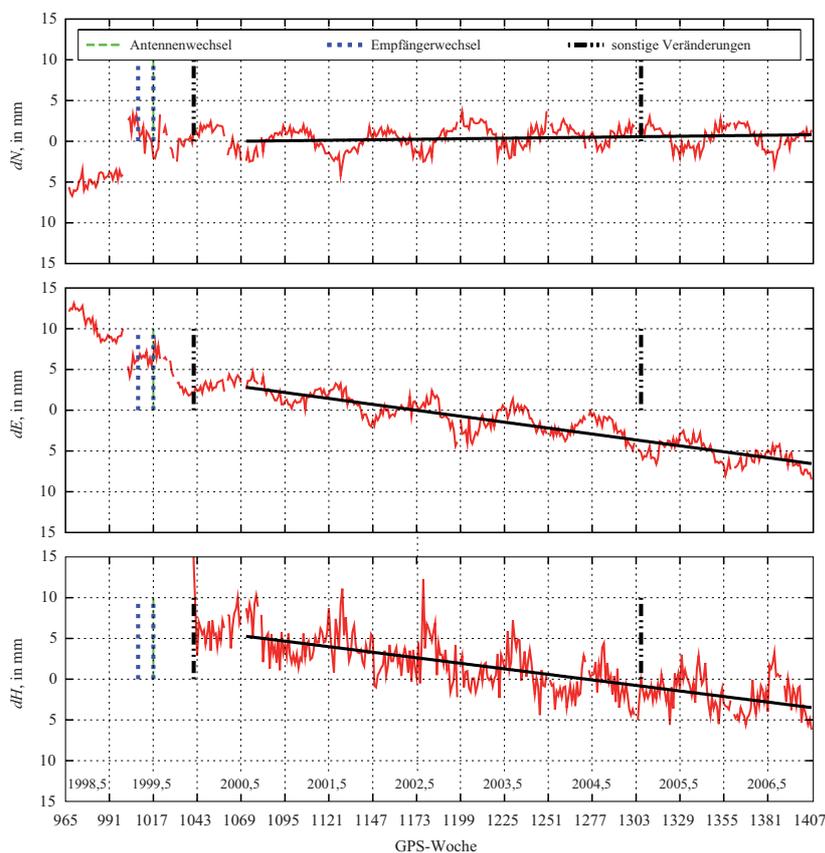


Abb. 2-4: Stationsresiduen der GPS-Station 0647 (Emden), relativ zur Station 0648 (Wilhelmshaven) nach der WaSoft/Netz-Ausgleichung getrennt für die Nordkomponente (oben), Ostkomponente (mitte) und Höhenkomponente (unten). Die vertikalen Striche repräsentieren Stationsveränderungen, wie zum Beispiel durch Antennen- oder Empfängerwechsel bzw. sonstiger Veränderungen (Höhenänderung, Aktualisierung der Empfängersoftware usw.).

sonstige Veränderungen (Höhenänderung, Aktualisierung der Empfängersoftware usw.) berücksichtigt. Ein eventuell vorhandener Trend wird durch eine gegenüber der Horizontalen geneigten Linie in den graphischen Darstellungen gekennzeichnet.

Abbildung 2-4 zeigt dies am Beispiel der SAPOS-Station 0647 (Emden). Die jahreszeitlichen Koordinatenveränderungen der Station können ggf. auf Temperatureffekte im Zusammenhang mit Gebäudebewegungen zurückgeführt werden. Eine mögliche Ursache für den negativen Trend der Höhenkomponente ist die Gasentnahme im Groninger Gasfeld. Zeitreihen weiterer GPS-Stationen sind in den Abbildungen A-2 – A-9 im Anhang dargestellt.

Die Trendberechnung wurde, falls das Datenmaterial für eine solche Schätzung ausreichend war, für alle beteiligten Stationen durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Abbildung 2-5 dargestellt. Die Stationen im Bereich der Ems weisen einen negativen Trend in der Höhenkomponente auf. Dies kann auf die Gasentnahme im Groninger Gasfeld zurückgeführt werden. Ursachen für die Höhenänderung (positiv/negativ) der anderen Stationen konnten nicht gefunden werden. Nur für die Station Emden (0647) konnte eine Lageänderung festgestellt werden.

Neben der Ableitung von Lage- und Höhentrends aus den relativen Residuen bzgl. der Station Wilhelmshaven (0648) wurden jahreszeitliche Effekte in den Residuen festgestellt – vgl. Abb. 2-4. Diese »jahreszeitlichen Schwankungen« konnten beim überwiegenden Teil der Stationen, in der Höhenkomponente und bei einigen Stationen in der Lage erkannt werden (Abb. 2-6). Zum großen Teil sind diese Effekte auf Gebäudebewegungen infolge von jahreszeitlichen Temperaturänderungen zurückzuführen.

Zwei Beispiele für jahreszeitliche Perioden in der Lagekomponente sind in Abbildung 2-7 dargestellt. Die berechnete Änderung zwischen Sommer und Winter wurde mit der Gebäudeausrichtung verglichen. Es wird deutlich, dass es sich bei den jahreszeitlichen Schwankungen größtenteils um Effekte durch Temperaturänderungen zwischen Sommer und Winter handelt. Zwei weitere Beispiele sind in der Abbildung A-1 im Anhang dargestellt.

2.2.2 Entwicklung einer mehrwegeresistenten Referenzstation

Gegenstand der Untersuchungen war die Entwicklung und Validierung einer mehrwegeresistenten Referenzstation. Mehrwegeausbreitung bedeutet, dass nicht nur das Satellitensignal direkt die Empfangsantenne erreicht, sondern auch in der Empfangsantennenumgebung reflektierte Signale, die sich dem direkten Signal überlagern. Der Einfluss auf die L1 und L2 Phasenmessungen liegt im Bereich Millimeter bis wenige Zentimeter. Er verstärkt sich aber in der ionosphärenfreien Linearkombination L0 im statistischen Mittel um den Faktor drei. Aufgrund der sich mit der Satellitenbewegung ändernden Umweglängen haben die Mehrwegeeffekte einen stark periodischen Charakter. Für statische Empfänger ergeben sich typische Perioden von Stunden bei einem Abstand von Reflektor zu Antenne von weniger als einem Meter. Bei größerem Abstand ergeben sich kürzere Perioden

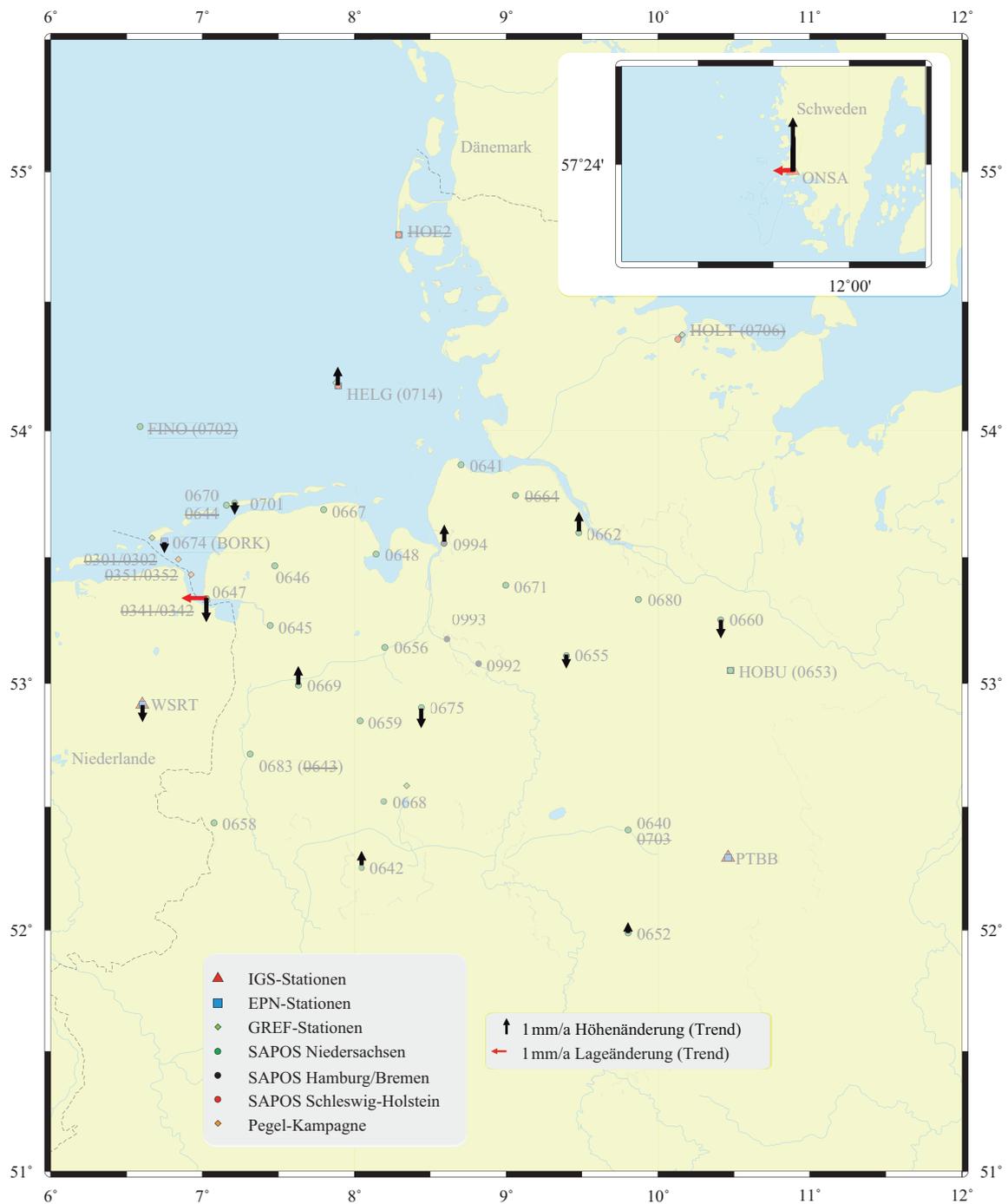


Abb. 2-5: Änderungen der GPS-Stationen (Trend in Lage und Höhe) auf der Grundlage der relativen Residuen (zur Station 0648). Durchgestrichene Stationsnamen kennzeichnen Stationen, für die eine Schätzung aufgrund der Datengrundlage nicht möglich war.

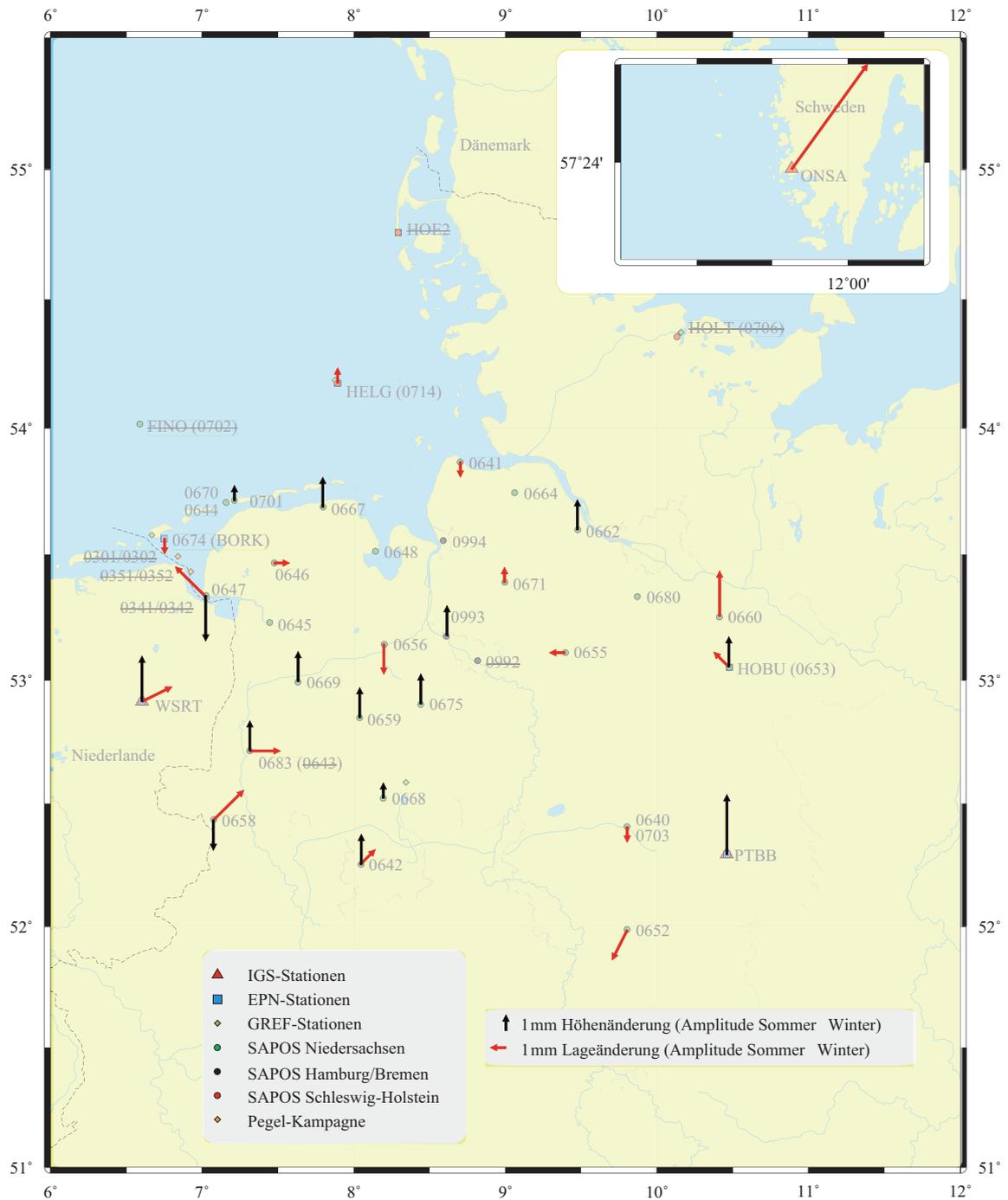


Abb. 2-6: Jahreszeitliche Änderungen der GPS-Stationen auf der Grundlage der relativen Residuen (zur Station 0648). Durchgestrichene Stationsnamen kennzeichnen Stationen, für die eine Schätzung aufgrund der Datengrundlage nicht möglich war.

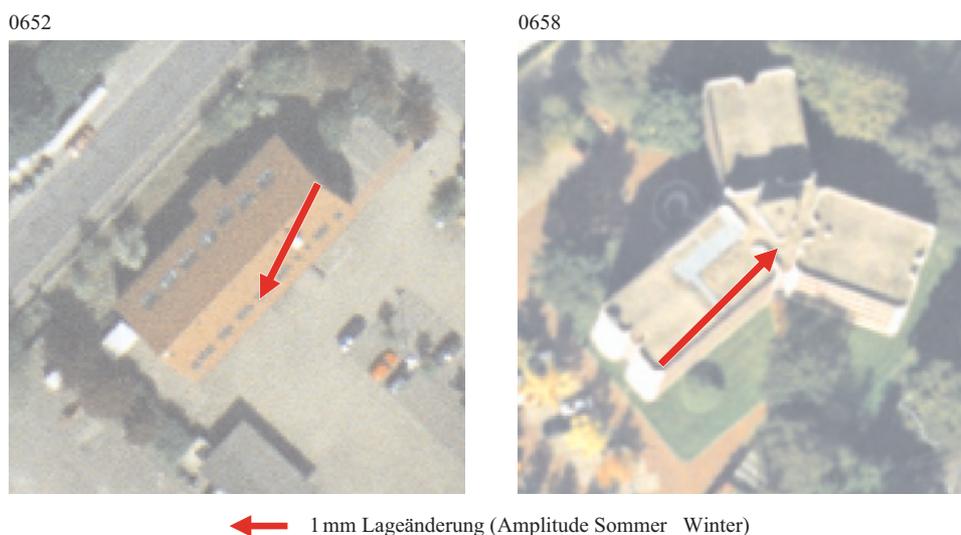


Abb. 2-7: Jahreszeitliche Schwankungen in der Lagekomponente für die SAPOS-Stationen 0652 (Alfeld) und 0658 (Nordhorn) aufgrund von Temperatureinwirkungen auf das Gebäude (Bildquelle: LuftbildNAVIGATOR Niedersachsen).

(Georgiadou und Kleusberg 1988).

Dementsprechend mitteln sich große Anteile der Mehrwegeeffekte aufgrund weit entfernter Reflektoren bei längerer Messdauer heraus. Restabweichungen auf Millimeterniveau sind aber trotzdem möglich (Wanninger 2003). Noch problematischer sind die sehr langperiodischen Mehrwegeefflüsse aus dem direkten Nahfeld der Antenne (z. B. durch Pfeiler- oder Stativoberkante, (Wübbena u. a. 2003)). Sie lassen sich kaum durch verlängerte Messdauer minimieren und wirken direkt auf die Koordinaten. Die Höhenkomponente der Koordinaten ist davon besonders betroffen.

Zur Verringerung des Mehrwegeefflusses wurde ein Antennenprototyp entwickelt, der sich aus drei Septentrio PolaNt Antennen auf einer gemeinsamen Grundplatte zusammensetzt (Abb. 2-8). Es wird davon ausgegangen, dass die Antennen durch den selben Reflektor, aber aufgrund der Geometrie zeitlich versetzt, beeinflusst werden. Zudem wurde eine Software entwickelt, die es ermöglicht, die RINEX-Beobachtungen (*Receiver Independent Exchange*, (Gurtner 2002)) der Einzelantennen im Nachgang zu einer einzelnen RINEX-Beobachtungsdatei zusammenzufassen.

Das Ziel der Zusammenfassung der einzelnen Beobachtungsdateien ist die Verringerung des Mehrwegeefflusses in der resultierenden Beobachtungsdatei. Für diesen Zweck wurde ein Gewichtungsansatz entwickelt, der auf den Messungen der (normierten) Signalqualität – Signal-Rausch-Verhältnis (S/N_0) bzw. Träger-Rausch-Verhältnis (C/N_0) – beruht. Unter bestimmten Voraussetzungen (einzeln horizontaler Reflektor, erste Frequenz) ist es möglich, den Phasenmehrwegefehler anhand der gemessenen Signalqualität zu berechnen (Rost und Wanninger 2009). Abbildung 2-9 zeigt den Vergleich berechneter Doppeldifferenzen einer kurzen Basislinie (26 m), die zum einen mit L1 Phasen-



Abb. 2-8: Entwickelter Antennenprototyp zur Verringerung des Mehrwegeinflusses auf Referenzstationen.

beobachtungen und zum anderen mit dem geschätzten Phasenmehrwegefehler (abgeleitet von der Signalqualität) berechnet wurden. Die Residuen der Doppeldifferenzen aus L1 Phasenbeobachtungen beinhalten im Wesentlichen den Phasenmehrwegefehler und können für einen Vergleich herangezogen werden.

Durch das Zusammenfassen der drei Beobachtungsdateien mittels Gewichtung, basierend auf der Signalqualität, kann der Einfluss des Phasenmehrwegefehlers in der resultierenden Beobachtungsdatei verringert werden. Dadurch kommt es zu einer Verbesserung der Positionslösung, was anhand von Einzelepochenresiduen nachgewiesen werden konnte (Abb. 2-10).

Die Standardabweichung der Höhenkomponente der Einzelepochenlösung konnte für die zusammengefasste Station (merg) verringert werden. Allerdings ist die Verbesserung gegenüber der »besten« Einzelstation vergleichsweise gering. Dies kann auf die Komplexität der Stationsmehrwege zurückgeführt werden. Wie zuvor beschrieben wird bei der Gewichtung von einem dominanten Mehrwegesignal ausgegangen. Dies ist aber in den seltensten Fällen zutreffend. Häufig findet eine Überlagerung mehrerer indirekter Signale, die an verschiedenen Reflektoren erzeugt wurden, mit

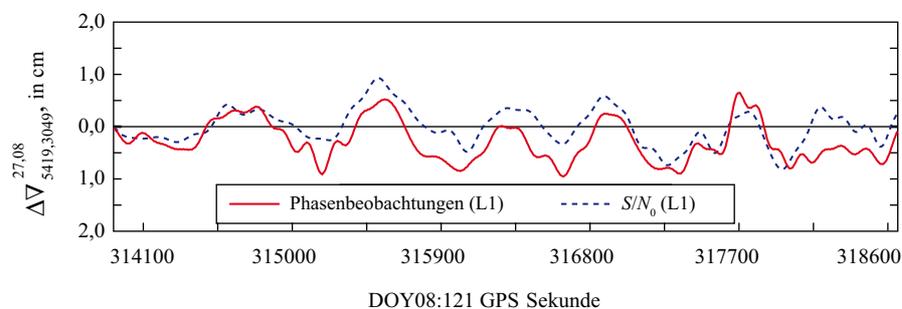


Abb. 2-9: Vergleich berechneter Doppeldifferenzen, die zum Einen aus L1 Phasenbeobachtungen und zum Anderen anhand des aus der Signalqualität geschätzten Phasenmehrwegefehlers.

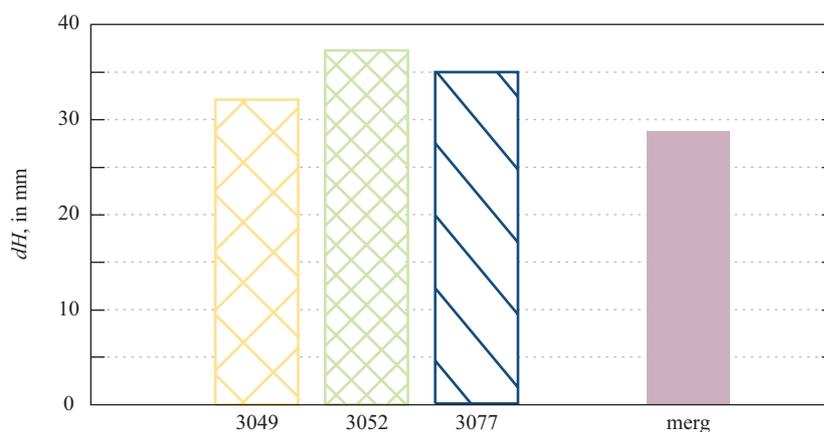


Abb. 2-10: Gegenüberstellung der Standardabweichung der Einzelepochenlösungen für die Höhenkomponente der »Einzelstationen« (3049, 3052, 3077) und der zusammengefassten Station (merg).

dem direkten Signal statt. Diese Komplexität kann in dem entwickelten Ansatz nicht berücksichtigt werden.

2.2.3 Erfassung von Mehrwegeänderungen infolge von Antennenwechseln

Bei GNSS-Messungen treten systematische Messabweichungen durch Mehrwegeeinflüsse (und Restabweichungen der Antennenkalibrierungen) auf, die in ihrer Wirkung auf die Höhenkoordinate die Größenordnung 1 cm erreichen können. Sie werden insbesondere bei Antennenwechseln auf Referenzstationen offensichtlich. Solange keine Technik angewendet wird, mit der der Einfluss von Mehrwegeeinflüssen auf GNSS-Phasenmessungen von Referenzstationen deutlich vermindert werden kann, ist ein Verfahren zur Erfassung der Mehrwegeveränderungen bei einem Antennenwechsel sinnvoll.

Bei den meisten Antennenwechseln auf GNSS-Referenzstationen verändern sich die Mehrwegeeinflüsse auf die Beobachtungsgrößen, da Antennen unterschiedlicher geometrischer Dimensionen (insbesondere unterschiedliche Durchmesser der Grundplatten, Antennen mit und ohne Choke

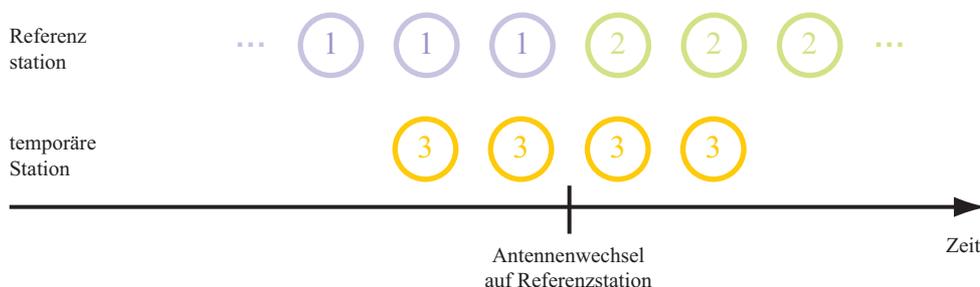


Abb. 2-11: Messaufbau zur Erfassung von scheinbaren Positionsänderungen bei einem GNSS-Antennenwechsel.

Ringe) eingesetzt werden. Weiterhin ändern sich vielfach auch die Antennenhöhe und der Antennenunterbau. Hinzu kommt, dass Antennen aufgrund ihrer Signalempfangeigenschaften auch unterschiedlich mehrwegeempfindlich sein können. Alle auf den ersten Blick auch noch so kleinen Veränderungen an der Antenne ziehen nach sich, dass die Mehrwegeeinflüsse unterschiedlich auf die Beobachtungsgrößen und damit auch auf die Koordinatenergebnisse wirken. Da Mehrwegeeffekte von der Signalfrequenz abhängig sind, müssen die Einflüsse getrennt nach Frequenzen betrachtet werden.

Bei dem hier vorgeschlagenen Ansatz wird davon ausgegangen, dass alte und neue Antenne vertikal über derselben Vermarkung positioniert sind. Eine Veränderung der Position des Antennenphasenzentrums wird dann im Wesentlichen auf geometrische Veränderungen der unterschiedlichen Antennenkonstruktionen und ggf. auf eine Änderung der Antennenhöhe (vertikale Strecke Vermarkung – Antennenreferenzpunkt) zurückzuführen sein und sich nur auf die vertikale Koordinatenkomponente beziehen. Es sind zusätzliche Messungen einer temporären Station notwendig, die für einige Tage vor und nach dem Antennenwechsel in geringer Entfernung (1 – 100 m) zur Referenzstation betrieben werden muss (Abb. 2-11).

Aus den Beobachtungsdaten der kurzen Basislinien von der temporären Station zur Referenzstation mit alter Antenne bzw. zur Referenzstation mit neuer Antenne können dann Beobachtungskorrekturen berechnet werden, die die Auswirkungen des Antennenwechsels exakt erfassen (Wanninger 2009).

Die Basislinienresiduen der Messsignale L1 und L2 der kurzen Basislinien vor und nach dem Antennenwechsel werden getrennt modelliert. Anschließend wird die Differenz der beiden Modelle bestimmt. Als mathematischer Ansatz dienen Kugelfunktionsentwicklungen von z. B. Grad 8 und

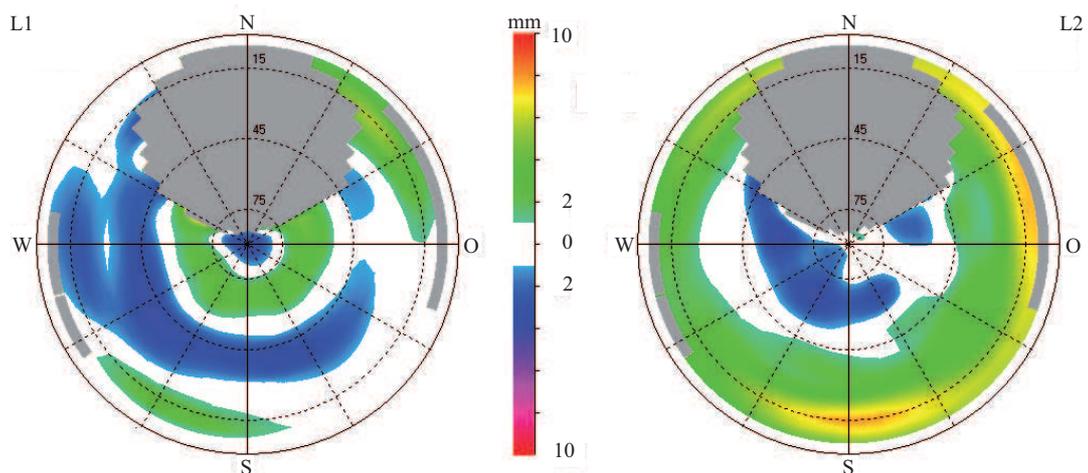


Abb. 2-12: Beobachtungskorrekturen für GPS-Signale L1 und L2 für die alte Antenne Dresden in Bezug auf die neue Antenne.

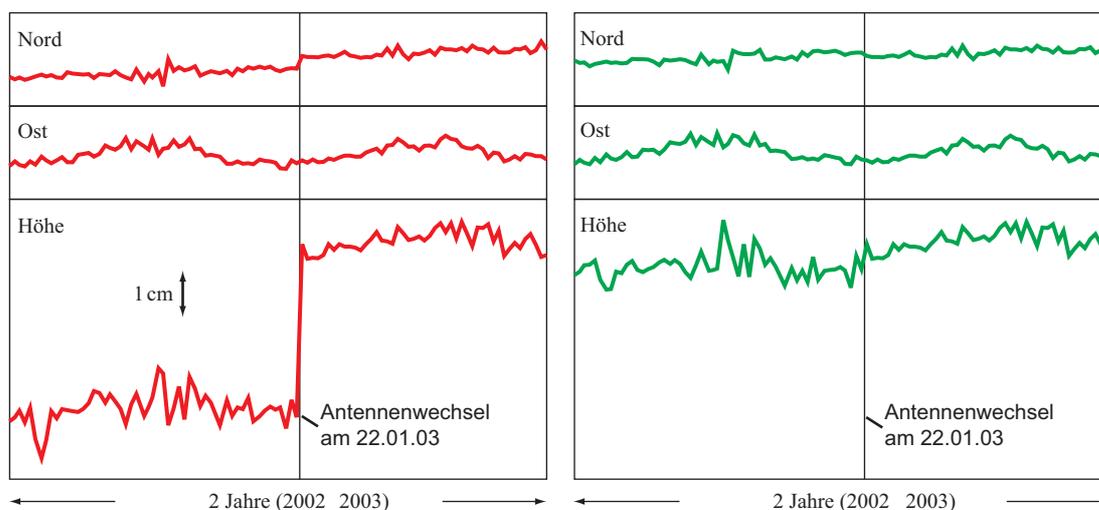


Abb. 2-13: Wochenpositionslösungen für Dresden im Netz umliegender Referenzstationen, ohne (links) und mit (rechts) Berücksichtigung von Beobachtungskorrekturen.

Ordnung 5. Damit werden ganz bewusst nur großräumigere, d. h. langperiodische Anteile der Mehrwegeeffekte erfasst, also insbesondere die Anteile aus dem Antennennahfeld, die auf die langzeitige Koordinatenbestimmung wirken. Ein Beispiel zeigt Abbildung 2-12, bei der die Mehrwegeveränderungen (und auch Differenzen der Antennenkorrektionsrestfehler) eines Antennenwechsels der Referenzstation DRES im Jahr 2003 dargestellt werden. Bei diesem Antennenwechsel lagen – eher zufällig – die zur Modellierung notwendigen zusätzlichen lokalen Messungen vor. Die Modellierung erfolgt in Abhängigkeit des Einfallswinkels der Satellitensignale getrennt nach L1 und L2.

Die Korrekturen aus Abbildung 2-12 wurden auf die Beobachtungsdaten von vor dem Antennenwechsel angewendet. Ihre Wirkung ist in Abbildung 2-13 dargestellt. Die scheinbare Veränderung der Stationshöhe aufgrund des Antennenwechsels von 3,7 cm konnte durch diesen Modellierungsansatz praktisch vollständig beseitigt werden.

2.3 Pegel

2.3.1 Geodätische Arbeiten der Bundesanstalt für Gewässerkunde

Hauptnivelements der BfG und Punktidentitäten

Viele Arbeiten der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV), wie z. B. Neubau- und Unterhaltungsmaßnahmen, setzen einwandfreie Höhen- und Lagebestimmungen voraus.

Mit der Entwicklung verbesserter technischer Möglichkeiten im Wasserbau zu Beginn des 19. Jahrhunderts wurden zur Schaffung gleichmäßiger Fahrwassertiefen für die Schifffahrt, zum Schutz

der Niederungen gegen Hochwasser, zum ungehinderten Hochwasserabfluss und den damit verbundenen hydraulischen Berechnungen und der Vergleichbarkeit von Wasserständen verschiedener Pegel, Forderungen nach genauen Höhen in einem einheitlichen Referenzsystem gestellt.

Aus dieser Notwendigkeit heraus wurde 1891 das (Preußische) Büro für Hauptnivellements und Wasserstandsbeobachtungen gegründet, welches 1928 in der (Preußischen) Landesanstalt für Gewässerkunde und Hauptnivellements aufging und aus dem sich nach dem 2. Weltkrieg schließlich die Bundesanstalt für Gewässerkunde **BfG** entwickelt hat.

Eine Kernaufgabe des Referates Geodäsie der **BfG** besteht in der Durchführung von Hauptnivellements entlang der Bundeswasserstraßen und im Küstenbereich. Die Hauptnivellements werden in Form von Feinnivellements durchgeführt und unterscheiden sich in technischer Hinsicht nicht von denen der Landesvermessung. Prinzipiell werden die Hauptnivellements an die amtlichen Höhenetze der Landesvermessung angeschlossen. Aus diesem Grund wurden alle verfügbaren Nivellementkampagnen der **BfG** im Küstenbereich aufbereitet und in die IKÜS-Datenbank (**IKÜS-DB**) eingearbeitet. Je nach Zeitpunkt der Messepochen wurden dafür z. T. analoge Messblätter digitalisiert oder bereits digital verfügbare Daten mit Metadaten versehen.

Um eventuell auftretende Digitalisierungsfehler zu minimieren, wurden die originalen Feldbuchbezeichnungen übernommen. Je nach Kampagne, Zeitpunkt und beobachtender Behörde verfügen die bestimmte Punkte über verschiedene Feldbuchbezeichnungen. Weiterhin wurden die Pegelnull- und Pegelfestpunkte mit in die Datenbank aufgenommen. Aus diesem Grund wurden zehn unterschiedliche Bezeichnungsschlüssel festgelegt. Alle verschiedenen Punktbezeichnungen sind nach bestimmten Schemata zusammengestellt, welche im Anhang **A-3** anhand von Beispielen erläutert sind.

Das System Pegel und Kontrollen der Höhenlagen

Die von der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (**LAWA**) und dem Bundesministerium für Verkehr (**BMV**) herausgegebene Pegelvorschrift (**PV**, (**LAWA und BMV 1997**)) versteht unter dem Begriff Pegel eine Einrichtungen zum Messen von Wasserständen. Die maßgebenden Teile eines Pegels sind laut **PV** ein Lattenpegel und mindestens drei zugehörige Pegelfestpunkte (**PFP**). Der Nullpunkt der Pegellatte wird als Pegelnullpunkt (**PNP**) bezeichnet. Bauliche Einrichtungen und Geräte für die kontinuierliche Erfassung und Registrierung, Anzeige und Fernübertragung der Wasserstände sowie Einrichtungen zur Erfassung weiterer hydrologischer Größen gelten als ergänzende Einrichtungen der Pegel (**LAWA und BMV 1997**).

Sollhöhenunterschiede dH_{Soll} sind definiert als Höhendifferenzen zwischen Pegelfest- und Pegelnullpunkten, die bei einer erstmaligen Einrichtung des Pegels festgelegt werden. Die Pegelfestpunkte sollen die Vertikalbewegungen der näheren Umgebung und damit auch des Pegels repräsentieren. In der Realität führen die **PFP** z. T. unterschiedliche Vertikalbewegungen aus. Aufgrund von Erfahrun-

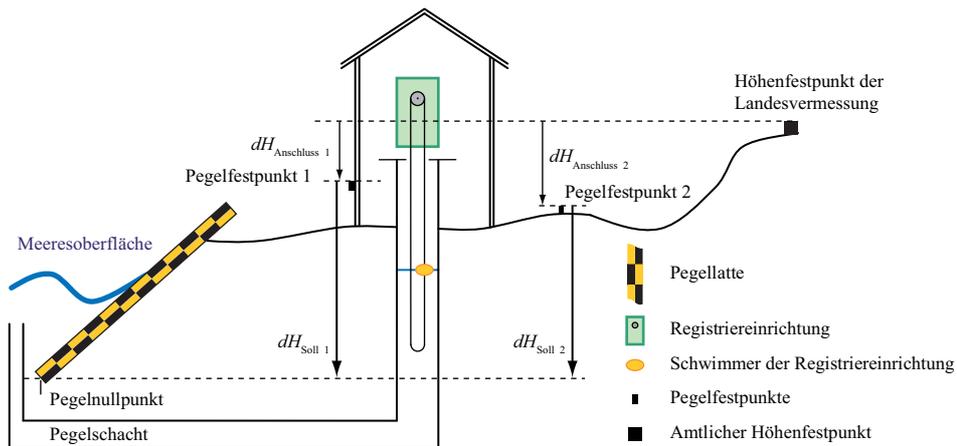


Abb. 2-14: Prinzipieller Aufbau einer Pegelanlage.

gen und lokalen Gegebenheiten ist in solchen Fällen mindestens ein PFP als repräsentativ festzulegen. In Abbildung 2-14 ist der prinzipielle Aufbau einer Pegelanlage dargestellt.

Der Begriff »Prüfung der Höhenlage« wird in der Pegelvorschrift (LAWA und BMV 1997, Anlage C) definiert. Nach dieser Vorgabe sollen aller zwei Jahre, oder bei vermuteter Änderung wie etwa durch Beschädigung oder nach starker Vereisung auch umgehend die Höhenunterschiede zwischen mindestens zwei Pegelfestpunkten und den Pegelnullpunkten bestimmt und mit den Sollhöhenunterschieden dH_{Soll} verglichen werden. Mit einer Prüfung der Höhenlage wird demnach die innere

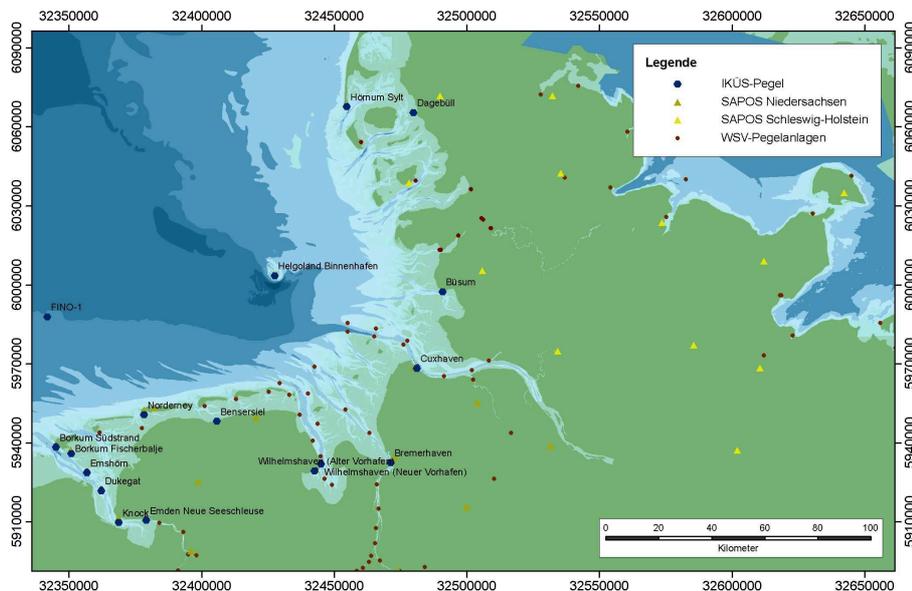


Abb. 2-15: Pegelanlagen, deren Daten im Rahmen von IKÜS aufbereitet wurden.

Geometrie der Pegelfest- und Pegelnullpunkte überprüft. Überschreiten die Abweichungen zwischen real gemessenen Höhendifferenzen und festgelegten Sollhöhenunterschieden dH_{Soll} 10 mm, ist die Pegellatte zu korrigieren. Im Küstenbereich beträgt die zulässige Abweichung in besonderen Fällen (exponierte Pegel) 20 mm (LAWA und BMV 1997).

Im Rahmen von IKÜS wurden die Daten der in Abbildung 2-15 dargestellten Pegelanlagen aufbereitet und die tatsächliche Höhenlage der Pegelnullpunkte in Bezug auf die Pegelfestpunkte zum jeweiligen Zeitpunkt erfasst. Hierzu wurden Messprotokolle, amtlichen Niederschriften bzw., sofern keine anderen Informationen vorhanden, die gebundenen Pegelstammbücher genutzt. In alten Stammbüchern sind lediglich die Widersprüche zwischen gemessenen Höhendifferenzen und den Sollhöhenunterschieden dH_{Soll} protokolliert. Existieren im gleichen Pegelstammbuch auch Informationen über die zu diesem Zeitpunkt gültigen Sollhöhenunterschiede dH_{Soll} , lassen sich gemessene Höhendifferenzen ableiten. Aufzeichnungen über regelmäßige Kontrollen der Höhenlage existieren seit ca. 1935. Je nach Wichtigkeit des Pegels und dem verantwortlichen Wasser- und Schifffahrtsamt wurden die Kontrollen in unterschiedlichen Zeitabständen durchgeführt. Wichtige Pegel (Pegelgruppe a) wurden jährlich kontrolliert, während bei Pegeln der Gruppe b ein zweijähriges Intervall die Regel war.

Anschlussmessungen der Pegel

Durch einen Anschluss an ein amtliches Höhenreferenzsystem wird ein Pegelnullpunkt georeferenziert, also dessen Höhenlage in Relation zu einem übergeordneten Höhenreferenzsystem bestimmt. Erst mit einer entsprechenden Georeferenzierung ist die Vergleichbarkeit verschiedener Pegel möglich. Eine Analyse langfristiger Wasserstandsänderungen (z. B. als ein Indikator für Klimaänderungen (Jensen und Mudersbach 2004)) setzt voraus, dass die Höhenlagen der Pegel und damit auch der Pegelnullpunkte während der gesamten Beobachtungsdauer konstant bzw. bekannt sind. 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 Millimetern pro Jahr annehmen können. Die unerkannten oder nicht berücksichtigten Vertikalbewegungen der Pegel führen zu scheinbaren Wasserstandsänderungen und kausal hydrologisch bzw. klimabedingte Wasserstandsänderungen können nicht nachgewiesen werden. Die Pegelvorschrift trägt diesem Sachverhalt mit der Forderung nach regelmäßigen Anschlussnivellements der Pegel an die übergeordneten Nivellementnetze der Landesvermessung Rechnung (LAWA und BMV 1997).

Historisch bedingt existieren verschiedene Realisierungen entsprechender amtlicher Höhenreferenzsysteme, die sich in Größenordnungen einiger Zentimeter 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.

Derzeit findet eine Erneuerungsmessung des Deutschen Haupthöhennetzes **DHHN** statt, die erstmals nach einheitlichen Kriterien für Gesamtdeutschland durchgeführt wird (**AdV 2007**). Nach 2011 werden aktuelle Höhen der Anschlusspunkte und in Verbindung mit erneut ausgeführten Anschlussnivellements auch aktuelle Höhenangaben von Pegelfestpunkten verfügbar sein. Da Zeitreihenanalysen der Wasserstandsdaten nur in einem einheitlichen Höhensystem möglich sind, müssen die historischen und aktuellen Höhenangaben der Pegelfest- und damit auch der Pegelnullpunkte, in ein zeitlich und örtlich homogenes Höhenreferenzsystem überführt werden.

Die Auswirkungen eines Systemwechsels lassen sich am Pegel Helgoland verdeutlichen. Aufgrund seiner Hochseelage war es bis vor einigen Jahren nicht möglich, eine Höhenübertragung zwischen dem damals amtlichen Höhenreferenzsystem (Normalnull) des Festlandes und der Insel Helgoland zu realisieren. Aus diesem Grund wurde ein als Helgoländer Null (**HN**) bezeichnetes Höhenreferenzsystem als Insellösung eingeführt und der **PNP** des Pegels Helgoland auf **HN** $-5,000$ m festgesetzt. Vor wenigen Jahren erfolgte eine satellitengestützte Höhenübertragung des amtlichen Höhenreferenzsystems Normalnull (**NN**) nach Helgoland, in deren Folge allen Landespunkten und Pegelfestpunkten neue Höhen, bezogen auf **NN**, zugewiesen wurden. Vom zuständigen Wasser- und Schifffahrtsamt wurde 2001 die Höhenlage des **PNP** von **HN** $-5,000$ m auf **NN** $-5,000$ m geändert. Die Höhenangaben im System **HN** liegen $0,27$ m über den Höhenangaben im System **NN**, was eine Absenkung der Pegellatte um $0,27$ m zur Folge hatte. Die am Pegel erfassten Wasserstände weisen daher ab dem Verschiebedatum (16.09.2001) einen Sprung von $0,27$ m auf. Die Auswirkung auf die erfassten Wasserstände sind in den Abbildungen 2-16 dargestellt. Im Fall des Pegels Helgoland ist die Verschiebung der Pegellatte aufgrund der Größenordnung der Verschiebung innerhalb der Wasserstandszeitreihen eindeutig. Die Mehrzahl der sich aus Änderungen der Höhenreferenzsysteme ergebenden Änderungen bewirken eine systematische Verschiebung der Pegelnullpunkte von einigen Zentimetern, die innerhalb der Wasserstandszeitreihen aufgrund der großen Streuung nicht sichtbar sind, aber dennoch berücksichtigt werden müssen.

Neben der Vorgabe, dass im Küstenbereich bei der erstmaligen Festlegung der **PNP** eine Höhenlage von **NN** $-5,000$ m aufzuweisen hat, schreibt die Pegelvorschrift weiterhin vor, dass die Sollhöhenunterschiede dH_{Soll} und somit auch die geometrischen Beziehungen innerhalb der Pegel möglichst erhalten bleiben sollen. Bei Höhenänderungen der **PNP** führt dies zwangsläufig zu einem Widerspruch. In dessen Folge kam es zu unterschiedlichen Interpretationen der Pegelvorschrift bezüglich der Erhaltung der Höhenlage des **PNP** und dem Umgang mit wechselnden Höhenreferenzsystemen. Die bisherigen Vorgehensweisen bei festgestellten Höhenänderungen bestehen einerseits in einem mechanischen Verschieben der Pegellatte und damit verbundenen Änderungen der Sollhöhenunterschiede dH_{Soll} und andererseits in einer Änderung von Höhenangaben der **PNP** bei gleichzeitiger Beibehaltung der Sollhöhenunterschiede dH_{Soll} . Im Laufe der Zeit wurden am selben Pegel beide

Verfahren praktiziert. Die Folge sind heterogene Datenbestände, die aus geodätischer Sicht, nicht für den Nachweis säkularer Wasserstandsänderungen geeignet sind.

Aufbereitung der geodätischen Pegelinformationen

Die Pegelfestpunkte sind laut Pegelvorschrift repräsentativ für die Vertikalbewegungen des Pegels. Wie bereits beschrieben, ist bei unterschiedlichen Vertikalbewegungen ein Pegelfestpunkt als repräsentativ festzulegen (im Allgemeinen handelt es sich dabei um einen tief gegründeten Rohrfestpunkt). Aufgrund von Fehlinterpretationen der Pegelvorschrift wurden z. T. Pegelnullpunkthöhen trotz Höhenänderungen der Pegelfestpunkte (z. B. durch neue Messkampagnen) durch Verschieben der Pegellatte auf **NN** $-5,000$ m gehalten, wodurch sich die Sollhöhenunterschiede dH_{Soll} änderten. Hinzu kommt, dass auch bei Standortverlagerungen bzw. Umbauten an Pegeln die Pegelnullpunkte häufig wieder auf eine Höhenlage von **NN** $-5,000$ m eingestellt wurden.

Im Rahmen von **IKÜS** wurden die geodätischen Pegelinformationen soweit aufbereitet, dass die Forderung nach einer konstanten geometrischen Beziehung zwischen repräsentativen Pegelfest- und Pegelnullpunkten (konst. Sollhöhenunterschiede dH_{Soll}) erfüllt ist und gleichzeitig die realen Höhenlagen der Pegelnullpunkte abgebildet werden. Praktisch bedeutet dies Korrekturen von Lattenverschiebungen über Offsets, die zu den erfassten Wasserständen zu addieren sind. Für den Fall einer nach unten verschobenen Pegellatte bedeutet dies, dass die erfassten Wasserstände über dem Pegelnullpunkt nach der Lattenverschiebung zu groß sind und daher die Offsets negative Beträge aufweisen (Wasserstand wird verkleinert). Die Kombination der konstant gehaltenen Sollhöhenunterschiede und der Offsets bilden die reale Höhenlage der Pegelnullpunkte gegenüber den Pegelfestpunkten ab.

In Tabelle 2-2 ist die Situation für den Pegel Norderney exemplarisch dargestellt, wobei die Höhenangaben des Pegelfestpunktes 1 in dieser Tabelle den amtlichen Höhen entsprechen. Im Verlauf der Zeit wurden auf Norderney Pegel am Standort Hafen und Riffgat (Abb. 2-17) betrieben.

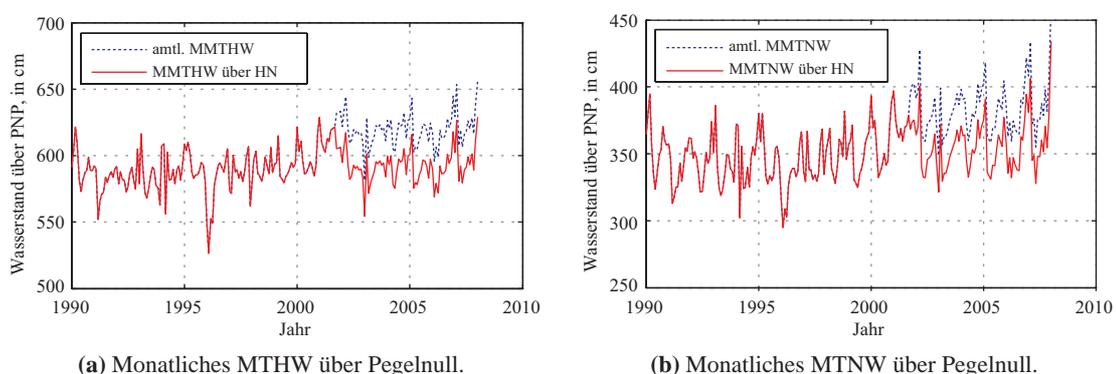


Abb. 2-16: Auswirkung des Systemsprungs von **HN** zu **NN** auf die ermittelten Wasserstände am Beispiel des Pegel Helgoland.

Tab. 2-2: Höhen- und Sollhöhenunterschiede des Pegelfestpunktes 1 am Pegel Norderney.

Datum	Standort Pegellatte	Höhe der Landesverm. in m	WSA		IKÜS		Offset in m
			dH_{Soll} in m	PNP in m	dH_{Soll} in m	PNP in m	
1935	Hafen	5,014	-10,014	-5,000	-10,014	-5,000	0,000
1957	Hafen	4,999	-10,014	-5,015	-10,014	-5,015	0,000
1957	Riffgat	4,999	-9,999	-5,000	-10,014	-5,015	0,015
1984	Riffgat	4,968	-9,968	-5,000	-10,014	-5,046	0,046
1994	Riffgat	4,981	-9,968	-4,987	-10,014	-5,033	0,046

Beim Aufbau des Pegels Norderney Riffgat wurde dessen Nullpunkt auf eine Höhenlage von **NN** -5,000 m festgelegt, obwohl zeitgleich die Höhenlage des Pegelnullpunktes Hafen eine Höhenlage von **NN** -5,015 m aufwies. Zwangsläufig müssen daher die am Pegel Riffgat erfassten Wasserstände um 15 mm von den am Pegel Hafen erfassten Wasserstände abweichen (dessen Pegelnullpunkt liegt mit **NN** -5,015 m tiefer). Für eine Auswertung der gesamten Zeitreihe des Pegels Norderney (Hafen und Riffgat) müssen die Pegelnullpunkte in Bezug auf den Pegelfestpunkt 1 auf dem gleichen Niveau liegen und damit die entsprechenden Sollhöhenunterschiede konstant bleiben. Werden die Sollhöhenunterschiede dH_{Soll} zwischen den Pegelnullpunkten am Standort Hafen bzw. Riffgat und dem Pegelfestpunkt 1 konstant gehalten, ergeben sich die in Tab.2-2 dargestellten Pegelnullpunkte.

Über die alle zwei Jahre durchgeführten Kontrollen der Höhenlagen werden zusätzlich die Fehllagen der Pegellatten erfasst. Sofern die Fehllagen der Pegellatten und damit die Abweichungen real gemessener Höhenunterschiede gegenüber den amtlich festgelegten Sollhöhenunterschieden dH_{Soll} einen Betrag von 20 mm nicht überschreiten, werden die Pegellatten nicht korrigiert (**LAWA und BMV 1997**). Die im Rahmen der Prüfungen der Höhenlage festgestellten Fehllagen sind Bestandteil

**Abb. 2-17:** Lage der Pegel und Pegelfestpunkte auf Norderney (Bildquelle: **LuftbildNAVIGATOR Niedersachsen**).

der an die erfassten Wasserstände anzubringenden Offsets. Sofern ein Pegel über mehrere Pegellatten verfügt, wurden entsprechende Offsets für jede einzelne Pegellatte erstellt. In der Tabelle 2-3 sind die Ergebnisse für den Pegel Norderney exemplarisch dargestellt. Entsprechende Informationen wurden für alle in der Abbildung 2-15 dargestellten Pegel erstellt.

Mit diesen Informationen wird die innere Geometrie des Systems Pegel in IKÜS abgebildet. Die entsprechend aufbereiteten Daten erlauben eine Zeitreihenanalyse von Wasserstandsregistrierungen einzelner Pegel. Für eine Vergleichbarkeit verschiedener Pegel wurden im Rahmen der Auswertung geodätischer Pegelinformationen die Anschlussnivelements zwischen Punkten der Landesvermessung, deren Höhen und Höhenänderungen IKÜS-Ergebnis sind, und den Pegelfest- bzw. Pegelnullpunkten aufbereitet. Sofern der Pegelfestpunkt zugleich ein Nivellementpunkt der Landesvermessung war, ist dieser direkt in die Kombinationslösung (Abschnitt 2.6) mit eingeflossen. Ein Beispiel hierfür ist der Pegel Norderney, für dessen repräsentativen Pegelfestpunkt 1 basierend auf dem Höhen-Geschwindigkeitsfeld Höhenänderungen abgeleitet wurden. Daraus resultierende Pegelnullpunkthöhen sind in der Tabelle 2-4 dargestellt.

Sofern die repräsentativen Pegelfestpunkte kein Teil der IKÜS-Kombinationslösung sind, wurden zusätzlich die Anschlussnivelements zwischen einem Anschlusspunkt der Kombinationslösung aufbereitet. Als Beispiel sind in Tabelle 2-5 die Anschlussmessungen des Pegels Bremerhaven dargestellt. Der repräsentative Pegelfestpunkt 6622 wurde nach 2000 zerstört, wodurch ein anderer Pegelfestpunkt (18) als repräsentativ angehalten werden musste.

Alle ausgewerteten geodätischen Beobachtungen wurden zu einem bestimmten Zeitpunkt ausgeführt und sind streng genommen auch nur für diesen Zeitraum gültig. Da z. T. zwischen den Anschlussnivelements viele Jahre liegen und die Ergebnisse zwischen zwei Messepochen aufgrund von vertikalen Krustenbewegungen (tektonisch oder anthropogen verursacht) sehr stark von einander abweichen, müssen dennoch Aussagen über die Höhenlage der Pegelfest- bzw. Pegelnullpunkte

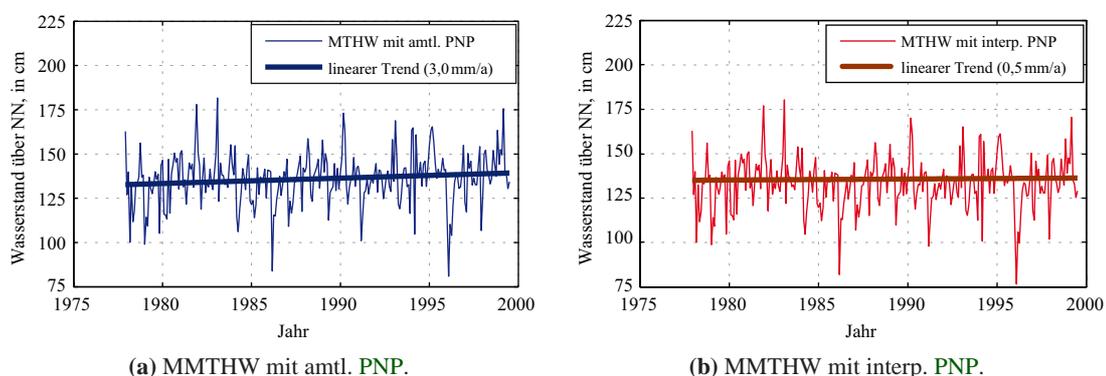


Abb. 2-18: Interpolierte und nicht-interpolierte Pegelnullpunkte am Pegel Knock und deren Auswirkungen auf den Trend des monatlich mittleren Tidehochwassers (MMTHW).

Tab. 2-3: Abweichungen von der Solllage bzw. den Sollhöhenunterschieden dH_{Soll} infolge von Kontrollen der Höhenlage (**HWP** = Hauptwasserpegel, **NWP** = Niedrigwasserpegel).

PFP	Staffel	Datum	dH_{Soll}		Fehllage in m	Offset		Mittel in m
			gem. in m	amtl. in m		lt. Tab. 2-2 in m	gesamt in m	
1	HWP	28.06.1973	-10,006	-9,999	-0,007	0,015	0,008	
55	HWP	28.06.1973	-8,604	-8,600	-0,004	0,015	0,011	0,010
1	NWP	28.06.1973	-10,008	-9,999	-0,009	0,015	0,006	
55	NWP	28.06.1973	-8,606	-8,600	-0,006	0,015	0,009	0,008
1	HWP	15.08.1974	-10,005	-9,999	-0,006	0,015	0,009	
57	HWP	15.08.1974	-8,501	-8,486	-0,015	0,015	0,000	0,005
1	NWP	15.08.1974	-10,000	-9,999	-0,001	0,015	0,014	
57	NWP	15.08.1974	-8,488	-8,486	-0,002	0,015	0,013	0,014

zu verschiedenen Zeitpunkten getroffen werden. Insbesondere bei Trendanalysen ist die Interpolation wichtig, da die sonst resultierenden Ungenauigkeiten das Ergebnis sehr stark verfälschen (Abb.2-18). Im Projekt **IKÜS** wurde zwischen den Anschlussmessungen linear interpoliert und bekannte Brüche der Zeitreihe entsprechend berücksichtigt.

Ein Beispiel für anthropogen verursachte vertikale Krustenbewegungen ist der Bereich von Groningen (Niederlande). Die Ursachen sind die in der Zeit seit 1957 durchgeführten Erdgasförderungen. Die Auswirkungen erstrecken sich auch auf das Gebiet zwischen Borkum und Emden, wobei die Senkungsraten z. T. mehr als 2 mm/a betragen. Davon betroffen sind auch Pegel in diesem Bereich (z. B. Pegel Knock). Für diesen Pegel liegen zwei Anschlussmessungen (1975 und 1999) vor,

Tab. 2-4: Änderung der Höhe (hier 2,2 mm/a) des Pegelfestpunktes 1 (= Punktnr. 2209/9/601 = **IKÜS**-8348) basierend auf dem Höhen-Geschwindigkeitsfeld und deren Auswirkung auf den Pegelnullpunkt Norderney.

Datum	Höhe in m	dH_{Soll} in m	Höhe PNP in m
16.12.1957	5,063	-10,014	-4,951
01.06.1958	5,062	-10,014	-4,952
⋮	⋮	⋮	⋮
01.06.1983	5,007	-10,014	-5,007
25.04.1984	5,005	-10,014	-5,009

wobei zwischen beiden Messungen eine Senkung des PNP um 5,3 cm festgestellt wurde. In Abb. 2-18 sind die linearen Trends des monatlichen MTHW unter Nutzung des vom WSA festgestellten Pegelnullpunktes und eines realen (Landsenkung durch Interpolation berücksichtigt) Pegelnullpunktes dargestellt. Der scheinbare Wasserspiegelanstieg korrespondiert erkennbar mit den aufgetretenen Senkungsraten. Diese Phänomene sind in Deutschland sowohl im Küsten- als auch im Binnenbereich mehrfach anzutreffen (z. B. Pegel Norderney aufgrund von Setzungen oder Pegel Mainz aufgrund von Grundwasserentnahme).

Aussagen über das zeitliche Verhalten von Höhenpunkten (und damit auch von Pegelfest- bzw. Pegelnullpunkten) liefert das Höhen-Geschwindigkeitsfeld (Abschnitt 2.6). In Verbindung mit den oben genannten konstanten Sollhöhenunterschieden, den Offsets und ggf. auch den Anschlussnivelements ergeben sich Wasserstände, die in einem zeitlich und örtlich homogenen Referenzsystem vorliegen (Anhang A.5.1).

Abbildung 2-19 zeigt die monatlichen Mittelwerte der vom Wasser- und Schifffahrtsamt herausgegebenen Wasserstände über Pegelnull. Diese wurden in die IKÜS-DB eingearbeitet. Die Abbildung 2-20 stellt Wasserstände über Pegelnull dar, bei denen die Lattenverschiebungen über Offsets (in IKÜS-DB hinterlegt) kompensiert wurden. Diese entsprechen Wasserständen, die sich ergeben würden, wenn die Sollhöhenunterschiede zwischen dem Pegelfestpunkt 1 und den Pegelnullpunkten (Hafen und Riffgat) konstant gehalten werden.

Werden sowohl aus den vom WSA herausgegebenen als auch aus den um die Lattenverschiebungen korrigierten Wasserstandsdaten Trends abgeleitet, ist festzustellen, dass der Trend der um die Lattenverschiebung korrigierten Wasserstandsdaten einen größeren Betrag annimmt. In diesem Fall wurde die Pegellatte mehrfach angehoben, wodurch die am Pegel erfassten Wasserstände geringer

Tab. 2-5: Höhenänderungen (0,9 mm/a) des Punktes 2419/9/26 (= IKÜS-12058) aus der Kombination und damit verbundene Änderungen der Anschlussnivelements bzw. Pegelnullpunkthöhen des Pegels Bremerhaven. Der repräsentative Pegelfestpunkt 6622 wurde nach 2000 zerstört und stattdessen der PFP 18 als repräsentativ festgelegt.

Datum	Höhe in m	dH			Höhe PNP in m
		26-PFP in m	PFP-PNP in m	26-PNP in m	
13.09.1976	5,835	-1,346	-9,455	-10,801	-4,966
23.10.1989	5,824	-1,338	-9,455	-10,793	-4,969
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
07.11.2000	5,814	-1,333	-9,455	-10,778	-4,975
08.05.2006	5,809	-0,146	-10,637	-10,783	-4,974

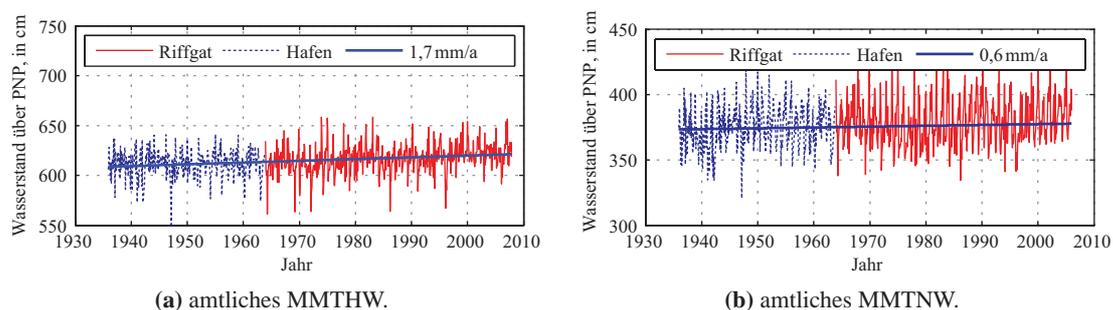


Abb. 2-19: Amtliche Angaben für monatlich gemittelte Tidehoch- und Tideniedrigwasser über PNP mit Lattenbewegungen.

waren und daraus ein kleinerer Trend resultiert. Der Verschiebungsbetrag der Pegellatte ist abhängig von der Wahl des repräsentativen Pegelfestpunktes. Dieser Sachverhalt ist insbesondere bei Küstenschutzbauwerken von sehr großem Interesse, da für entsprechende Anwendungen die relativen Wasserstandsänderungen gegenüber der unmittelbaren Umgebung entscheidend sind.

Wird zusätzlich noch die Vertikalbewegung des Pegelfestpunktes 1 aus dem Höhen-Geschwindigkeitsfeld berücksichtigt (Abb. 2-21), ergibt sich gegenüber der NN-Bezugsfläche ein wesentlich geringerer Anstieg des Meeresspiegels. Dies ist damit zu begründen, dass der Pegelfestpunkt 1 und damit auch der Pegel an sich absinken und sich diese Bewegung mit langwelligen Veränderungen des Meeresspiegels überlagert. In Abbildung 2-22 erfolgte eine Glättung der MMTHW bzw. MMTNW mithilfe eines dreißigjährigen gleitenden Mittels. Anhand dieser Grafik wird der Einfluss der Land-senkung auf den Wasserstand ersichtlich. Unter Nutzung des Höhen-Geschwindigkeitsfeldes für die Höhenangaben und den korrigierten Wasserständen ergibt sich ein für das MMTHW ein Trend von 1,0 mm/a. Das MMTNW weist mit 0,0 mm/a keinen Trend auf.

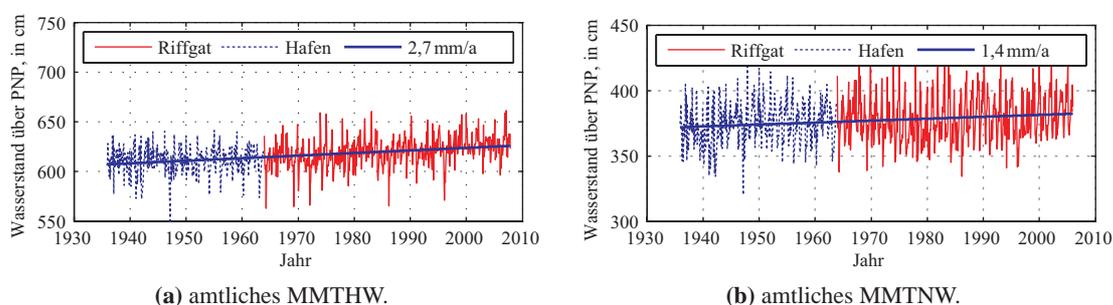


Abb. 2-20: Amtliche Angaben für monatlich gemittelte Tidehoch- und Tideniedrigwasser über PNP ohne Lattenbewegungen.

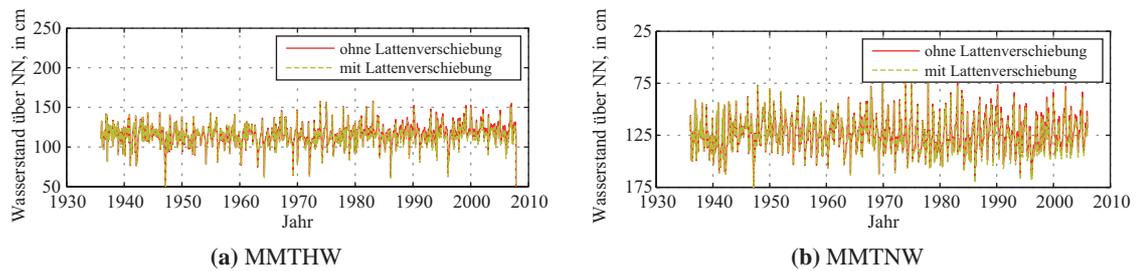


Abb. 2-21: Angaben für monatlich gemittelte Tidehoch- und Tideniedrigwasser ohne Lattenbewegungen über NN (Höhen-Geschwindigkeitsfeld berücksichtigt).

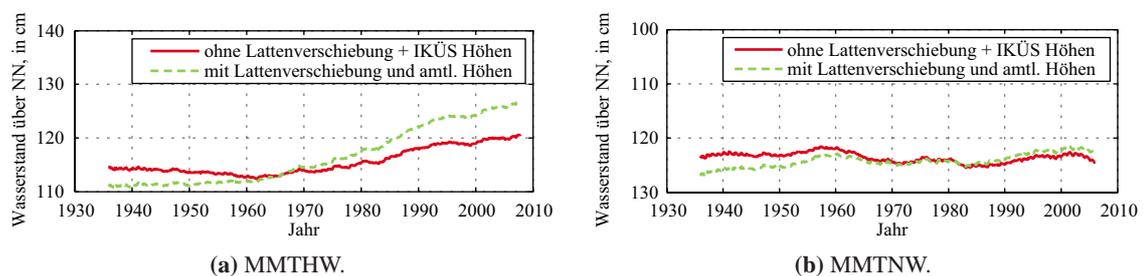


Abb. 2-22: Dreißigjähriges gleitendes Mittel für Tidehoch- und Tideniedrigwasser über NN (amtliche Angaben und Höhen-Geschwindigkeitsfeld).

2.3.2 Analyse und Aufbereitung der Wasserstandsregistrierungen

Innerhalb des **IKÜS**-Projektes wurden die an den für das Projekt ausgewählten Pegeln erfassten Wasserstandsregistrierungen aufbereitet. Neben dem Zusammentragen aller Wasserstandsdaten war das Erfassen von Metainformationen sehr wichtig. Für die in Abbildung 2-15 dargestellten **IKÜS**-Pegel wurden alle verfügbaren Scheitelwerte in die Datenbank eingepflegt. Weiterhin sind die Pegelstammdaten in der **IKÜS**-Datenbank hinterlegt, wobei diese den Stammdaten aus den Pegelstammbüchern (ohne den vermessungstechnischen Teil) entsprechen bzw. diese nachrichtlich übernommen wurden.

Bei den erfassten Wasserständen handelt es sich um vom **WSA** festgelegte Scheitelwerte über den jeweiligen Pegelnullpunkten, wobei der Bezugspegelnullpunkt (z. B. Norderney Riffgat Hauptwasserpegel (**HWP**)) neben anderen Informationen ebenfalls bei dem jeweiligen Scheitelwert mit gespeichert wurde. Die Scheitelwerte sind im Allgemeinen ab dem Beginn einer kontinuierlichen Datenerfassung d. h. ab 1935 vorhanden. Neben den Scheitelwerten, dem Eintrittszeitpunkt und dem Bezugspegelnullpunkt werden auch Angaben über die Art des erfassten Wasserstandes gespeichert. Dies beinhaltet in erster Linie die folgenden Angaben:

- Art des Wasserstandssensors (Druckpegel, Schwimmpegel, Radarpegel)
- Art der Wasserstandserfassung (analog oder digital)

- kontinuierliche Ablesung oder diskrete Lattenablesungen zum Zeitpunkt der Tidehoch- bzw. Tideniedrigwasser
- Herkunft der Wasserstände
- Tidehoch-, Tideniedrig- oder Tidemittelwasser
- Monatsmittelwert, maximaler oder minimaler Wert für Tideniedrig- oder Tidehochwasser

Die Registriergeräte erfassen den Wasserstand über einen Wasserstandssensor und speichern die erfassten Wasserstände digital oder analog (in Form von Pegelbögen). Als Wasserstandssensoren werden innerhalb der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes in erster Linie Drucksensoren und Schwimmersysteme verwendet. Während früher häufig Drucksensoren Verwendung fanden, wurden diese zum Großteil durch Schwimmersysteme ersetzt. Beiden Systemen sind verschiedene Vor- und Nachteile gemein und es treten auch sensorspezifische Fehlereinflüsse auf.

Frühere Registriereinrichtungen bestanden aus analogen Schreibgeräten (z. B. Trommelschreiber Abb. 2-23), die eine maßstäblich (im Allgemeinen 1:15) verkleinerte Tidekurve auf Papier zeichnen. Bei einer späteren Auswertung der Pegelbögen muss daher berücksichtigt werden, dass zum einen die Digitalisiergenauigkeit beschränkt ist und zum anderen die an den Schreibgeräten auftretenden systematischen Fehler maßstäblich vergrößert in den Daten enthalten sind. Seit Ende der neunziger Jahre werden die analogen Schreibgeräte durch digitale Datensammler ersetzt. Digitale Datensammler bilden den Wasserstand im Maßstab 1:1 ab und sind damit weniger Fehlereinflüssen unterworfen als analoge Schreibgeräte.

Die erfassten Scheitelwerte wurden früher aus den Pegelbögen manuell abgeleitet. Seit einigen Jahren können die Scheitelwerte innerhalb der WSV über ein semiautomatisches Verfahren (Kunz-Köves Verfahren, (Kunz und Köves 1991)) bestimmt werden. Bei diesem Verfahren wird eine Teil der Tidekurve als ausgleichendes Polynom variablen Grades dargestellt. Der Scheitel des Polynoms stellt dann den Scheitelwert der Tidekurve dar. Je nach Polynomgrad, der in die Berechnung einfließenden Zeitreihe (Fensterbreite) und der Form der Tidekurve variieren die Ergebnisse des Verfahrens. Aus

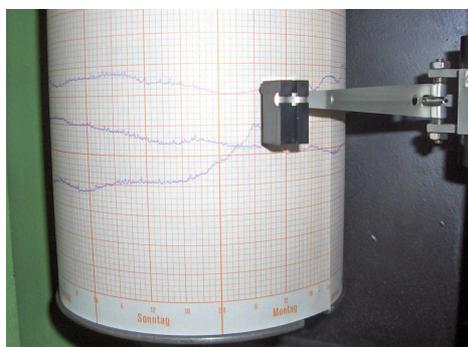


Abb. 2-23: Analoger Trommelschreiber.

diesem Grund ist eine manuelle Nachbearbeitung nötig. Alternativ zu diesem Verfahren können die hochfrequenten Variationen der Wasserstandsdaten durch Filterungen im Orts- oder Frequenzbereich gedämpft und anschließend Scheitelwerte ermittelt werden. Weitere Informationen sind im Anhang A.5.2 dargestellt.

Im Rahmen von IKÜS wurden Untersuchungen zur Einbeziehung von Beobachtungsdaten der Forschungsplattform FINO-1 hinsichtlich der Qualität der erfassten Wasserstände und der Georeferenzierung durchgeführt. Die auf FINO-1 erfassten Wasserstände sind für die Ableitung von langwelligen Trends zur Zeit nicht geeignet. Nähere Ausführungen sind im Anhang A.5.3 dargestellt.

2.3.3 Zukünftiges Pegelmonitoring

Insbesondere bei Offshorepegeln sind die Pegelfestpunkte und die Pegellatten am selben Bauwerk befestigt. Bei diesen »gekoppelten« Pegeln entsprechen Anschlussmessungen zugleich den Kontrollen der Höhenlagen.

In der Vergangenheit wurden für die Anschlüsse an amtliche Höhensysteme hydrostatische bzw. geometrische Nivellements durchgeführt (Brussel 2000). Da die hydrostatische Messausrüstung des Niederländischen Rijkswaterstaates nicht mehr zur Verfügung steht, bleibt im Küstenvorfeld als einzige Möglichkeit eine satellitengestützte Höhenüberwachung der Pegel mit GNSS, wobei zur Zeit nur GPS und dessen russisches Pendant GLONASS zur Verfügung stehen.

Eine Kernaufgabe der BfG besteht in der Unterstützung der örtlichen Wasser- und Schifffahrtsämter bei den Anschlussmessungen zu exponierten Pegeln. In den letzten 10 Jahren ist dies durch GNSS-Kampagnen geschehen.

Die Beobachtungsdauer lag zwischen ein und zwei Wochen. Aufgrund neuer Erkenntnisse bezüglich der Mehrwegeeffekte in der unmittelbaren Antennenumgebung, der Antennenempfangseigenschaften und daraus resultierenden Ungenauigkeiten bei großräumigen Netzen hat sich in den letzten Jahren die Erkenntnis durchgesetzt, dass für hochgenaue Höhenüberwachungen einzelne Messkampagnen nicht ausreichend sind. Aus diesem Grund sieht das im Rahmen von IKÜS entwickelte Konzept eine permanente GNSS-Überwachung der Pegelsysteme vor, wobei die Datenübertragung und die anschließende Datenauswertung weitestgehend automatisiert sein sollen. Eine permanente Überwachung bietet zudem den Vorteil, dass kontinuierlich Höhen beobachtet werden und Trends viel schneller und aufgrund der verfügbaren Beobachtungsdaten auch sicherer abgeleitet werden können.

Gegenüber Kampagnenmessungen ist das Anforderungsspektrum bei permanent betriebenen Systemen wesentlich erweitert. Die Anforderungen bestehen darin, dass die GNSS-Systeme

- über L1/L2 Code/Phasen-Empfänger (GPS/GLONASS) mit Chokering-Antennen verfügen
- möglichst wartungsfrei sind und von einer zentralen Stelle aus administriert werden
- eine selbstständige Datenübertragung zur Zentrale realisieren

- immer über ausreichende Energie verfügen bzw. die Energieversorgung autark realisiert wird (Photovoltaikmodule und/oder Windräder).

Im Rahmen von **IKÜS** wurde in Verbindung mit der **IT**-Abteilung der **BfG** und dem **DWD** (Deutscher Wetterdienst) ein System entwickelt, das allen Anforderungen gerecht wird. Die von der **BfG** beschafften **GNSS**-Empfänger des Typs Leica GRX1200GG PRO, wurden zusätzlich mit einem **GPRS**-Modul (*General Packet Radio Service*) des Typs Leica GFU24 ausgerüstet. Zusätzlich wurden **GNSS**-Antennen mit Chokeringelementen und passender Wetterschutzhaube (Radom) beschafft. Die Antennen wurden bei der Firma Geo++ in Garbsen mit Radom und Dreifuß und somit in dem Zustand kalibriert, in dem diese auf den Leuchttürmen installiert werden.

Die Datenkommunikation (Administrierung und Datenübertragung) erfolgt über den in Anhang **A.5.4** beschriebenen Kommunikationsweg. Kernstück ist ein Dienst des **DWD** und eines Mobilfunkbetreibers, der eine Datenkommunikation zwischen dem Intranet der **BfG** und dem **GNSS**-Empfänger über Mobilfunk ermöglicht. Die Beobachtungsdaten werden von den **GNSS**-Empfängern automatisch in ein offenes Datenformat überführt und zur **BfG** übertragen.

Die Energieversorgung kann auf exponiert stehenden Pegelanlagen, die nicht über eine Netzstromversorgung verfügen, über Photovoltaikmodule und/oder Windräder realisiert werden. Im Rahmen von **IKÜS** wurden dazu keine weiteren Untersuchungen durchgeführt, da entsprechende Lösungen im Rahmen anderer Projekte realisiert werden. Im Rahmen von **IKÜS** wurden drei Offshore-Stationen mit entsprechenden **GNSS**-Ausrüstungen ausgestattet. Es handelt sich dabei um die Pegelstationen Knock, das Unterfeuer Dwarsgat (Abb. 2-24) und den Leuchtturm Alte Weser.

Die Auswertestrategie der **GNSS**-Beobachtungen muss sowohl administrativen als auch wissenschaftlichen Ansprüchen gerecht werden. Aus diesem Grund wird eine Auswertung im übergeordne-



(a) Unterfeuer Dwarsgat.



(b) GNSS-Station.

Abb. 2-24: Durch GNSS überwachte Pegelstation Dwarsgat.

ten *International Terrestrial Reference Frame (ITRF)* mit einer anschließenden Überführung in das amtliche Referenzsystem DHHN92 angestrebt. Die Ergebnisse (Höhen und Höhenänderungen) und die aufbereiteten GNSS-Beobachtungen werden den administrativen und wissenschaftlichen Einrichtungen zur Verfügung gestellt.

2.4 Schwere

2.4.1 Schweremessungen zur Überführung nivellitischer Höhenunterschiede in geopotentielle Koten

Die relativen Schwerewerte wurden zur Umrechnung von Höhendifferenzen in Potentialdifferenzen verwendet. Hierbei werden die Schwerewerte als zeitlich invariant angesehen. Aus den unregelmäßig verteilten Schweremessungen im Auswertgebiet (siehe Abb. A-10) wurde ein »Schwergitter« berechnet. In diesem Schwergitter können für beliebige Stationen entsprechende Schwerewerte interpoliert werden (siehe Abschn. 2.6).

2.4.2 Höhenveränderungen aus Schweremessungen

Relativschweremessungen

Relativmessungen sind nur innerhalb kleiner Netze hochgenau möglich (Keysers 2001). Küstenregionen sind ungeeignete Messgebiete auf Grund schwer modellierbarer Meereseffekte und fehlendem stabilen felsigen Untergrund. Grundwasserstandsmessungen an jedem Schweremesspunkt sind wegen einzurichtender Zusatzsensoren äußerst teuer, aber bei Genauigkeitsforderungen, wie sie zur Ableitung kleiner Vertikalbewegungen der Erdkruste notwendig sind, unabdingbar.

Im Ergebnis kann festgestellt werden, dass für die vorhandenen historischen Schweremessungen bis ca. 1975 (entspricht dem Deutschen Schwerenetz (DSN) 1962) keine meteorologischen und hydrologischen Daten vorliegen. Ab 1976 (entspricht den Daten des Deutschen Hauptschwerenetzes (DHSN) 1996) sind Luftdruck und Temperatur erfasst worden. Die Erfassung hydrologischer Daten ist im EDBS-Format (Einheitliche Datenbankschnittstelle) vorgesehen, jedoch wurden bei den Gravimetermessungen keine entsprechenden Werte erfasst. Somit muss davon ausgegangen werden, dass hier Standard-Reduktionsmodelle eingesetzt wurden, die nicht alle Störsignale erfassen können.

Die Genauigkeiten der vorliegenden relativen Schweremessungen sind somit nicht ausreichend, um Höhenveränderungen zu bestimmen.

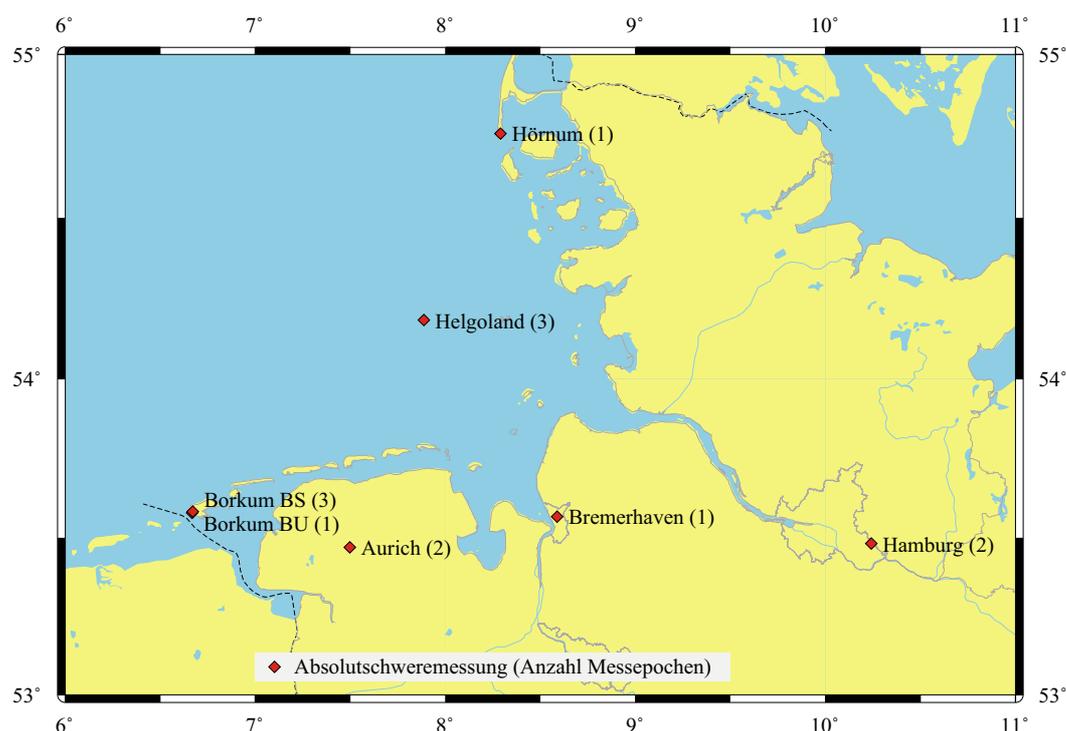


Abb. 2-25: Stationen für Absolutschweremessungen im Bereich der Deutschen Nordseeküste. Die Anzahl der durchgeführten Messepochen ist den Klammern hinter dem Stationsnamen zu entnehmen.

Absolutschweremessungen

Für einige Punkte im Auswertebereich (Abb. 2-25) liegen Absolutschweremessungen vor, die dem IKÜS-Projekt vom **Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG)** zur Verfügung gestellt wurden. Basierend auf dem vertikalen Schweregradienten (dg/dz) können Schwereänderungen (Differenz zwischen zwei Absolutschweremessungen) als Höhenänderung interpretiert werden. Allerdings ist die Anzahl der Messepochen nicht auf allen Messpunkten groß genug, um eindeutige Aussagen im Bezug auf Höhenänderungen treffen zu können. Abbildung 2-26 zeigt die Höhenänderung abgeleitet aus Absolutschwereänderungen für Stationen mit mindestens zwei Messepochen. Zu diesem Zweck wurde die Differenz zwischen erster Messepoche (Nullepoche) und den folgenden Messepochen gebildet.

Fazit

Auf Grund dieser Rahmenbedingungen muss festgestellt werden, dass im IKÜS-Untersuchungsgebiet selbst mit absoluten gravimetrischen Verfahren unter optimalen Bedingungen vertikale Krustenbewegungen bestenfalls ab einer Größe von wenigen Zentimetern bestimmbar sind.

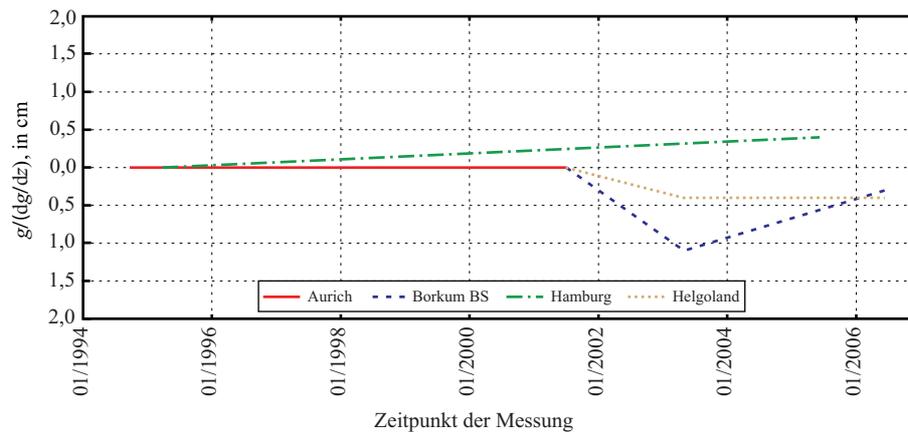


Abb. 2-26: Ableitung von Höhenänderungen ausgewählter Stationen aus Differenzen gemessener Absolutschwerewerte zur jeweiligen »Nullepoche« (erste gemessene Epoche der Station).

Vertikale Krustenbewegungen erreichen Beträge von ca. 1 bis 3 mm/a im **IKÜS**-Untersuchungsgebiet (siehe Abschn. 2.6.4). Wird davon ausgegangen, dass es sich dabei um nichtperiodische rezente Krustenbewegungen handelt, bei denen sich die Jahresbeträge aufsummieren, können Schwerkereänderungen frühestens nach ca. 20 – 40 Jahren signifikant nachgewiesen werden.

2.5 Datenbank

Die wesentliche Aufgabe einer Datenbank besteht in der widerspruchsfreien und dauerhaften Speicherung von Datenmengen. Benötigte Teilmengen der Daten können weiterhin in unterschiedlichen, bedarfsgerechten Darstellungsformen für Benutzer und Anwendungsprogramme bereitgestellt werden. Das Datenbanksystem bietet zudem den Vorteil, dass die darin enthaltenen Datensätze zentral gepflegt und aktualisiert werden können. In einer relationalen Datenbank werden die Datensätze in Relationen verwaltet, d. h. in zweidimensionalen Tabellen die durch so genannte Schlüssel (Identfelder) miteinander verknüpft sind.

Bei der Entwicklung einer zukunftsorientierten Datenbank ist die Datenunabhängigkeit ein zentrales Thema. Wenn bspw. in Zukunft unterschiedliche Anwendungen auf dieselbe Datenbank zugreifen, werden jeweils auch unterschiedliche Anforderungen an diese gestellt. Neben den Softwareanforderungen existieren auch unterschiedliche Betrachtungsweisen der Anwender. Das Konzept der Datenunabhängigkeit soll eine Abkopplung der Datenbank von notwendigen Änderungen der Anwendung ermöglichen. Diese Datenunabhängigkeit wird nach **Unilog Integrata Training AG (2006)** durch ein Drei-Ebenen-Schema erreicht:

- Die konzeptionelle Ebene gibt den grundlegenden Aufbau der Datenstruktur wieder. Sie beschreibt eine von der Hardware oder Datenbank unabhängige Gesamtsicht auf den zu spei-

chernden Datenbestand.

- Auf der internen Ebene wird mit Hilfe einer geeigneten physischen Datenstruktur festgehalten, wie die Daten zu speichern sind.
- Die externe Ebene beinhaltet im Allgemeinen nur einen Teilbereich der konzeptionellen Ebene. Nur der Teil, der für die jeweilige Anwendung bzw. Anforderung relevant ist, wird beschrieben. Es werden z. B. anwendungsspezifische Sichten auf die Datenbank festgelegt, über die ein Datenbankzugriff erfolgt.

Durch ihr relativ einfaches Datenmodell verbunden mit einer standardisierten Abfragesprache unterstützen relationale Datenbankmanagementsysteme (**RDBMS**) in hohem Maß das Konzept der Datenunabhängigkeit. Ihre Stabilität und die automatische Optimierung ermöglichen eine zentrale Verwaltung von Massendaten in klassischen Anwendungen. Aus diesem Grund basiert die Entwicklung der IKÜS-Datenbank auf einem relationellen Datenbankmodell.

2.5.1 Datenbankstruktur

Das relationale Datenbankmodell speichert Daten in Tabellen, die als Relationen bezeichnet werden. Dabei entspricht jedes Objekt und jede Beziehung zwischen Objekten einer zweidimensionalen Tabelle. Jede Spalte einer Tabelle steht für ein Attribut des Objekts oder der Beziehung. Eine Zeile enthält jeweils alle Attribute, die ein Objekt oder eine Beziehung charakterisieren. Dabei muss jede Zeile eindeutig identifizierbar sein, d. h. es darf nie zwei identische Zeilen in einer Tabelle geben.

Um die Daten wieder auszulesen, hat der Benutzer die Möglichkeit, mit Hilfe von Datenbanksprachen direkt auf die gewünschten Informationen zuzugreifen. Dabei hat sich mit der *Structured Query Language (SQL)* eine internationale, vom *American National Standards Institute (ANSI)* und der Internationalen Organisation für Normung (**ISO**), standardisierte Sprache für relationale Datenbanken etabliert. Ein weiterer Vorteil des relationalen Modells ist die einfache Umsetzbarkeit auf physikalische Speicherstrukturen. So lässt sich z. B. jede Tabelle als einzelne Datei speichern.

Mit diesen Vorteilen erreichte das relationale Modell eine marktbeherrschende Stellung. Typische **RDBMS** sind bspw. der Microsoft SQL Server, MySQL, Microsoft Access oder die im **IKÜS**-Projekt eingesetzte Datenbank der Firma Oracle.

Analog zum so genannten Phasenmodell der Software-Entwicklung wurde auch bei der Entwicklung der IKÜS-Datenbank (**IKÜS-DB**) zwischen einzelnen Projektphasen unterschieden. Die wichtigsten Phasen lauten:

- Anforderungsanalyse
- Konzeptioneller Entwurf
- Logischer Entwurf

- Physischer Entwurf
- Implementierung

Die Entwicklung der IKÜS-Datenbank begann, wie jede Softwareentwicklung, mit einer gründlichen Anforderungsanalyse. Dabei musste für eine optimale Nutzbarkeit der Datenbank die Frage beantwortet werden, welche Daten mit welchen Zusammenhängen in der Datenbank verwaltet werden sollen.

Um grundsätzlich eine Einbindung der IKÜS-Datenbank in die Geodateninfrastruktur Niedersachsen (GDI-NI) zu ermöglichen, orientierte sich die Entwicklung der IKÜS-Datenbankstruktur am AAA-Basisschema. Das AAA-Basisschema umfasst das Amtliche Festpunktinformationssystem (AFIS), das Amtliche Liegenschaftskataster-Informationssystem (ALKIS) sowie das Amtliche Topographisch-Kartographische Informationssystem (ATKIS). Dabei wurden vor allem die in AdV (2008a) definierten grundlegenden Strukturen bei der Verwaltung des Raumbezuges übernommen. Die weiteren Strukturen wurden dagegen von speziellen Anforderungen des IKÜS-Projektes vorgegeben und individuell modelliert.

Bei der Anforderungsanalyse wurde festgelegt, dass möglichst Rohdaten abgelegt werden sollten. Die Routinen zur Aufbereitung der Daten werden dabei ausschließlich im IKÜS Programm bereitgestellt. Dies hat den Vorteil, dass bei einem späteren Import von Daten immer eine einheitliche Aufbereitung gewährleistet wird. Weiterhin ist es möglich die Rohdaten bei Bedarf erneut aufzubereiten, falls bessere Algorithmen zur Verfügung stehen.

Da die Bezeichnung identischer Punkte nicht einheitlich war und identische Punkte mit verschiedenen Punktnummern auftraten, gewährleistet der Datenbankentwurf die Speicherung der originalen Punktnummern. Gleichzeitig wurde eine Tabelle mit Zuordnungen der originären Punktnummer zu einer globalen, eindeutigen IKÜS-Punktnummer erstellt. Beim Auslesen der Rohdaten wird so die originäre Punktnummer durch die globale Punktnummer dynamisch ersetzt. Diese Art der Modellierung ermöglicht auch nachträgliche Änderungen der Identitätszuordnung.

Die Speicherung der Kovarianzinformationen für GPS-Epochen erfolgt durch die Verwendung von *Binary Large Objects* (BLOB), da ein direkter Zugriff auf einzelne Werte oder auch 3×3 Submatrizen pro Punkt als zu langsam eingestuft wurde. BLOBs sind große binäre und damit für die Datenbank nicht weiter strukturierte Objekte. Diese Datenpakete können wie andere Datensätze direkt in der Datenbanktabelle abgelegt werden (Loney 2005). Eine Speicherung der gesamten Kovarianzmatrix (Q_{xx}) als BLOB ermöglicht zwar nur einen Zugriff auf die gesamte Matrix, ist jedoch deutlich schneller als ein individueller Zugriff auf einzelne Koeffizienten.

Als globales IKÜS-Koordinatensystem wurde das ETRS89 festgelegt. Die Verwendung von geografischen Koordinaten garantiert einen einheitlichen Raumbezug ohne Fehlinterpretationen. Um jederzeit die im Feld geführten Koordinaten zu rekonstruieren, wurden die verwendeten Transforma-

tionsparameter zusätzlich in der Datenbank abgelegt.

Im nächsten Schritt erfolgte die Umsetzung der gewonnenen Anforderungen in einem konzeptionellen Entwurf. Dazu wurde ein *Entity-Relationship-Modell (ERM)* erstellt, das die Objekte und Beziehungen als Entitäten (*Entities*) und Beziehungen (*Relationships*) abstrahiert. Das **ERM** ist das bekannteste und meist verwendete grafische Hilfsmittel für den Datenbankentwurf. Der Entwurf ist dabei vollkommen unabhängig von dem späteren Datenbanksystem. Für die Erarbeitung des **ERM** konnte spezielle Software eingesetzt werden. Mit der Definition von Attributen und Schlüsselementen wurde das erstellte **ERM** anschließend in ein relationales Datenbankmodell überführt. Dieser Schritt wird als logischer Entwurf bezeichnet.

Während des logischen Entwurfes wurde auch die so genannte Normalisierung der Datenbankstruktur durchgeführt. Ziel der Normalisierung ist, dass jeder Datensatz nur ein einziges mal vorkommt. Redundanzen sollen beseitigt werden und die Datenkonsistenz erhalten bleiben. Weiterhin ermöglicht die Normalisierung, dass Abhängigkeiten zwischen den Spalten einer Tabelle beseitigt werden, um später eine einfache Erweiterung der Datenbank zu gewährleisten (Lockman u. a. 2002).

Grundsätzlich wurde eine Datenspeicherung ohne jegliche Redundanzen angestrebt. Lediglich in abgegrenzten Teilbereichen wurden Redundanzen zugelassen und damit die Normalisierung aufgebrochen, um Einleseroutinen und die spätere Abfrage der Elemente zu beschleunigen.

Zur Sicherung der Datenintegrität wurden die Haupttabellen mit Protokoll-Spalten versehen. Entsprechende Datenbankmodule (Trigger) tragen dabei automatisch in diese Spalten ein, wann und durch wen ein Datensatz eingetragen bzw. geändert wurde.

Auf Grund der Anforderungen durch die umfangreiche Datenbasis und die geforderte Möglichkeit zur Erweiterung und Internetanbindung wurde für den physischen Entwurf eine Oracle-Datenbank gewählt. Entsprechend dieser Entscheidung wurde aus dem relationalen Datenbankmodell die endgültige physische Struktur der IKÜS-Datenbank in Form von **SQL**-Befehlen abgeleitet. Auf einem hausinternen Oracle 10g Datenbankserver der **LGN** wurde die IKÜS-Datenbank eingerichtet und die vorgesehenen Tabellen und deren Attribute erstellt. Dabei festgelegte Schlüsselbedingungen und Beziehungen von Objekten werden durch entwickelte Trigger erfüllt. Des Weiteren wurden häufig genutzte Abfragen als so genannte Sichten (*View*) in der Datenbank abgelegt, um so die Zugriffsgeschwindigkeit zu steigern.

Auf eine detaillierte Darstellung der entwickelten Datenbankstruktur und der darin festgelegten Tabellen wird an dieser Stelle aus Platzgründen verzichtet und auf die Dokumentation verwiesen. Für die abschließende Datenbanknutzung wurde eine ausführliche Online-Dokumentation erstellt, die Inhaltsinformationen zu allen Datenbanktabellen enthält. Die Einheitendefinitionen der verschiedenen Tabellenfelder wurden ebenfalls in der Dokumentation festgehalten. Eine beigelegte grafische Übersicht der Datenbanktabellen ermöglicht zudem ein schnelles Auffinden gesuchter Informationen.

Um die im Projekt aufbereiteten Daten in der IKÜS-Datenbank abzulegen bzw. eine nachhaltige Fortführung der Datenbank zu ermöglichen, musste die Datenbank entsprechend festgelegter Austauschdatenformate strukturiert werden. Diese Austauschformate sollten zudem eine geeignete Schnittstelle zwischen den Projektpartnern schaffen. Für die einzelnen Daten der höhenrelevanten Sensoren wurden dazu standardisierte Austauschformate festgelegt, sofern diese für die IKÜS-relevanten Informationen existieren (z. B. SINEX für GNSS-Ergebnisse). Andernfalls wurden Datenformate um weitere Informationen ergänzt oder neu als IKÜS-Format definiert.

Im Rahmen der Erneuerungskampagne des DHHN 2006–2011 wird eine eigene Nivellementmessdaten-Datenbank (NIMEDA) aufgebaut. Als Schnittstelle zu dieser Messdatenbank wird das so genannte NIMEDA-Format eingeführt (AdV 2007). Die hohe Bedeutung der Kampagne impliziert, dass dieses Format die bisherige einheitliche Datenbankschnittstelle (EDBS) auch in Zukunft ablösen wird. Durch die Verwendung des NIMEDA-Formates als IKÜS-Austauschschnittstelle für Nivellementdaten wird eine langfristige Aktualisierung der Datengrundlage erheblich erleichtert.

Entsprechend der festgelegten Schnittstelle wurden sowohl die im EDBS-Format als auch die in freier tabellarischer Datenstruktur vorgehaltenen Nivellementdaten angepasst. Für die im EDBS-Format genutzten Kennzahlen wurde eine Schlüsseltabelle entwickelt, nach dessen Vorgabe die vorhandenen Beobachtungen in die Definitionen des NIMEDA-Formates überführt wurden.

2.5.2 Zugriffskonzept

Datenbankmanagementsysteme (DBMS) werden in Desktop- und Client-/Serversysteme unterschieden. Bei einem Desktopsystem befinden sich die Datenbank, das Datenbankmanagementsystem und die Datenbankanwendung auf dem Rechner des Anwenders. Bei Client-/Serversystemen läuft das Datenbanksystem auf einem eigenen Server, der exklusiven Zugriff auf die Datenbank besitzt. Die Anwendungsprogramme befinden sich auf den Clientrechnern und beziehen ihre Daten vom DBMS

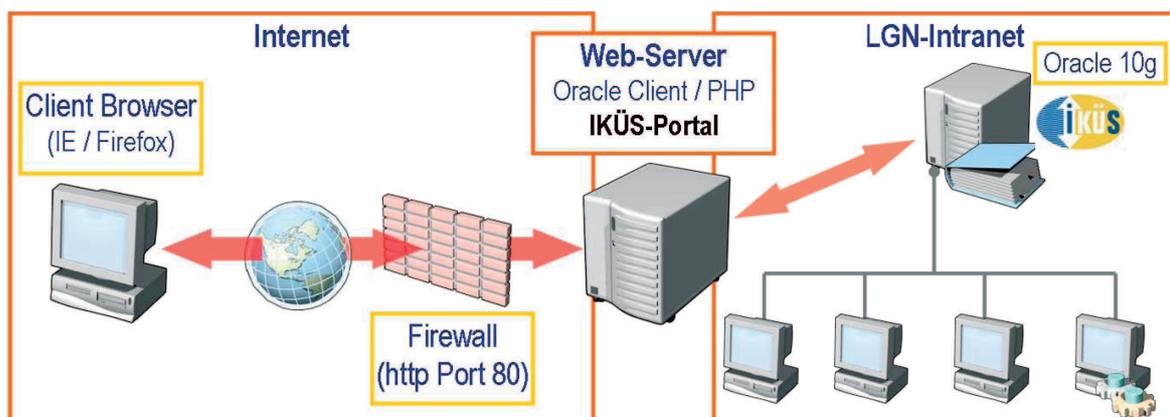


Abb. 2-27: Zugriffskonzept der IKÜS-Datenbank basierend auf einem Client-/Serversystemen.

des Servers. Ein typisches Client-/Serversystem ist die auch im **IKÜS**-Projekt eingesetzte Oracle-Datenbank.

Die zentrale Datenbankeinrichtung auf einem Server der LGN bildet damit die Grundlage des Zugriffskonzeptes im **IKÜS**-Projekt (Abbildung 2-27). Diese Regelung ermöglicht eine Nutzung bereits vorhandener Hard- und Softwarearchitektur und stellt damit die wirtschaftlichste Lösung dar. Weiterhin werden Aktualisierung und Pflege des Datenbestandes durch die zentrale Datenverwaltung erheblich erleichtert.

Da der Aufbau eines standardisierten Online-Angebots für **IKÜS** und die Einbindung in die Geodateninfrastruktur Niedersachsen (**GDI-NI**) sehr aufwendig ist, empfahl sich für das **IKÜS**-Projekt der Aufbau eines proprietären Internetangebotes. Für die Bereitstellung der Produkte und Daten des **IKÜS**-Projektes wurde eine Benutzerverwaltung mit Authentifikationsapplikation auf einem Webserver der LGN eingerichtet. Nach erfolgreicher Anmeldung des Nutzers gelangt dieser auf das »IKÜS-Portal« (Abbildung 2-28). Hier steht neben »Download-Links« zu aktuellen Produkten auch ein Echtzeit-Onlinezugriff auf den Datenbankserver zur Verfügung.

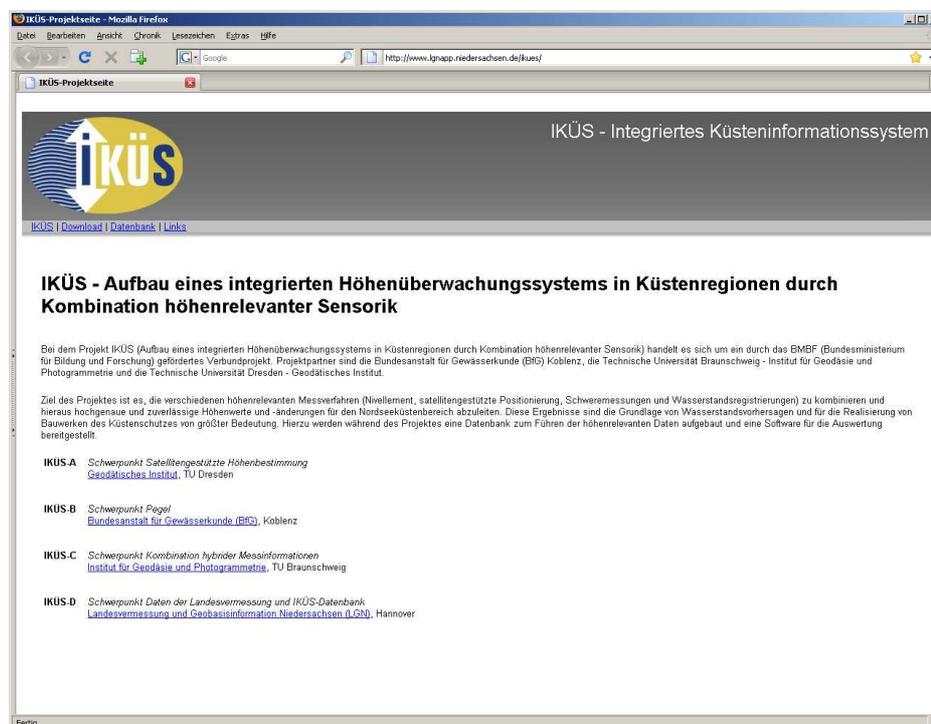


Abb. 2-28: Das »IKÜS-Portal« (www.lgnapp.niedersachsen.de/ikues) zur Bereitstellung der Ergebnisse des Projektes.

2.6 Kombination

2.6.1 Grundgedanken

Änderungen von Koordinaten sind immer nur »relativ« zu einem Bezugsrahmen bestimmbar. Der Bezugsrahmen, innerhalb dessen die Analyse durchgeführt werden muss, wird durch Referenzpunkte realisiert, während das Objekt durch Objektpunkte diskretisiert wird. Im Idealfall sind die Referenzpunkte über den »gesamten« Überwachungszeitraum stabil. Durch eine Transformation wird jede Messepoche in das System der Referenzpunkte eingefügt, so dass sich die Objektpunkte auf ein einheitliches geodätisches Datum beziehen und somit direkt vergleichbar sind.

Die Referenzpunkte werden so gewählt, dass geringe Änderungen in den Referenzpunkten nur einen begrenzten Einfluss auf die Objektpunkte ausüben. Optimal ist eine ringförmige Anordnung der Referenzpunkte um das Objekt, da somit fehleranfällige Extrapolationen vermieden werden.

Falls keine stabilen Referenzpunkte zur Verfügung stehen, können auch Punkte verwendet werden, deren Bewegungsverhalten als funktional approximierbare Bewegung schätzbar ist. Die Bewegung der Referenzpunkte kann von einem übergeordneten Bezugsrahmen vorgegeben (Vestøl 2006) oder in der Auswertung geschätzt werden.

Für die deutsche Nordseeküste ist eine ringförmige Anordnung der Referenzpunkte kaum möglich. Es werden fünf »Referenzstationen« im Süden des Auswertgebietes gewählt. Diese Punkte liegen im Bereich des als stabil angenommenen Berglandes. Alle detektierten Bewegungen beziehen sich auf diese Referenzpunkte.

Grundlage ist ein lineares Geschwindigkeitsmodell für »jeden« Objektpunkt. Die Koordinate eines Punktes x^t zum Zeitpunkt t ist eine lineare Funktion ausgehend von der Koordinate zum Referenzzeitpunkt $x^{t_{\text{ref}}}$ mit der Geschwindigkeit des Punktes \dot{x} und dem Zeitpunkt t .

$$x^t = x^{t_{\text{ref}}} + \dot{x} \cdot (t - t_{\text{ref}}) \quad (2-1)$$

Es wird jedoch nicht jeder Punkt einzeln betrachtet, sondern die Geschwindigkeit benachbarter Punkte wird als korreliert betrachtet (Prinzip der Nachbarschaft). Die Geschwindigkeiten werden durch ein Geschwindigkeitsfeld approximiert, das aus radialen Basisfunktionen gebildet wird.

Ziel ist eine hybride Auswertung von Höhendifferenzen und GPS-Koordinatensätzen zur Bestimmung des Geschwindigkeitsmodells.

Für aufwändigere Bewegungsmodelle, z. B. eine beschleunigte Bewegung, ist im vorliegenden Fall die Datendichte unzureichend (Nivellement) oder die Zeitbasis zu kurz (GPS-Daten).

Es sollen »keine« Höhen in einem einheitlichen System bestimmt werden. Diese Restriktion ergibt sich, da keine direkten Messungen zwischen den GPS-Punkten und den Nivellementpunkten

existieren.

2.6.2 Entwicklung des kinematischen Modells

Für die Bestimmung des Geschwindigkeitsfeldes werden Höhendifferenzen und GPS-Koordinatensätze verwendet.

Nivellementdaten

Ausgehend von der Höhe $H_i^{t_{\text{ref}}}$ des Punktes P_i zum Zeitpunkt t_{ref} kann unter Berücksichtigung der Geschwindigkeit \dot{H}_i die Höhe H_i^t des Punktes P_i zum Zeitpunkt t bestimmt werden. Die Differenz der Punkthöhen $H_j^t - H_i^t$ entspricht der gemessenen Höhendifferenz $\Delta H_{i,j}^t$:

$$\Delta H_{i,j}^t = \underbrace{\left(H_j^{t_{\text{ref}}} + \dot{H}_j \cdot (t - t_{\text{ref}}) \right)}_{H_j^t} - \underbrace{\left(H_i^{t_{\text{ref}}} + \dot{H}_i \cdot (t - t_{\text{ref}}) \right)}_{H_i^t} \quad (2-2)$$

Die Bestimmung der Höhe eines Punktes $H^{t_{\text{ref}}}$ zum Referenzzeitpunkt t_{ref} ist problematisch, da nicht alle Punkte gemeinsam ausgewertet werden können. Die Nivellementbeobachtungen zerfallen in Teilnetze. Diese müssen entsprechende Verknüpfungen aufweisen, um einen Konfigurationsdefekt zu vermeiden (Leonhard 1987).

Das Problem kann vermieden werden, wenn Differenzen von Höhendifferenzen gebildet werden. Die Werte $H^{t_{\text{ref}}}$ werden somit eliminiert:

$$\Delta H_{i,j}^{t_l, t_k} = \Delta H_{i,j}^{t_k} - \Delta H_{i,j}^{t_l} \quad (2-3)$$

$$\Delta H_{i,j}^{t_l, t_k} = \left(\left(H_j^{t_{\text{ref}}} + \dot{H}_j \cdot (t_k - t_{\text{ref}}) \right) - \left(H_i^{t_{\text{ref}}} + \dot{H}_i \cdot (t_k - t_{\text{ref}}) \right) \right) - \left(\left(H_j^{t_{\text{ref}}} + \dot{H}_j \cdot (t_l - t_{\text{ref}}) \right) - \left(H_i^{t_{\text{ref}}} + \dot{H}_i \cdot (t_l - t_{\text{ref}}) \right) \right)$$

$$\Delta H_{i,j}^{t_l, t_k} = H_j^{t_{\text{ref}}} + \dot{H}_j \cdot (t_k - t_{\text{ref}}) - H_i^{t_{\text{ref}}} - \dot{H}_i \cdot (t_k - t_{\text{ref}}) - H_j^{t_{\text{ref}}} - \dot{H}_j \cdot (t_l - t_{\text{ref}}) + H_i^{t_{\text{ref}}} + \dot{H}_i \cdot (t_l - t_{\text{ref}})$$

$$\Delta H_{i,j}^{t_l, t_k} = \dot{H}_j \cdot (t_k - t_l) - \dot{H}_i \cdot (t_k - t_l)$$

$$\Delta H_{i,j}^{t_l, t_k} = (\dot{H}_j - \dot{H}_i) \cdot (t_k - t_l) \quad (2-4)$$

Der Term $\dot{H}_j - \dot{H}_i$ entspricht der Geschwindigkeitsdifferenz zwischen den Punkten P_j und P_i und ist der Quotient aus der doppelten Differenz und dem Zeitintervall zwischen den Messungen.

$$\dot{H}_j - \dot{H}_i = \frac{\Delta H_{i,j}^{t_l, t_k}}{(t_k - t_l)} \quad (2-5)$$

Die Verwendung von Geschwindigkeitsdifferenzen in Verbindung mit einem Geschwindigkeitsfeld ist in [Hohdahl \(1975\)](#); [Gubler \(1984\)](#) beschrieben.

Bei der Verwendung von Geschwindigkeitsdifferenzen kann das Schwerfeld unberücksichtigt bleiben, da bei der Differenzbildung der Einfluss der Schwere eliminiert wird ([Gubler 1984](#)).

In einem linearen Modell werden die Geschwindigkeitsdifferenzen zwischen zwei Punkten als konstant angenommen.

Wird eine Höhendifferenz in zwei Geschwindigkeitsdifferenzen referenziert, so sind die Beobachtungen korreliert, diese Korrelation wird z. Z. nicht berücksichtigt.

GPS/GNSS-Daten

Eine wichtige Basis für die Auswertung sind die **GPS**-Koordinatensätze, da diese kontinuierlich bzw. als Wochenlösung vorliegen. **GPS**-Koordinatensätze liefern vollständige 3D-Koordinaten in einem globalen geozentrischen System mit vollständiger Kovarianzmatrix. Es ist deshalb sinnvoll, das Auswertesystem entsprechend als 3D-Modell auszulegen und die Höhenänderungen als Teilsystem zu definieren.

Basis ist eine lineare Bewegung des Punktes im Horizontsystem:

$$x^t = x^{t_{\text{ref}}} + \dot{x} \cdot (t - t_{\text{ref}}) \quad (2-6)$$

Aufgrund von Antennenwechseln treten regelmäßig Sprünge in der Höhe auf, diese werden durch das Einführen von zeitabhängigen Offsets o^t zur Höhe modelliert. Offsets gelten ab Zeitpunkt der Einführung bis zur Definition eines neuen Offsets.

$$x^t = x^{t_{\text{ref}}} + \underbrace{\dot{x} \cdot (t - t_{\text{ref}})}_{\text{lineare Punktbewegung}} + \underbrace{o^t}_{\text{Offset}} \quad (2-7)$$

GPS-Punkte sind häufig auf Gebäuden installiert, die jahreszeitlichen Schwankungen unterliegen. In Form von Sinusschwingungen können diese saisonalen Bewegungen modelliert werden.

Die Parameter einer Sinusschwingung sind die Amplitude c , die Kreisfrequenz ω sowie die Phasenverschiebung ϕ :

$$c \cdot \sin(\omega + \phi) = c \cdot (\sin \omega \cos \phi + \cos \omega \sin \phi) \quad (\text{Additionstheorem})$$

$$= \underbrace{c \cdot \cos \phi}_a \sin \omega + \underbrace{c \cdot \sin \phi}_b \cos \omega$$

$$\phi = \arctan\left(\frac{b}{a}\right)$$

$$c = \sqrt{a^2 + b^2}$$

Für die Änderung der Koordinaten im lokalen kartesischen System folgt unter Verwendung der Koeffizienten a und b der Sinusschwingung:

$$\begin{aligned} x^t &= x^{t_{\text{ref}}} + \underbrace{\dot{x}(t - t_{\text{ref}})}_{\text{lineare Punktbewegung}} + \underbrace{o^t}_{\text{Offset}} \\ &+ \underbrace{\sum_{k=1}^n \left(a_k \sin(2\pi f_k(t - t_{\text{ref}})) + b_k \cos(2\pi f_k(t - t_{\text{ref}})) \right)}_{\text{saisonale Punktbewegung}} \\ &= x^{t_{\text{ref}}} + \Delta x^t \end{aligned} \quad (2-8)$$

Die Koordinaten der Punkte (Rechts-, Hochwert sowie die ellipsoidische Höhe) zum Referenzzeitpunkt t_{ref} werden vorausgesetzt.

Die Punktbewegungen sind in einem lokalen kartesischen System definiert, während die GPS-Koordinaten in einem globalen kartesischen System vorliegen. Die Änderungen im lokalen System werden in das globale System durch die Rotation:

$$\Delta X^t = A \cdot \Delta x^t \quad (2-9)$$

übertragen.

Die Rotationsmatrix A ist eine Funktion der geographischen Länge Λ und Breite Φ des Punktes (Seeber 1989) und kann bei den geringen Änderungen als zeitinvariant betrachtet werden. Es

werden nur geringe Positionsänderungen erwartet, so dass die physikalische Lotrichtung durch die Ellipsoidnormale ersetzt wird.

$$A = \begin{bmatrix} -\sin\Phi \cos\Lambda & -\sin\Lambda & \cos\Phi \cos\Lambda \\ -\sin\Phi \sin\Lambda & +\cos\Lambda & \cos\Phi \sin\Lambda \\ \cos\Phi & 0 & \sin\Phi \end{bmatrix} \quad (2-10)$$

Über längere Zeiträume kann das Bezugssystem des **GPS** variieren und zu systematischen Abweichungen in den Koordinaten zwischen zwei Epochen führen. Um diesen Effekt zu minimieren, wird eine Transformation in das Auswertemodell integriert: für jede **GPS**-Epoche werden sechs Parameter einer räumlichen Ähnlichkeitstransformation (je drei Translationen T^t und drei Rotationen R^t , der Maßstab wird nicht bestimmt) geschätzt. Es werden somit keine absoluten Datumsinformationen, d. h. absolute Koordinaten, sondern nur relative Informationen bzw. die innere Geometrie des Koordinatensatzes genutzt. Auch das Importieren neuer **GPS**-Koordinatensätze wird vereinfacht, da kein einheitliches Datum für alle Koordinatensätze vorausgesetzt wird.

Definition der Helmert-Transformation für den Übergang geozentrischer Koordinaten X^t in das System der **GPS**-Epoche \bar{X}^t :

$$\bar{X}^t = T^t + R^t \cdot X^t \quad (2-11)$$

Die Rotationsmatrix hat folgenden Aufbau (Seeber 1989):

$$R^t = \begin{bmatrix} +\cos\beta \cos\gamma & \cos\alpha \sin\gamma + \sin\alpha \sin\beta \cos\gamma & \sin\alpha \sin\gamma - \cos\alpha \sin\beta \cos\gamma \\ -\cos\beta \sin\gamma & \cos\alpha \cos\gamma - \sin\alpha \sin\beta \sin\gamma & \sin\beta \cos\gamma + \cos\alpha \sin\beta \sin\gamma \\ \sin\beta & -\sin\alpha \cos\beta & \cos\alpha \cos\beta \end{bmatrix} \quad (2-12)$$

Wird die lineare Geschwindigkeitsänderung im lokalen kartesischen System berücksichtigt ergibt sich für die Transformation:

$$\bar{X}^t = T^t + R^t \left(X^{t_{\text{ref}}} + A(\Delta x^t) \right)$$

$$\bar{X}^t = \underbrace{T^t + R^t}_{\text{globale Transformation}} \left(X^{t_{\text{ref}}} \right)$$

$$\begin{aligned}
& +A \left(\underbrace{\dot{x}(t - t_{\text{ref}})}_{\text{lineare Punktbewegung}} + \underbrace{o^t}_{\text{Offset}} \right. \\
& \left. + \underbrace{\sum_{k=1}^n \left(a_k \sin(2\pi f_k(t - t_{\text{ref}})) + b_k \cos(2\pi f_k(t - t_{\text{ref}})) \right)}_{\text{saisonale Punktbewegung}} \right) \quad (2-13)
\end{aligned}$$

Da das Auswertebiet nur einen kleinen Teil der Erdoberfläche umfasst, sind lokale und globale Parameter hochgradig korreliert, für die Auswertung der **GPS** Daten wird deshalb ein zweistufiges Vorgehen gewählt:

- Bestimmung der globalen Transformationsparameter T^t und R^t ,
- Bestimmung der lokalen Parameter \dot{x} , o^t , a und b unter Berücksichtigung der globalen Transformationsparameter.

Radiale Basisfunktion (RBF)

Das Geschwindigkeitsfeld wird durch eine Linearkombination von radialen Basisfunktionen approximiert (Buhmann 2003; Maresch 2006). Vorteile gegenüber anderen Flächendarstellungen, z. B. *Non-Uniform Rational B-Splines* (**NURBS**) oder Polynomflächen sind:

- einfach zu berechnen,
- kein Ausschwingen an den Rändern wie bei Polynomflächen,
- einfache Integration von Zusatzinformationen in Form von Layern.

Als Basisfunktion wird eine Gaußsche Glockenkurve verwendet:

$$f(x, y) = c \cdot e^{-((x-x_f)^2 + (y-y_f)^2)/\alpha^2} \quad (2-14)$$

Die Höhe c entspricht im Modell der Geschwindigkeit. Der Parameter α beschreibt den Wirkungsbereich der Funktion. Der Quotient $-((x-x_f)^2 + (y-y_f)^2)/\alpha^2$ kann als Quadrat des normierten Abstandes vom Zentrum der Funktion interpretiert werden. Die Parameter x_f und y_f definieren das Zentrum der radialen Basisfunktion. Der Wert der Funktion $f(x, y)$ ist nur abhängig vom Abstand des Punktes vom Zentrum der radialen Basisfunktion, die Funktion ist isotrop. Die Verwendung von Glockenkurven bei der Approximation ergibt eine glatte Oberfläche.

Die Abbildung 2-29 zeigt eine räumliche radiale Basisfunktion mit den Parametern $c = 1$ und $\alpha = \sqrt{2}$. Die Position des Zentrums der radialen Basisfunktion ist durch $x_f = 0$ und $y_f = 0$ gegeben.

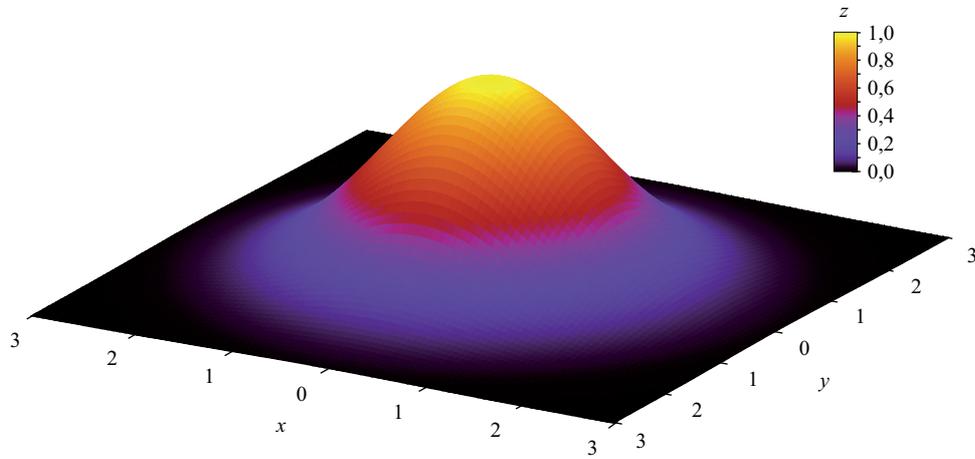


Abb. 2-29: Beispiel einer 3D-radialen Basisfunktion $1,0 \cdot e^{-(x^2+y^2)/2}$.

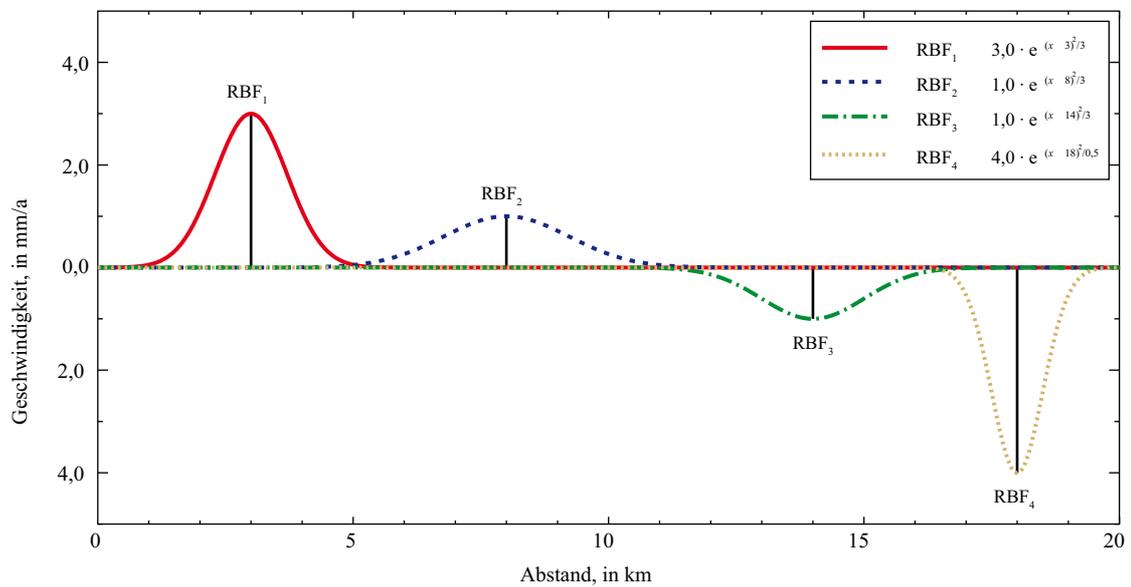


Abb. 2-30: Beispiele von 2D-radialen Basisfunktionen mit unterschiedlicher Höhe und Steilheit.

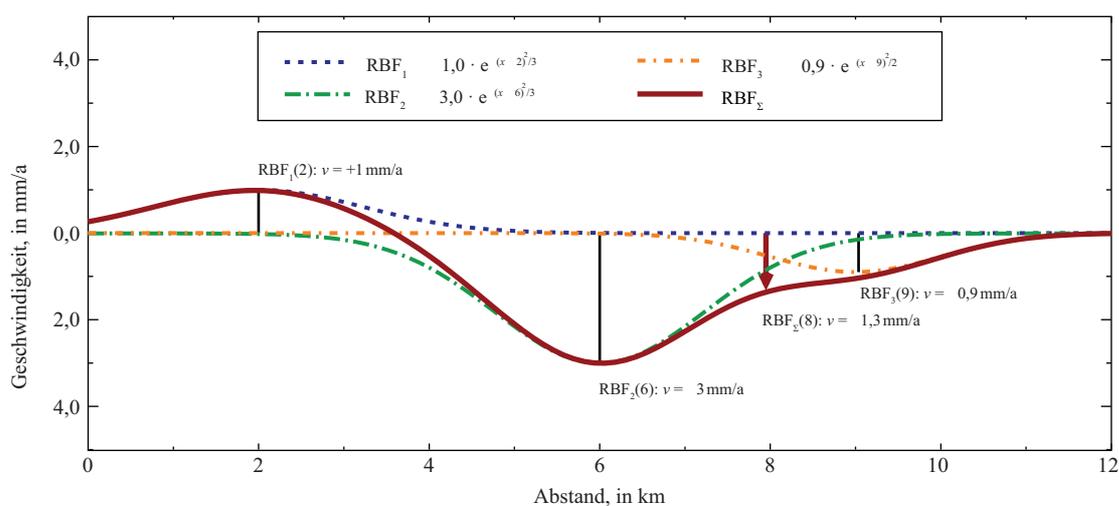


Abb. 2-31: Summation der Anteile zweier radialer Basisfunktionen.

Den Einfluss der Parameter c und α auf die Form einer ebenen radialen Basisfunktion wird in Abbildung 2-30 gezeigt. Die Steilheit der Kurve ist umgekehrt proportional zum Parameter α .

Die Geschwindigkeit ergibt sich aus der Summe der Anteile aller radialen Basisfunktionen, siehe Abbildung 2-31. Die Summe weist einen harmonischen und glatten Verlauf auf. Durch die Wahl der geeigneten Parameter c , α sowie x_f und y_f für jede Glockenkurve, können durch Punkte definierte Kurven approximiert werden.

Für die Ausgestaltung der Approximation mit mehreren radialen Basisfunktionen ist das Verhältnis zwischen dem Parameter α und dem Abstand der Zentren wichtig. In der Abbildung 2-32 sind jeweils zwei radiale Basisfunktionen mit konstantem Abstand dargestellt. Der Parameter α wird variiert.

Des Weiteren wird dieser auf 75% des mittleren Punktabstandes festgelegt. Kriterium für die Wahl von α ist, dass die Kurve nur ein Maximum im Bereich einer Stützstelle aufweisen soll und der Verlauf monoton fallend ist. Ist α zu klein, ergeben sich mehrere Maxima und ist α zu groß, entfernt sich das Maximum von der Stützstelle.

Das Geschwindigkeitsfeld wird jedoch nicht durch eine einzelne radiale Basisfunktion dargestellt, sondern durch mehrere Funktionen, deren Geschwindigkeiten zur Gesamtgeschwindigkeit aufsummiert werden. Die optimalen Parameter für die Geschwindigkeit, für α und für die Position der radialen Basisfunktion kann durch eine Ausgleichung bestimmt werden, sofern ausreichende Messpunkte zur Verfügung stehen.

2.6.3 Realisierung

Das Auswertebereich umfasst den Bereich von der niedersächsischen Nordseeküste im Norden bis in das Leinebergland/Teutoburger Wald im Süden. Es werden nur Bereiche betrachtet, in denen Nivel-

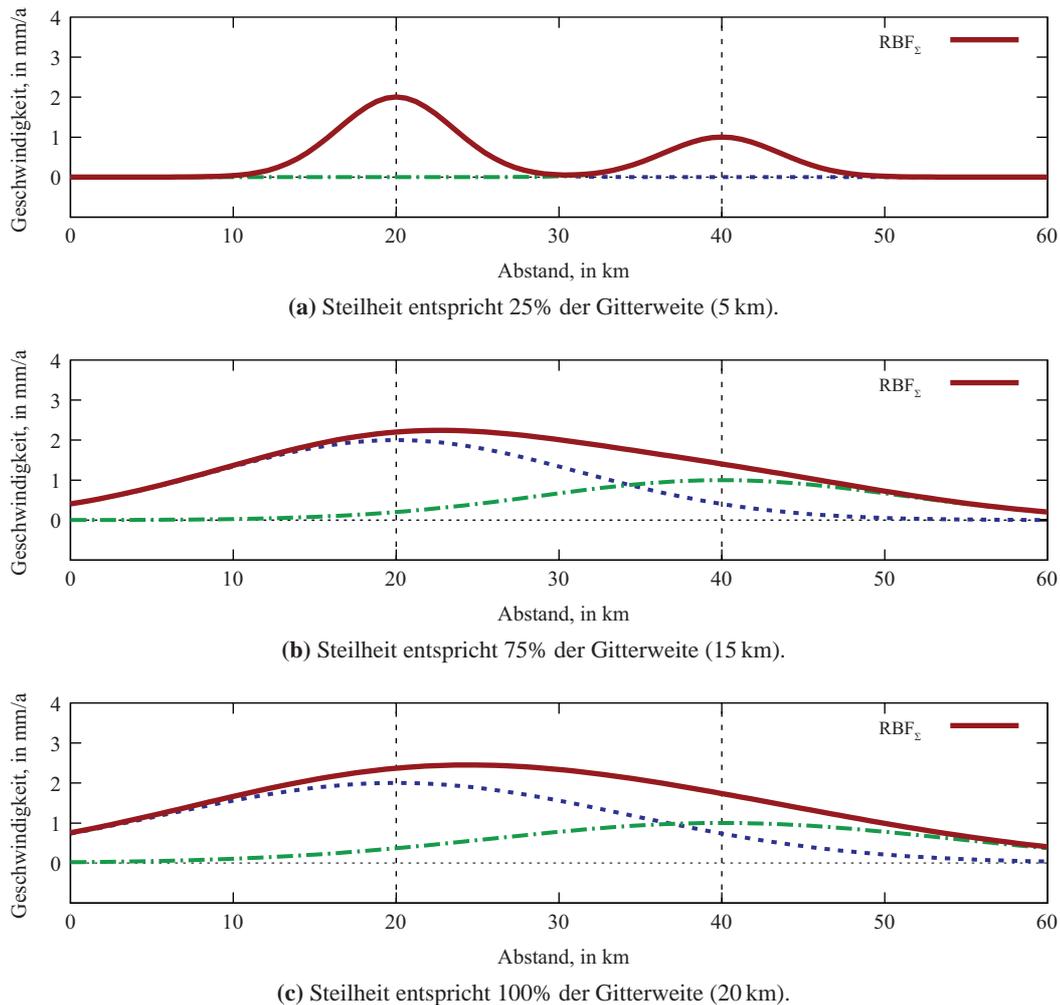


Abb. 2-32: Beispiele von 2D-radialen Basisfunktionen mit unterschiedlicher Steilheit und konstantem Abstand.

lement und GPS-Daten vorliegen, so dass eine gegenseitige Kontrolle der Daten möglich ist.

Nivellement

Als Ausgangsdaten für die Berechnungen werden rohe Höhendifferenzen verwendet. Eventuell bereits angebrachte Korrekturen, z. B. normalorthometrische Korrekturen, sind entfernt. Alle instrumentellen und meteorologischen Korrekturen (z. B. Lattentemperatur) wurden, soweit die dafür notwendigen Informationen vorlagen, angebracht. Jeder Messung wird ein Datum zugeordnet (Mittel aus Anfang und Ende der Messung).

Die Nivellementbeobachtungen können folgenden Fehlereinflüssen unterliegen:

- unzureichende Zeiterfassung:

Für die frühen Jahrgänge ist das Jahr der Messung bekannt. Da in der Regel vom Frühjahr bis in den Herbst gemessen wird, beträgt der Fehler maximal ein viertel Jahr, da das Messdatum auf Jahresmitte gesetzt ist.

- ungenaue Lagekoordinaten:
Die Koordinaten der Nivellementpunkte sind teilweise ungenau, da diese aus Karten abgegriffen wurden.
- Punktverwechslungen, Punktidentitäten:
Es können Punktverwechslungen aufgetreten sein.

Für die Berechnung der doppelten Differenzen müssen jeweils zwei Nivellementstrecken mit identischem Anfangs- und Endpunkt zu unterschiedlichen Zeitpunkten vorliegen. Die Aufbereitung der Höhendifferenzen umfasst folgende Schritte:

- Bildung homogener Messepochen:
Alle Messungen eines Jahres werden zu einer Messepoche zusammengefasst. Jeweils zwei benachbarte Epochen werden auf identische Strecken getestet. Der zeitliche Abstand der Epochen muss mindestens zehn Jahre betragen. Durch diese Zeitspanne wird ein eventueller Fehler in der Datumserfassung auf fünf Prozent reduziert.
- Erfassung identischer Punkte:
Es werden die identischen Punkte zwischen beiden Epochen bestimmt.
 - Besteht eine direkte Verbindung zwischen den Punkten, so wird diese gespeichert.
 - Besteht keine direkte Verbindung, so wird für jede Epoche ein Graph aufgebaut und der kürzeste Weg zwischen den Punkten gesucht. Dabei wird der Dijkstra-Algorithmus verwendet, als Gewichtung der Kanten im Graph dient die Nivellementweglänge.
- Zusammenfassung zusammenhängender Strecken:
Zusammenhängende Strecken werden zu längeren Einheiten zusammengefasst. Um Geschwindigkeitsdifferenzen von 1 mm/km pro zehn Jahre aufdecken zu können, sollten die doppelten Differenzen eine Länge von ca. 4,5 km aufweisen. Dieser Wert wird durch die Vorgabe einer Standardabweichung von $0,5 \text{ mm}/\sqrt{\text{km}}$ für eine Höhendifferenz und einem Signal-Rausch-Verhältnis von 3 bestimmt. Durch den Aufbau längerer Strecken verringert sich auch der relative Fehler aufgrund ungenauer Koordinaten.

Die Bildung von doppelten Differenzen mit einem Zeitabstand von zehn Jahren und einer Länge von 4,5 km wirkt als Tiefpassfilter. Lokale Störungen werden gefiltert, die Auflösung des Modells entsprechend verringert. Dies ist kein Nachteil, da nur großräumige Bewegungen detektiert werden sollen.

GPS/GNSS

Die **GPS**-Koordinatensätze sind Wochenlösungen, die vom Programm WaSoft/Netz erzeugt wurden. Für die Datumsfestlegung wurde ein »weiches« Datum gewählt. Neben den Koordinaten steht auch die Kovarianzmatrix zur Verfügung.

Radiale Basisfunktionen

Der Parameter α und der Ort (x_f, y_f) sind individuell für jede **RBF** vorgegeben. α wird auf ca. 75% des mittleren Punktabstandes zwischen den **SAPOS**-Stationen festgelegt, dies entspricht einem Abstand von ca. 20 km.

Für die Auswertung der **GPS**-Daten werden die Zentren der radialen Basisfunktionen auf die **SAPOS**-Stationen mit den **GPS**-Messungen positioniert. Beim Auswerten von Nivellementdaten werden die Zentren in den Bereich der maximalen Geschwindigkeitsänderung platziert. Bei der Kombination aller Beobachtungen werden die Zentren der radialen Basisfunktionen aus beiden Auswertungen übernommen, bei zwei benachbarten Basisfunktionen wird die **GPS**-Station beibehalten.

Die Geschwindigkeiten der radialen Basisfunktionen werden in der Ausgleichung geschätzt.

2.6.4 Ausgleichung

Es erfolgt eine Ausgleichung nach vermittelnden Beobachtungen (Niemeier 2002; Jäger, Müller, Saler und Schwäble 2005) in zwei Stufen:

1. Bestimmung der Transformationsparameter aller **GPS**-Epochen in Bezug zu den Referenzpunkten.
2. Bestimmung des Geschwindigkeitsfeldes auf Basis der mit in Stufe 1 bestimmten Parametern transformierten Punkte.

Die Beobachtungen werden als Funktion der unbekannt Parameter definiert. Die Ausgleichung erfolgt iterativ, die Parameter werden schrittweise verbessert und grobe Beobachtungsfehler werden abgewichtet. Dabei wird auch die Gruppengenauigkeit angepasst. Jede **GPS**-Epoche und alle doppelten Differenzen bilden jeweils eine Gruppe.

Bestimmung der Transformationsparameter

Es liegen insgesamt 327 **GPS**-Epochen für den Zeitraum vom 26. 09. 2000 bis zum 03. 01. 2007 vor. Die Beobachtungen werden als unkorreliert betrachtet, die Genauigkeit wird mit 1 mm angenommen.

Die sechs identischen Punkte für die Transformation sind:

- 0640 **SAPOS**, Dach der LGN, Podbielskistraße. 331, 30659 Hannover

- 0642 SAPOS, Dach des Katasteramtes, Mercatorstraße 4 und 6, 49080 Osnabrück
- 0652 SAPOS, Dach des Katasteramtes, Neue Wiese 11, 31061 Alfeld
- 0658 SAPOS, Dach des Katasteramtes, Schilfstraße 6, 48529 Nordhorn
- 0668 SAPOS, Dach des Rathauses, Mühlenstraße 18, 49401 Damme
- PTBB IGS, Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), Braunschweig

Pro Epoche werden sechs Parameter (3 Translationen, 3 Rotationen) für jede GPS-Epoche geschätzt. Die Rotationen beziehen sich auf den Schwerpunkt des Netzes, somit sind Translation und Rotation nicht korreliert. Für jeden Punkt können mehrere zeitabhängige Offsets geschätzt werden. Die Offsets basieren auf bekannten Antennenwechseln und erkennbaren Sprüngen in den Zeitreihen der Punktkoordinaten.

Es wird jeweils auf die GPS-Koordinaten der Epoche t_{ref} transformiert. Die Epoche t_{ref} entspricht der ersten GPS-Epoche vom 26. 09. 2000.

Bestimmung des Geschwindigkeitsfeldes

Im Auswertebereich liegen insgesamt 39.861 Nivellementbeobachtungen vor. Davon sind 1215 Mehrfachmessungen und 12.622 Hin- und Rückmessungen. Somit verbleiben noch 26.024 Nivellementbeobachtungen. Aus diesen Nivellementbeobachtungen werden 555 doppelte Differenzen mit einer

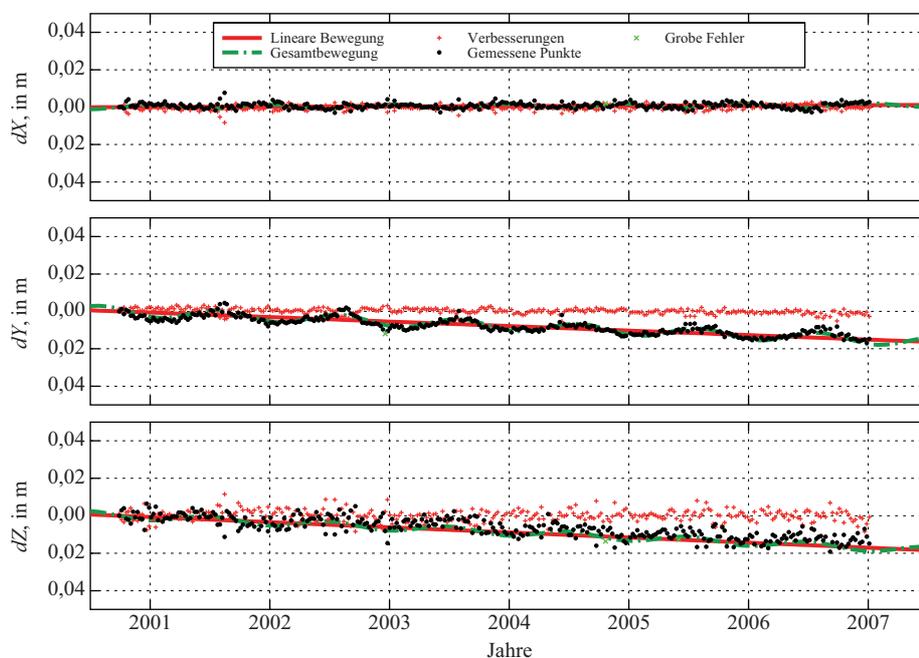


Abb. 2-33: Zeitreihe des Punktes 0647 (Emden).

Länge von minimal 4 km abgeleitet. Für den Übergang zwischen den Ostfriesischen Inseln wurden 3 doppelte Differenzen manuell berechnet und eingetragen. Um doppelte Differenzen bilden zu können, wurden die Jahre 1954/1956 und 1957 zum Jahr 1956 und 1984 und 1985 zum Jahr 1984 zusammengefasst.

Für die Bestimmung des Geschwindigkeitsfeldes werden die **GPS**-Epochen aus Abschnitt 2.6.4 verwendet. Aus Antennenwechseln und Sprüngen in den Zeitreihen der Punktkoordinaten werden Offsets abgeleitet. Für ausgewählte Punkte werden saisonale Bewegungen in Form von Sinusschwingungen im Jahresrhythmus zugelassen.

Abbildung 2-33 zeigt das Bewegungsverhalten des Punktes 0647 (Emden). Auffällig ist die Senkung des Punktes sowie die ausgeprägte saisonale Bewegung in der y -Komponente und die etwas verrauschte Höhe.

2.6.5 IKÜS-Software

In der **IKÜS**-Software wird das im Abschnitt 2.6.2 beschriebene Modell realisiert. Für diesen Zweck wurden die Konsolenprogramme `nivbeo` und `ikues` entwickelt. Die Programmierung erfolgte in der Programmiersprache C++ in einer Microsoft Visual Studio 2005 Umgebung und baut auf dem bereits bestehenden Programmsystem Panda der Firma GEOTEC GmbH auf. Weiterhin wurden Funktionen des frei verfügbaren *GPS-Toolkits* (<http://www.gpstk.org>) und der quelloffenen *Boost Library* (<http://www.boost.org>) verwendet.

Das Programm `nivbeo` dient der Aufbereitung der zur Verfügung stehenden Nivellementbeobachtungen:

Aufbereiten der Höhendifferenzen

- lesen der Höhendifferenzen aus der **IKÜS**-Datenbank,
- ersetzen der Punktbezeichnung durch die **IKÜS**-Punktnummer,
- alle Beobachtungen zwischen identischen Punkten werden in einem Vektor gespeichert,
- sortieren der Beobachtungen zwischen zwei Punkten nach dem Beobachtungsdatum,
- mitteln von Wiederholungsmessungen,
- mitteln von Hin- und Rückmessungen,
- Kontrolle auf grobe Fehler

Berechnen der doppelten Differenzen

- Beobachtungen eines Jahres werden zu einer Epoche zusammengefasst,

- Vergleich von zwei Epochen, deren zeitlicher Abstand mindestens 10 Jahre beträgt:
 - suchen identischer Punkte in den zu vergleichenden Epochen,
 - in jeder Epoche werden die kürzesten Verbindungen zwischen den identischen Punkten bestimmt,
 - berechnen der doppelten Differenzen zwischen den identischen Punkten aus den Höhendifferenzen beider Epochen,
 - bilden von Linien doppelter Differenzen mit Längen von mindestens 4 km,
 - Markieren der verwendeten Beobachtungen um eine Mehrfachnutzung zu vermeiden. Eine Beobachtung wird maximal in zwei Vergleichen verwendet.
- speichern der berechneten doppelten Differenzen in der **IKÜS**-Datenbank.

Das Programm-Modul `ikues` berechnet das in Abschnitt 2.6.2 beschriebene Geschwindigkeitsmodell. Die Eingangsdaten (**GPS**-Epochen und doppelte Differenzen der Nivellementbeobachtungen) und die Zusatzinformationen (zu bestimmende Parameter der **SAPOS**-Stationen und die Positionen der Radialen Basisfunktionen) werden der **IKÜS**-Datenbank entnommen. Als Ergebnis wird ein Protokoll mit den berechneten Offsets, den saisonalen Bewegungen der **SAPOS**-Stationen und den Parametern der Radialen Basisfunktionen erzeugt. Für die Generierung der Graphik mit **GMT** (*Generic Mapping Tools*, <http://gmt.soest.hawaii.edu>) wird eine Datei mit entsprechenden Gitterdaten erzeugt.

Die Lösung wird nach vermittelnden Beobachtungen unter Minimierung der Verbesserungsquadratsumme (L2-Norm) ermittelt. Das Programm verwendet eine Profilspeichertechnik und berechnet die inverse Normalgleichungsmatrix basierend auf dem Cholesky-Algorithmus. Um grobe Beobachtungsfehler zu eliminieren und die Genauigkeiten im Rahmen einer Varianzkomponentenschätzung zu korrigieren, wird eine iterative Ausgleichung mit Fehlersuche durchgeführt.

Folgende Schritte werden vom Programm `ikues` durchgeführt:

1. Berechnung der Transformationsparameter für die **GPS**-Epochen bezogen auf die Referenzpunkte:
 - lesen der **GPS**-Epochen aus der **IKÜS**-Datenbank,
 - bestimmen der Unbekannten (Transformationsparameter für jede **GPS**-Epoche und Offsets in den **SAPOS**-Stationen),
 - iterative Ausgleichung zur Bestimmung der Parameter,
 - speichern der bestimmten Transformationsparameter in der **IKÜS**-Datenbank.
2. Berechnung des Geschwindigkeitsfeldes:

- lesen der **GPS**-Epochen und der doppelten Differenzen aus der **IKÜS**-Datenbank,
- Transformation der **GPS**-Koordinaten entsprechend der in Stufe 1 ermittelten Transformationsparameter,
- bestimmen der Unbekannten (Parameter der Radialen Basisfunktionen, Offsets- und saisonale Parameter der **SAPOS**-Stationen),
- iterative Ausgleichung zur Bestimmung der Parameter,
- erzeugen der Graphiken mittels **GMT**,
- erstellen der Protokolldatei.

2.6.6 Ergebnis

Die Abbildungen 2-34 und 2-35 zeigen die Ergebnisse des Geschwindigkeitsfeldes, welche zum einen aus Nivellementdaten und zum anderen aus **GPS**-Daten abgeleitet wurden.

Die Abbildung 2-36 zeigt das Ergebnis des Geschwindigkeitsfeld aus der Kombination der Nivellement- und **GPS**-Daten.

Im Bereich des Dollarts, im Westen des Jadebusens sowie an der Elbmündung in der Nähe von Cuxhaven ergibt sich übereinstimmend aus den Nivellement- und **GPS**-Daten eine Senkung des Gebietes mit einer vergleichbaren Geschwindigkeit. Im Bereich der Ostfriesischen Inseln liegen in der Regel nur **GPS**-Informationen vor. Die Senkung ist begründet durch die gleichartigen Bewegungen

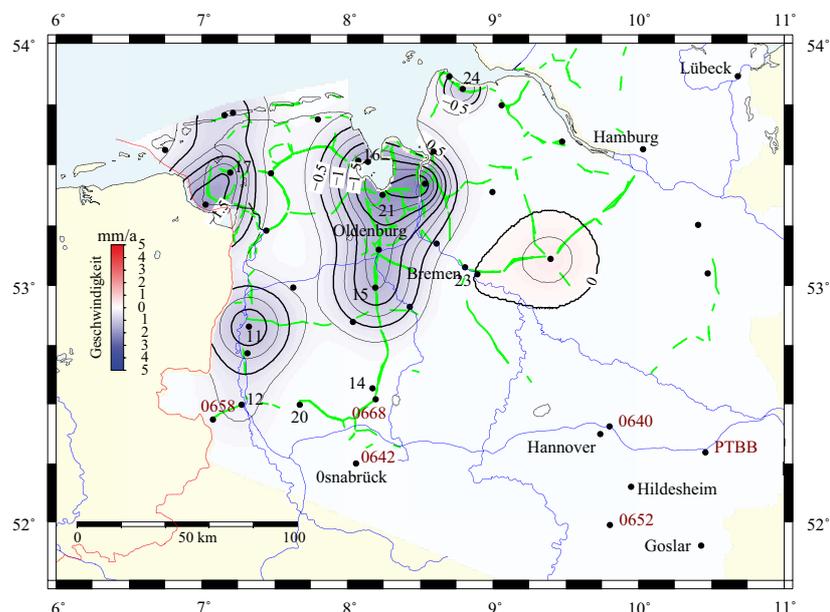


Abb. 2-34: Geschwindigkeitsfeld als Ergebnis der Auswertung der Nivellementdaten. Die Positionen der radialen Basisfunktionen sind durch einen Punkt gekennzeichnet.

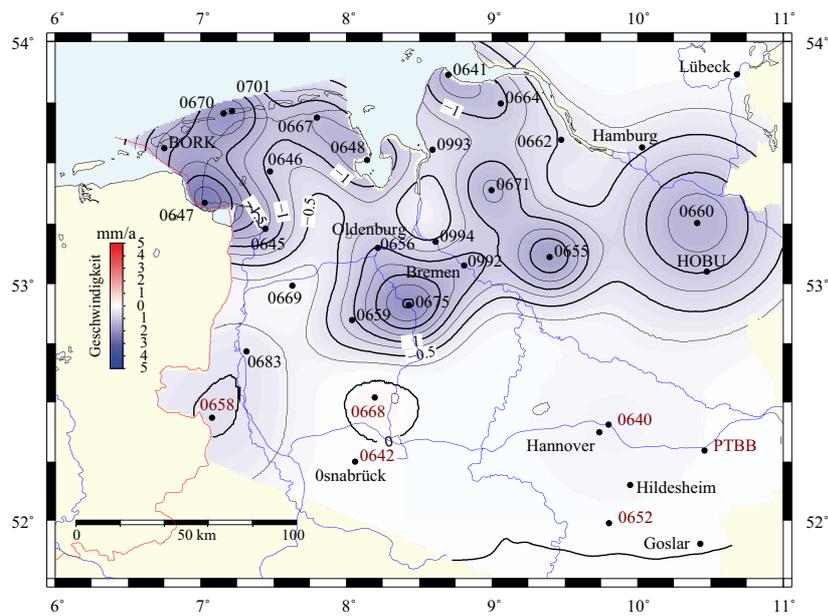


Abb. 2-35: Geschwindigkeitsfeld als Ergebnis der Auswertung der GPS-Daten. Die Positionen der radialen Basisfunktionen sind durch einen Punkt gekennzeichnet und entsprechen den SAPOS-Stationen. Rot sind jeweils die Referenzstationen für die Transformation der GPS-Epochen dargestellt.

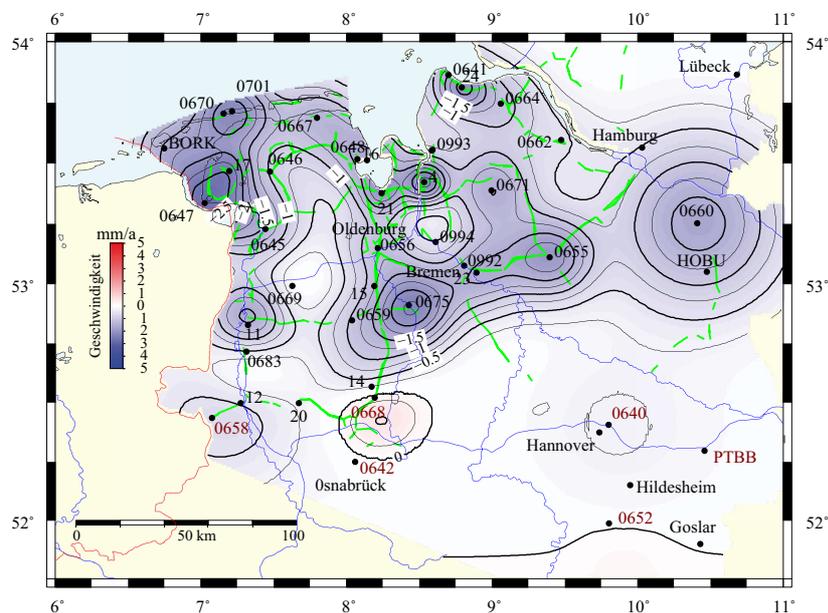


Abb. 2-36: Geschwindigkeitsfeld als Ergebnis der Kombination von Nivellement- und GPS-Daten. Die Positionen der radialen Basisfunktionen sind durch einen Punkt gekennzeichnet und entsprechen den SAPOS-Stationen. Rot sind jeweils die Referenzstationen für die Transformation der GPS-Epochen dargestellt.

der Punkte 0670 und 0701. Im Bereich der Punkte 0671 und 0655 ist in den Nivellementdaten keine Senkung abzulesen.

Aus den linienhaften Informationen des Nivellement und den punktbezogenen Daten der SAPOS-Stationen wird ein flächenhaftes Geschwindigkeitsfeld abgeleitet. Das Ergebnis basiert somit auf einer Extrapolation, dies ist bei einer Interpretation der Ergebnisse zu berücksichtigen. Es wird eine lineare Geschwindigkeit über den gesamten Bearbeitungszeitraum angenommen, für bestimmte Gebiete, z. B. im Bereich des Dollarts mit der Gasentnahme im Groninger Gasfeld, ist diese Annahme problematisch.

2.7 Gesamtergebnisse

2.7.1 Aufbereitete Messdaten

In Vorbereitung auf eine gemeinsame Auswertung der höhenrelevanten, geodätischen Messungen mussten diese analysiert und aufbereitet werden.

Es wurden sämtliche Nivellementsdaten der Landesvermessungsämter, die für Nordwestdeutschland vorliegen, für **IKÜS** bearbeitet. Dies sind insbesondere die Messkampagne zum **DHHN 12**, **NKN I**, **NKN II**, **DHHN 85**, **NKN III** und **DHHN 92**. Zielsetzung war es, Höhenunterschiede zwischen Nivellementpunkten zur Verfügung zu stellen. Lagen nur ausgeglichene Höhen vor, so wurden diese in »Rohbeobachtungen« unter Berücksichtigung von Ausgleichungsverbesserungen, Reduktionen und tlw. auch Korrekturen zurückgerechnet. Zusätzlich wurden alle verfügbaren Nivellements der **BfG** und **WSV** im Küstenbereich aufbereitet. Dabei wurden originale Feldbuchaufzeichnungen genutzt, um eventuell auftretende Digitalisierungsfehler zu minimieren. Da viele Nivellementpunkte über die Jahre mehr als eine Punktbezeichnung bekommen haben, wurden Punktidentitäten mit großem Aufwand identifiziert und diese Informationen mit den Messdaten in der **IKÜS**-Datenbank gespeichert.

Die **GPS/GNSS**-Beobachtungen aus dem nordwestdeutschen Bereich reichen bis etwa 1995 zurück. Die Beobachtungsdaten vor 1998 waren aber von vergleichsweise schlechter Qualität, so dass sich die homogene Gesamtauswertung nur auf den Zeitraum von 1998 bis 2007 bezieht. Vertikale (und auch horizontale) Stationsbewegungen konnten auf der Basis von Wochenlösungen analysiert werden. Insgesamt wurden 441 **GPS**-Wochenlösungen in die **IKÜS**-Datenbank übernommen, wobei aufgrund von Verbesserungen in der **GPS**-Antennen- und -Empfängertechnik vielfach erst ab dem Jahr 2000 eine ausreichend hohe Ergebnisqualität erzielbar war.

Nur solche absolute Schwerewerte, die ab Mitte der 1990er Jahre gemessen wurden, weisen eine Qualität auf, die eine Bestimmung kleiner Höhenänderungen aus Schwereänderungen ermöglichen könnte. Die entsprechenden vom **BKG** zur Verfügung gestellten Absolutschweremessungen wurden in die **IKÜS**-Datenbank aufgenommen. Aufgrund der geringen Datengrundlage konnten sie aber

keinen Beitrag zur Berechnung des Höhen-Geschwindigkeitsfeldes liefern.

Bei den Messungen an den Pegeln konzentrierte sich die Analyse und Aufbereitung insbesondere auf die geodätischen Pegelinformationen, also auf die nivellitischen Verbindungsmessungen zwischen Pegeln und Landeshöhennetz einerseits und den lokalen Nivellements zwischen Pegelfestpunkten und dem Pegelnullpunkt andererseits. Die Messungen wurden aufbereitet und in die **IKÜS**-Datenbank übernommen. Die zugehörigen Wasserstände wurden analysiert und mit zugehörigen Metainformationen in die Datenbank eingearbeitet.

2.7.2 IKÜS-Datenbank

Um Daten, die aus verschiedenen Quellen stammen und unterschiedliche Eigenschaften haben, in einem mathematischen Modell zu kombinieren, ist ein einheitlicher Datenzugriff eine grundlegende Voraussetzung. Dafür wurde im Projekt eine Datenbank entwickelt und mit den Beobachtungen der verschiedenen Sensoren gefüllt. Als Ergebnis entstand eine einmalig konsistente Datenbasis von homogenen höhenrelevanten Zeitreihen für das Gebiet der Nordseeküste. Diese diente dem **IKÜS**-Projekt als Grundlage aller Untersuchungen und sie wird auch für zukünftige wissenschaftliche Analysen zur Verfügung stehen.

Bei der Entwicklung der **IKÜS**-Datenbank wurden für die einzelnen Datentypen der höhenrelevanten Sensoren standardisierte Austauschformate festgelegt, sofern diese für die **IKÜS**-relevanten Informationen existieren. Alternativ wurden Datenformate um weitere Informationen ergänzt oder neu als **IKÜS**-Format definiert. Auf diese Weise konnte eine offene Datenbank realisiert werden, die auch für zukünftige Messdaten offen ist. So wird es auch in Zukunft möglich sein, regelmäßig neue Höhenbestimmungen der unterschiedlichen Sensoren in die Datenbank einzufügen und so aktuelle und verbesserte Gesamtlösungen zu rechnen. Durch die Speicherung aller originalen Rohbeobachtungen in der Datenbank, wird zudem eine spätere, verbesserte Nachbearbeitung und Analyse der Daten ermöglicht.

Eine zugehörige Online-Dokumentation der Datenbank enthält Inhaltsbeschreibungen und Einheitenangaben aller Datenfelder und erleichtert damit die Navigation innerhalb der Datenbank. Die verwendeten Kommentarfelder in den Datenbanktabellen ermöglichen eine Interpretation der Datensätze ohne vorheriges Studium der Dokumentation.

Für den Aufbau der Datenbank wurden bestehende Hard- und Softwarestrukturen der **LGN** genutzt, die eine optimale Pflege der Datenbank gewährleisten sollen und gleichzeitig eine besonders wirtschaftliche Lösung bieten. Das im **LGN**-Netz integrierte »**IKUES-Portal**« ermöglicht einen aktuellen Zugriff auf die Produkte des Projektes sowie dynamische Zugriffe auf definierte Datenbankinhalte (www.lgnapp.niedersachsen.de/ikues).

2.7.3 IKÜS-Software und Höhen-Geschwindigkeitsfeld

Mathematische Basis für die Erzeugung eines Höhen-Geschwindigkeitsfeld sind radiale Basisfunktionen in Gestalt von Gauß'schen Glockenkurven. Dieser Modellansatz zur gemeinsamen Auswertung der höhenrelevanten Messungen wurden softwaretechnisch in der **IKÜS**-Software realisiert.

Die Anwendung der **IKÜS**-Software, also die eigentliche **IKÜS**-Auswertung, beschränkte sich dabei weitestgehend auf Gebiete, für die sowohl Nivellement- als auch **GPS**-Daten vorlagen, so dass eine gegenseitige Kontrolle möglich war. Die Höhenänderungen beziehen sich auf Referenzpunkte im südlichen Bergland von Niedersachsen, die als stabil angenommen werden. Es werden nicht Bewegungen einzelner Punkte geschätzt, sondern es wird ein lineares Höhen-Geschwindigkeitsfeld unter Berücksichtigung der Nachbarschaft generiert.

Aus nivellitischen Höhendifferenzen, die zwischen 1919 und 2001 gemessen wurden, wurden Geschwindigkeitsdifferenzen (doppelte Differenzen) abgeleitet und in das Modell integriert. Für die Berechnung von Geschwindigkeitsdifferenzen wurden Messungen zwischen identischen Punkten verwendet. Der Abstand zwischen den Punkten beträgt mindestens vier Kilometer, die Zeitdifferenz zwischen den Messungen mindestens zehn Jahre.

Die **GPS**-Auswertergebnisse liegen als Wochenlösungen des jeweiligen Gesamtnetzes vor. Für jede **GPS**-Station können Zusatzparameter (Offsets oder saisonale Bewegungen) eingeführt werden. Da die aus **GPS** abgeleiteten Punktkoordinaten als 3D-Daten vorliegen, wird das Auswertesystem auch in 3D definiert. Die Geschwindigkeiten und eventuelle Zusatzparameter werden im Horizontsystem bestimmt. Da die **GPS**-Punkte im globalen kartesischen Koordinaten vorliegen, werden die Änderungen vom Horizontsystem in das global kartesische System gedreht und durch eine Transformation in das System der **GPS**-Wochenlösung transformiert. Durch die Transformation wird nur die innere Geometrie der **GPS**-Wochenlösungen verwendet.

Die Zentren und die Steilheit der radialen Basisfunktionen werden vorgegeben, die Höhe wird in der Ausgleichung bestimmt. Die Zentren wurden bei den bisherigen Auswertungen in den **GPS**-Punkten angesiedelt. In Gebieten, in denen nur Nivellementdaten vorlagen, wurden die radialen Basisfunktionen im Bereich großer Geschwindigkeitsänderungen positioniert. Ihre Steilheit wurde so gewählt, dass die radialen Basisfunktionen als Tiefpassfilter wirkten und somit nur großräumige Bewegungen detektiert wurden.

Um den Bezug zu den Referenzpunkten herzustellen, wurden in einer Ausgleichung die Transformationsparameter der **GPS**-Epochen bezogen auf die Referenzpunkte bestimmt. In einer anschließenden kombinierten Ausgleichung von Nivellementdaten und den transformierten **GPS**-Epochen wurde das Geschwindigkeitsfeld und die Zusatzparameter der **GPS**-Punkte bestimmt.

Im Bereich des Dollarts, im Westen des Jadebusens sowie an der Elbmündung in der Nähe von Cuxhaven ergab sich übereinstimmend aus den Nivellement- und **GPS**-Daten eine Senkung des Gebietes mit einer vergleichbaren Geschwindigkeit.

Aus den linienhaften Informationen des Nivellement und den punktbezogenen Daten der **GPS**-Stationen wird ein flächenhaftes Geschwindigkeitsfeld abgeleitet. Das Ergebnis basiert somit auf einer Extrapolation, dies ist bei einer Interpretation der Ergebnisse zu berücksichtigen. Es wird eine lineare Geschwindigkeit über den gesamten Bearbeitungszeitraum angenommen, für bestimmte Gebiete, z. B. im Bereich des Dollarts mit der Gasentnahme im Groninger Gasfeld, ist diese Annahme aber problematisch.

Literaturverzeichnis

- AdV. (1960). *Die Wiederholung des deutschen Nordseeküstennivellements in den Jahren 1949 bis 1955 (1959) und der Vergleich mit der ersten Messung in den Jahren 1928 bis 1931 (1937)* (Forschungsbericht). 9, 11
- AdV. (1993). *Die Wiederholungsmessungen 1980 bis 1985 im Deutschen Haupthöhennetz und das Haupthöhennetz 1985 der Bundesrepublik Deutschland* (Bericht). München. 4
- AdV. (2007). *Feldanweisung für die Präzisionsnivellements zur Erneuerung und Wiederholung des Deutschen Haupthöhennetzes (DHHN) im Zeitraum 2006 bis 2011* (Forschungsbericht). 29, 46
- AdV. (2008a). *Dokumentation zur Modellierung der Geoinformationen des amtlichen Vermessungswesens (GeoInfoDok)* (Bericht Nr. 6.0). 44
- AdV. (2008b). *Webseite der Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland*. Zugriff 04.06.2008, unter <http://www.adv-online.de> 9
- Baker, T. F. (1993). Absolute sea level measurements, climate change and vertical crustal movements. *Global and Planetary Change*, 8, 149–159. 1
- Brussel, G. (2000). *Endbericht des hydrostatischen Nivellements im Emsbereich* (Abschlussbericht). Rijkswaterstaat. 38
- Buhmann, M. D. (2003). *Radial Basis Functions*. Cambridge University Press. 53
- Georgiadou, Y. und Kleusberg, A. (1988). On Carrier Phase Multipath Effects in Relative GPS Positioning. *Manuscripta Geodaetica*, 13, 172–179. 21
- Gubler, E. (1984). Die Bestimmung rezenter Krustenbewegungen mit Hilfe von Präzisionsnivellements – Ein Überblick. *Vermessungswesen und Raumordnung*, 46(2), 97–106. 50
- Gurtner, W. (2002). *RINEX: The Receiver Independent Exchange Format*. Zugriff 1.9.2008, unter <ftp://ftp.unibe.ch/aiub/rinex/> 21
- Hohdahl, S. R. (1975). *Models and Strategies for Computing Vertical Crustal Movement in the United States*. International Symposium on Crustal Movements. 50
- Jensen, J. und Mudersbach, C. (2004). Zeitliche Änderungen in den Wasserstandszeitreihen an den Deutschen Küsten. In *Tagungsband Workshop: Klimänderung und Küstenschutz* (S. 115–128). Hamburg. 28
- Jäger, R., Müller, T., Saler, H. und Schwäble, R. (2005). *Klassische und robuste Ausgleichungsverfahren*. Heidelberg: Herbert Wichmann Verlag. 58

- Keysers, C. J. (2001). *Erfassung von Schwereänderungen in zwei lokalen Netzen in der Niederrheinischen Bucht von 1998 bis 2000*. Shaker Verlag, Aachen. 40
- Kunz und Köves. (1991). *ATSE Automatische Tidescheitelwerterkennung* (Programmbeschreibung). Wasser- und Schifffahrtsamt Cuxhaven. 37
- Lang, H. und Steinberg, J. (1993). Zur Entwicklung der Höhennetze auf dem Territorium der neuen Bundesländer. *Allgemeine Vermessungs-Nachrichten*, 100(8–9), 295–309. 4
- LAWA und BMV (Hg.). (1997). *Pegelvorschrift*. Berlin und Bonn. 26, 27, 28, 31
- Leonhard, T. (1987). *Zur Berechnung von Höhenänderungen in Norddeutschland – Modelldiskussion, Lösbarkeitsanalyse und numerische Ergebnisse*. Dissertation, Universität Hannover, Fachrichtung Vermessungswesen, Hannover. 7, 49
- Lockman, D., Debes, N., Czarski, C. und Menge, J. (2002). *Oracle 9i – Datenbankentwicklung*. Markt+Technik Verlag, München. 45
- Loney, K. (2005). *Oracle Database 10g – Die umfassende Referenz*. Carl Hanser Verlag München Wien. 44
- Maresch, T. (2006). *Mathematik-Verknüpfung von 2D- und 3D- Punktwolken*. Dissertation, Justus-Liebig-Universität Gießen, Gießen. 53
- Niemeier, W. (2002). *Ausgleichsrechnung : Eine Einführung für Studierende und Praktiker des Vermessungs- und Geoinformationswesens*. Berlin: de Gruyter. 58
- NN-SAT. (2002). *Entwickeln einer Methodik zur universellen Höhenüberwachung von Küstenpegeln (NN-SAT)* (Abschlussbericht des BMBF Förderprojektes 03KIS 5+6). Bundesanstalt für Gewässerkunde, Technische Universität Dresden. 4, 5
- Ray, J. K. (2000). *Mitigation of GPS code and carrier phase multipath effects using a multi-antenna system*. Ph.D. Dissertation, University of Calgary, Calgary. (UCGE Reports No. 20136) 5
- Reichsamt für Landesaufnahme. (1927). *Die Nivellements von hoher Genauigkeit, Höhen über NN im neuen System der Trigonometrischen Abteilung des Reichsamts für Landesaufnahme*. Selbstverlag. 11
- Reichsamt für Landesaufnahme. (1932). *Die Feineinwägungen zur Beobachtung säkularer Bodenbewegungen im Gebiet der deutschen Nordseeküste, Nordseeküstennivellement 1928 bis 1931*. Selbstverlag. 7
- Richter, B., Wilmes, H., Franke, A., Reinhardt, E. und Torge, W. (1998). Das Deutsche Schweregrundnetz 1994 (DSGN 94). *ZfV*, 123, 363–370. 5
- Rost, C. und Wanninger, L. (2009). Carrier phase multipath mitigation based on GNSS signal quality measurements. *Journal of Applied Geodesy*. (eingereicht) 21
- Seeber, G. (1989). *Satellitengeodäsie*. Berlin: de Gruyter. 51, 52
- SINEX Working Group. (1996). *SINEX - Solution (Software/technique) INdependent EXchange Format (Version 1.00)*. 16

- Teferle, F., Bingley, R., Williams, S., Baker, T. und Dodson, A. (2006). Using continuous GPS and absolute gravity to separate vertical land movements and changes in sea-level at tide-gauges in the UK. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 364(1841), 917–930. 1
- Unilog Integrata Training AG. (2006). *Oracle Datenbankmodellierung und Datenbankdesign*. Seminarunterlagen. 42
- Vestøl, O. (2006). Determination of Postglacial Land Uplift in Fennoscandia from Leveling, Tide-gauges and Continuous GPS Stations using Least Squares Collocation. *Journal of Geodesy*, 80(5), 248–258. 48
- Wanninger, L. (2002). Aus zwei mach eins: Kombination der Beobachtungen von GPS-Referenzstationspaaren. *AVN Allgemeine Vermessungs-Nachrichten*, 109(10), 352–358. 5
- Wanninger, L. (2003). Detailanalyse der Mehrwegeverhältnisse auf dem Dach einer GPS-Referenzstation. In 5. *GPS-Antennenworkshop*. Frankfurt/Main. 21
- Wanninger, L. (2009). Correction of apparent position shifts caused by GNSS antenna changes. *GPS Solution*. (DOI 10.1007/s10291-008-0106-z) 24
- Weill, L. R. (2002). Multipath mitigation using modernized GPS signals: How good can it get? In *ION GPS 2002* (S. 493–505). Portland, Oregon. 4
- Wilmes, H., Richter, B. und Ihde, J. (2003). The contribution of gravity to the European Combined Geodetic Network (ECGN). In *Proceeding EUREF Symposium*. Toledo. 5
- Wolfram, S. (1999). *Untersuchungen zum Aufbau kinematischer Höhennetze*. Diplomarbeit, Technische Universität Dresden, Geodätisches Institut, Dresden. 5
- Wübbena, G., Schmitz, M. und Boettcher, G. (2003). Zum Einfluss des Antennennahfeldes. In 5. *GPS-Antennenworkshop*. Frankfurt/Main. 21

A Anhang

A.1 Nivellement

Tab. A-1: Übersicht der verfügbaren Metainformationen der einzelnen Höhennetze

$m_1 = m_R$ = mittlerer Fehler der Gewichtseinheit aus streckenweisen Unterschieden;

$m_2 = m_L$ = mittlerer Fehler der Gewichtseinheit aus linienweisen Unterschieden;

$m_3 = m_A$ = mittlerer Fehler der Gewichtseinheit aus den Ausgleichungsverbesserungen;

s_0 = empirische Standardabweichung der Gewichtseinheit aus den Ausgleichungsverbesserungen;

* Angaben für DHHN-Netzteil II umfasst IKÜS-Bearbeitungsgebiet;

** $s_0 = m_3$.

Epoche	Bezeichnung	Höhenstatus	Hersteller	Zeitraum	Anteile NKN	Genauigkeit in $\sqrt{\text{mm/km}}$
1	Urnivellement = altes Netz	900– 909, (100)	Pr. LA	1868–94	Grundnetz	$m_1 = 1,33$ $m_2 = 2,46$ $m_3 = 2,04$
2	RHN = DHHN 12 = neues Netz	910– 919, (110)	Pr. LA	1912–26	Grundnetz	$m_1 = 0,34^*$ $m_2 = 0,31^*$ $m_3 = 0,53^*$
3	NKN I	800	RfL und LfGH	1928–31	Grundnetz und Küstenlinien	Grundnetz: $m_1 = 0,35$ $m_2 = 0,38$ $m_3 = 0,28$ Küstenlinien: $m_1 = 0,44 - 0,56$ $m_3 = 1,38$
4a	NKN II	810	LVA NI und SH, BfG	1949–55 (–59)	Grundnetz und Küstenlinien	Grundnetz: $m_1 = 0,38$ $m_2 = 0,62$ $m_3 = 0,64$ Küstenlinien: $m_1 = 0,29 - 0,43$ $m_2 = 0,37 - 0,49$ $m_3 = 0,48 - 1,01$
4b	Horizont 55 (Anteil NI am DHHN)	920– 929, (120)	NLVA	1949–1955	z. T. Grundnetz und Küstenlinien	k. a.

Fortsetzung nächste Seite

Tab. A-1 – Abschluss der vorhergehenden Seite

Epoche	Bezeichnung	Höhenstatus	Hersteller	Zeitraum	Anteile NKN	Genauigkeit in $\sqrt{\text{mm/km}}$
4c	Niv-Netz 60	k.a.	AdV (NLVwA, LVB HH und SH)	1945–1960	z. T. Grundnetz und Küstenlinien	$m_1 = 0,38$ – 0,40 $m_2 = 0,68$ – 0,71 $m_3 = 0,72$
4d	Horizont 74 (Anteil NI am DHHN)	930– 939, (130)	NLVwA	1968–1974	z. T. Grundnetz und Küstenlinien	k. a.
5a	NKN III und DHHN 85	940– 949, (140)	NLVwA	1980–85 (–87)	Grundnetz und Küstenlinien	$s_0 = 0,86^{**}$
5b	DHHN 92	160	AdV-LVB	1980–85 (–87)	z. T. Grundnetz und Küstenlinien	$s_0 \approx 0,86^{**}$
6	DHHN 2006–2011	k. a.	AdV-LVB	2006–2011	z. T. Grundnetz und Küstenlinien	k. a.

Tab. A-2: Datenformate und Datenumfang der Nivellementbeobachtungen

Bezeichnung	Beobachtungen (<i>dh</i>)	Anzahl <i>dh</i> (ca.)	Format
Urnivellement altes Netz	analog		
RHN = DHHN12 neues Netz	tlw. digital aufbereitet	750	NKN-BS2000
NKN I	tlw. digital aufbereitet	3200	NKN-BS2000
NKN II	tlw. digital aufbereitet	12600	NKN-BS2000
Horizont 55 (Anteil NI am DHHN)	analog		
Niv-Netz 60	digital		BKG
Horizont 74 (Anteil NI am DHHN)	analog	2500	
NKN III und DHHN85 DHHN92	digital	38000	EDBS
DHHN 2006–2011			NIMEDA

A.1.1 Punktidentitäten und Bezeichnungsschlüssel

Die im Rahmen von **IKÜS** verarbeiteten Nivellementbeobachtungen stammen aus unterschiedlichen Messepochen bzw. von unterschiedlichen Institutionen. Je nach Kampagne, Zeitpunkt und beobachtender Behörde verfügen die Punkte über verschiedene Feldbuchbezeichnungen. Aus diesem Grund war es notwendig, Punktidentitäten zu klären bzw. die verschiedenen Bezeichnungen identischer Punkte innerhalb der Datenbank zu speichern. Jeder Messmarke wurde eine eindeutige **IKÜS**-Nummer gegeben und alle Punktbezeichnungen dieser Messmarke wurden dieser **IKÜS**-Nummer zugeordnet. In Tabelle A-3 sind die im Rahmen von **IKÜS** genutzten Bezeichnungsschlüssel aufgeführt.

Tab. A-3: Bezeichnungsschlüssel für Nivellementkampagnen

Identifizier	Kurzbez.	Herkunft	Beispiel
1	IKUES	IKÜS -Punktnummer	IKUES-3437
2	LGN	Landesvermessung	2311-9-00030
3	WSV	Wasser- und Schifffahrtsverwaltung	1191-0049880090-2221
5	Rijks	Holländischer Rijkswaterstaat	8A0132
6	BfG	BfG (frühere Kampagnen)	2609.40/30
7	NKN I	Nordseeküstennivellement I	A.I.4.64
8	NKN II	Nordseeküstennivellement II	A.I.4.26
9	PF	Pegelfestpunkt	10304
10	PNP	Pegelnulppunkt	BORF_HWP
11	SAPOS	SAPOS -Referenzstation	0644
12	BKG	BKG -Referenzstationen	Borkum_BU

A.2 GPS/GNSS

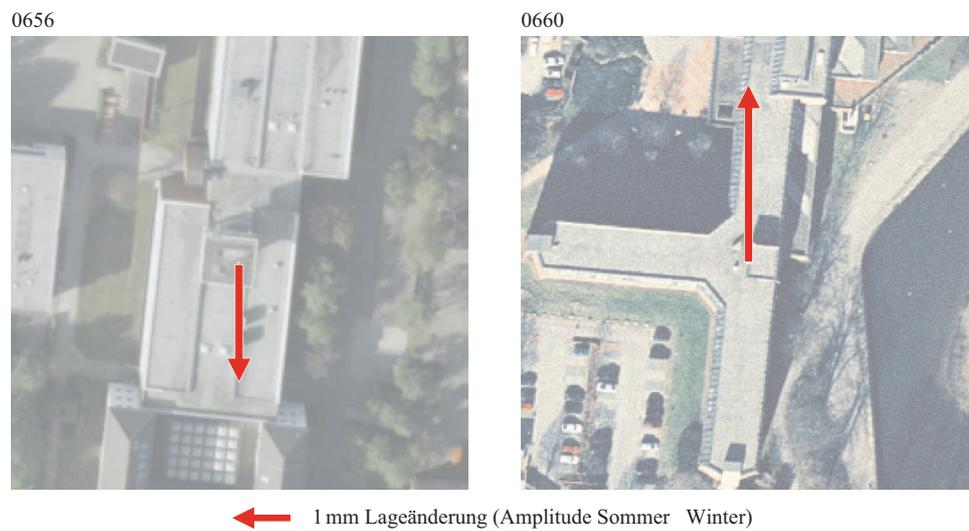


Abb. A-1: Jahreszeitliche Schwankungen in der Lagekomponente für die SAPOS-Stationen 0656 (Oldenburg) und 0660 (Lüneburg) aufgrund von Temperatureinwirkungen auf das Gebäude (Bildquelle: LuftbildNAVIGATOR Niedersachsen).

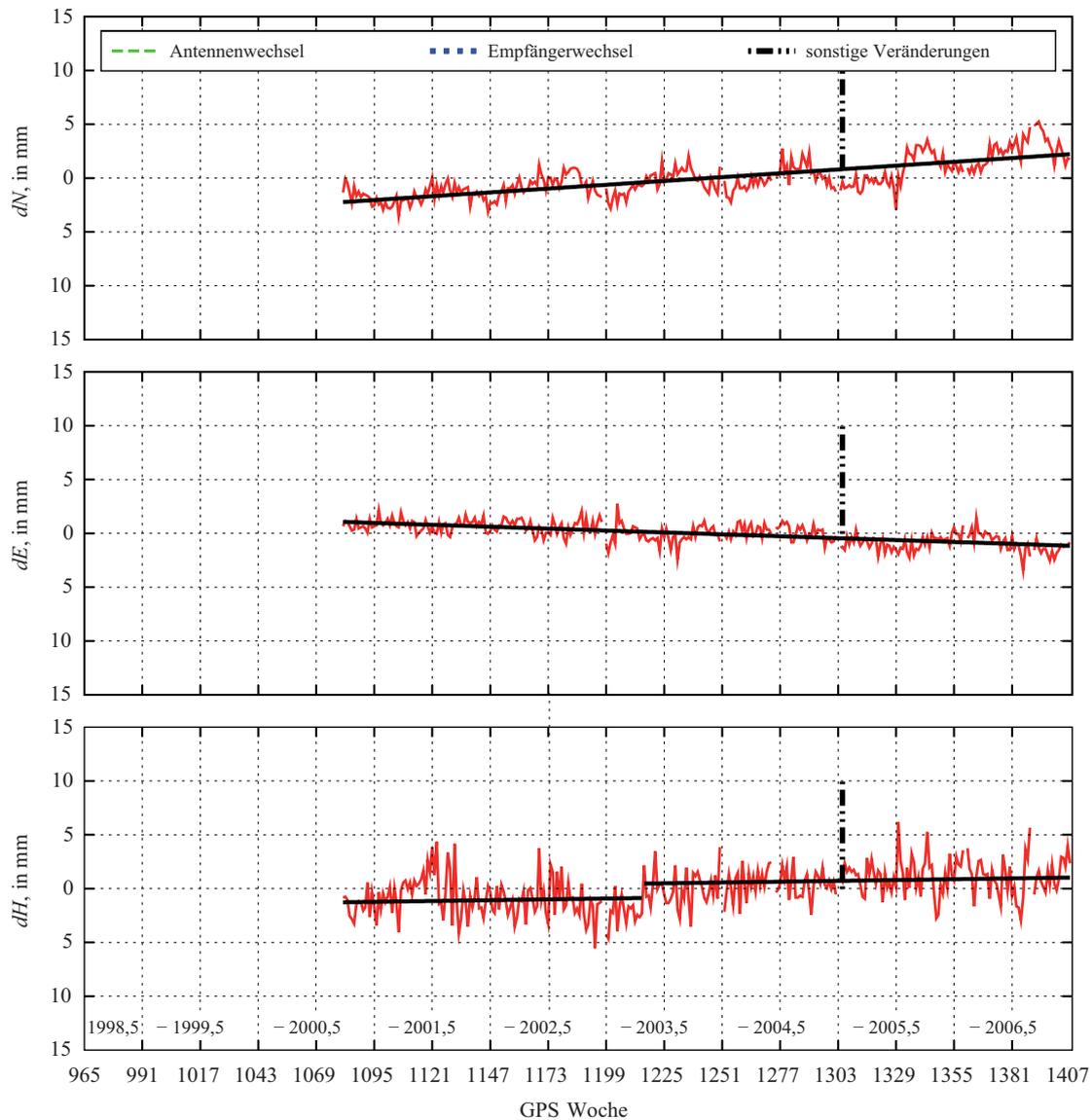


Abb. A-2: Stationsresiduen der GPS-Station 0641 (Cuxhaven), relativ zur Station 0648 (Wilhelmshaven) nach der WaSoft/Netz-Ausgleichung getrennt für die Nordkomponente (oben), Ostkomponente (mitte) und Höhenkomponente (unten). Die vertikalen Striche repräsentieren Stationsveränderungen, wie zum Beispiel durch Antennen- oder Empfängerwechsel bzw. sonstiger Veränderungen (Höhenänderung, Aktualisierung der Empfängersoftware usw.).

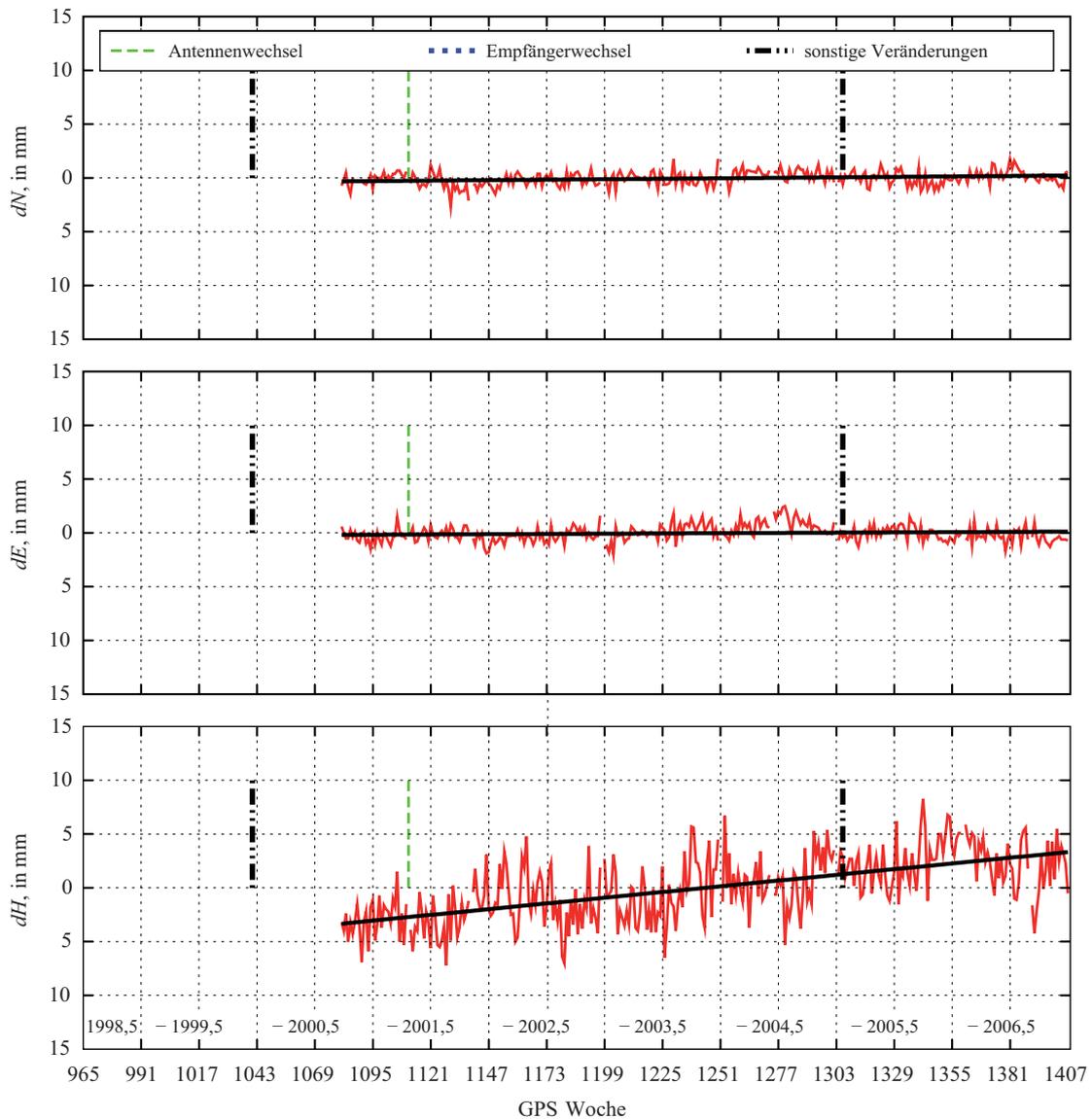


Abb. A-3: Stationsresiduen der GPS-Station 0662 (Stade), relativ zur Station 0648 (Wilhelmshaven) nach der WaSoft/Netz-Ausgleichung getrennt für die Nordkomponente (oben), Ostkomponente (mitte) und Höhenkomponente (unten). Die vertikalen Striche repräsentieren Stationsveränderungen, wie zum Beispiel durch Antennen- oder Empfängerwechsel bzw. sonstiger Veränderungen (Höhenänderung, Aktualisierung der Empfängersoftware usw.).

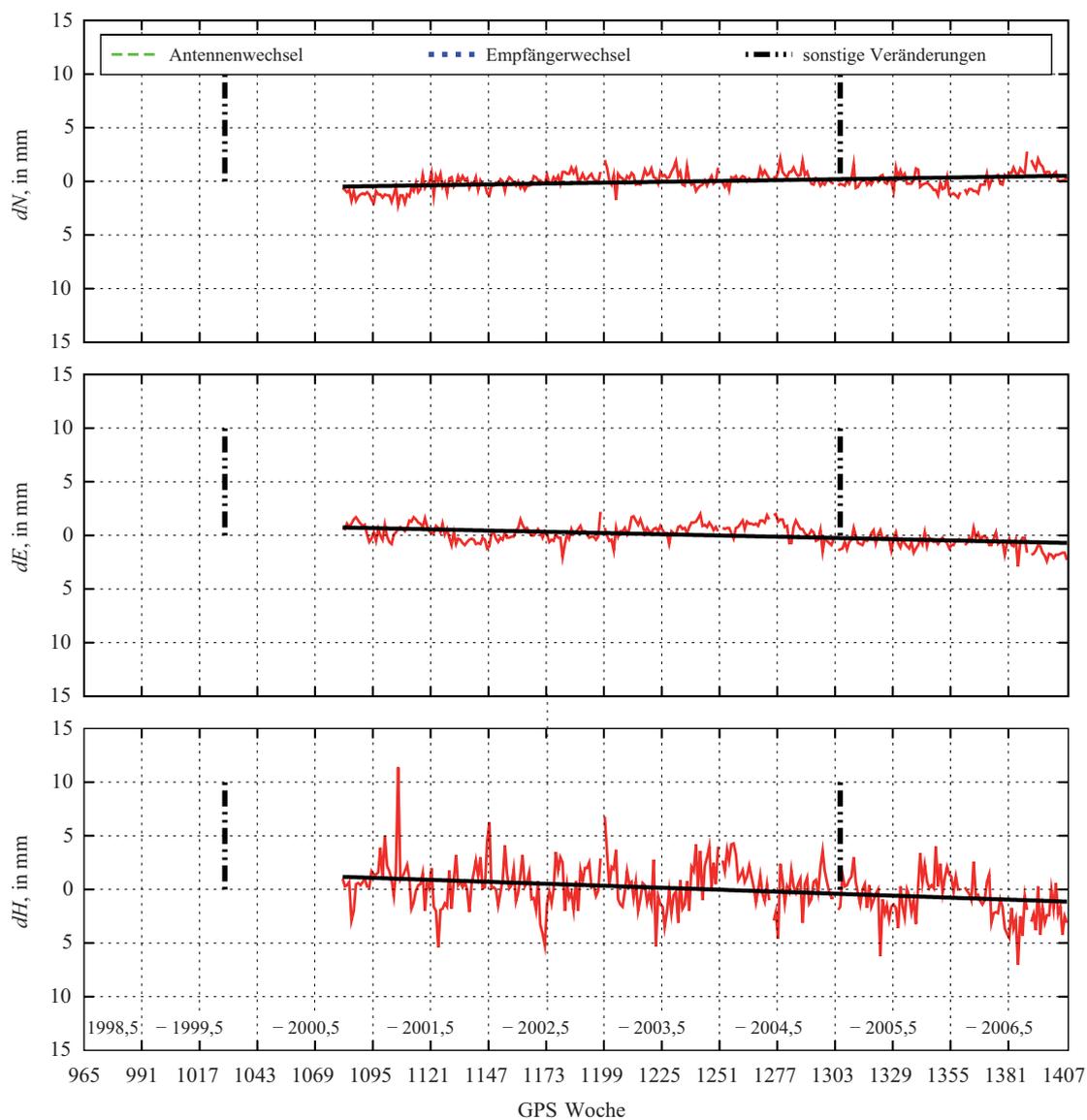


Abb. A-4: Stationsresiduen der GPS-Station 0667 (Carolinensiel), relativ zur Station 0648 (Wilhelmshaven) nach der WaSoft/Netz-Ausgleichung getrennt für die Nordkomponente (oben), Ostkomponente (mitte) und Höhenkomponente (unten). Die vertikalen Striche repräsentieren Stationsveränderungen, wie zum Beispiel durch Antennen- oder Empfängerwechsel bzw. sonstiger Veränderungen (Höhenänderung, Aktualisierung der Empfängersoftware usw.).

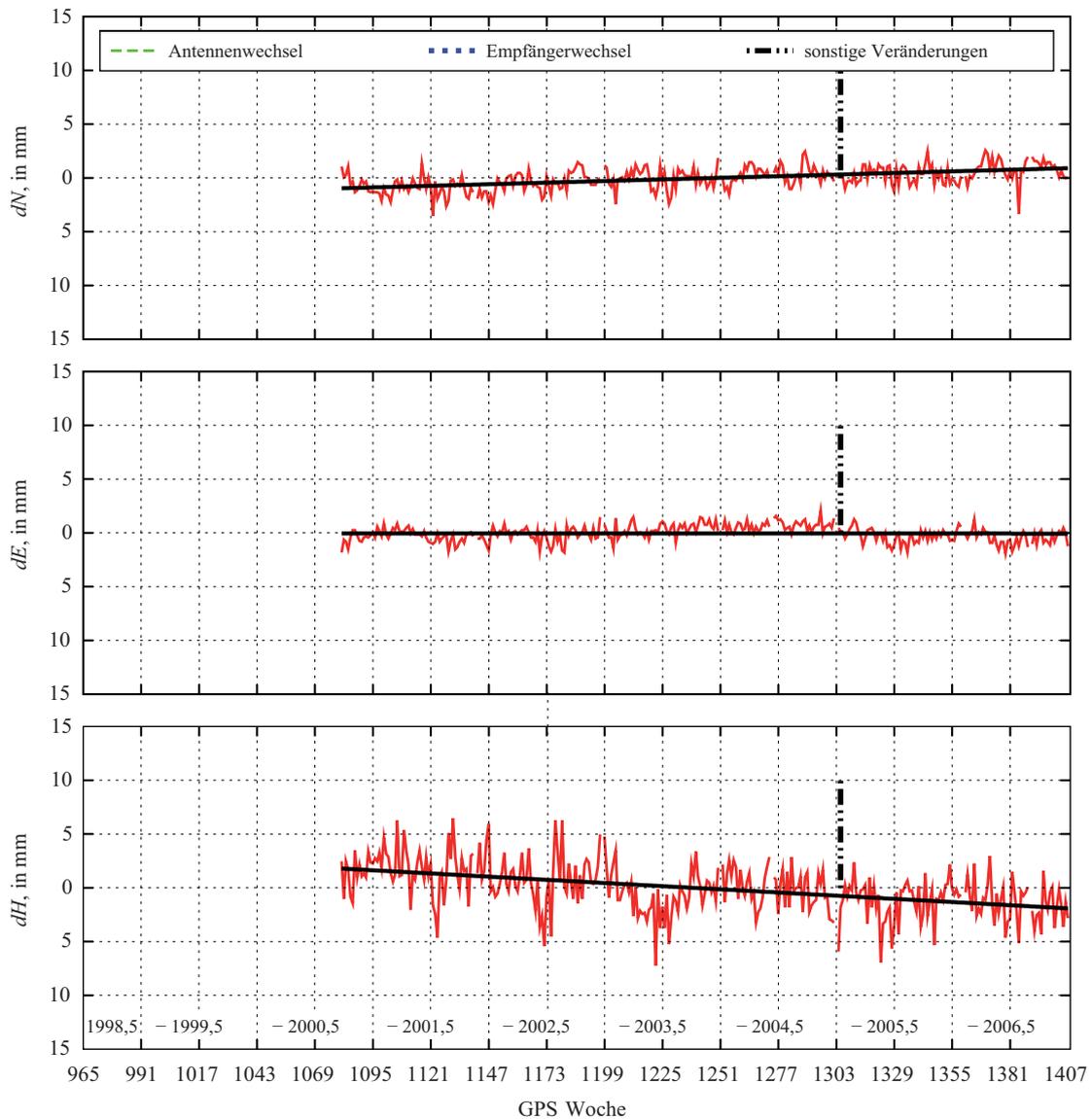


Abb. A-5: Stationsresiduen der GPS-Station 0670 (Norderney), relativ zur Station 0648 (Wilhelmshaven) nach der WaSoft/Netz-Ausgleichung getrennt für die Nordkomponente (oben), Ostkomponente (mitte) und Höhenkomponente (unten). Die vertikalen Striche repräsentieren Stationsveränderungen, wie zum Beispiel durch Antennen- oder Empfängerwechsel bzw. sonstiger Veränderungen (Höhenänderung, Aktualisierung der Empfängersoftware usw.).

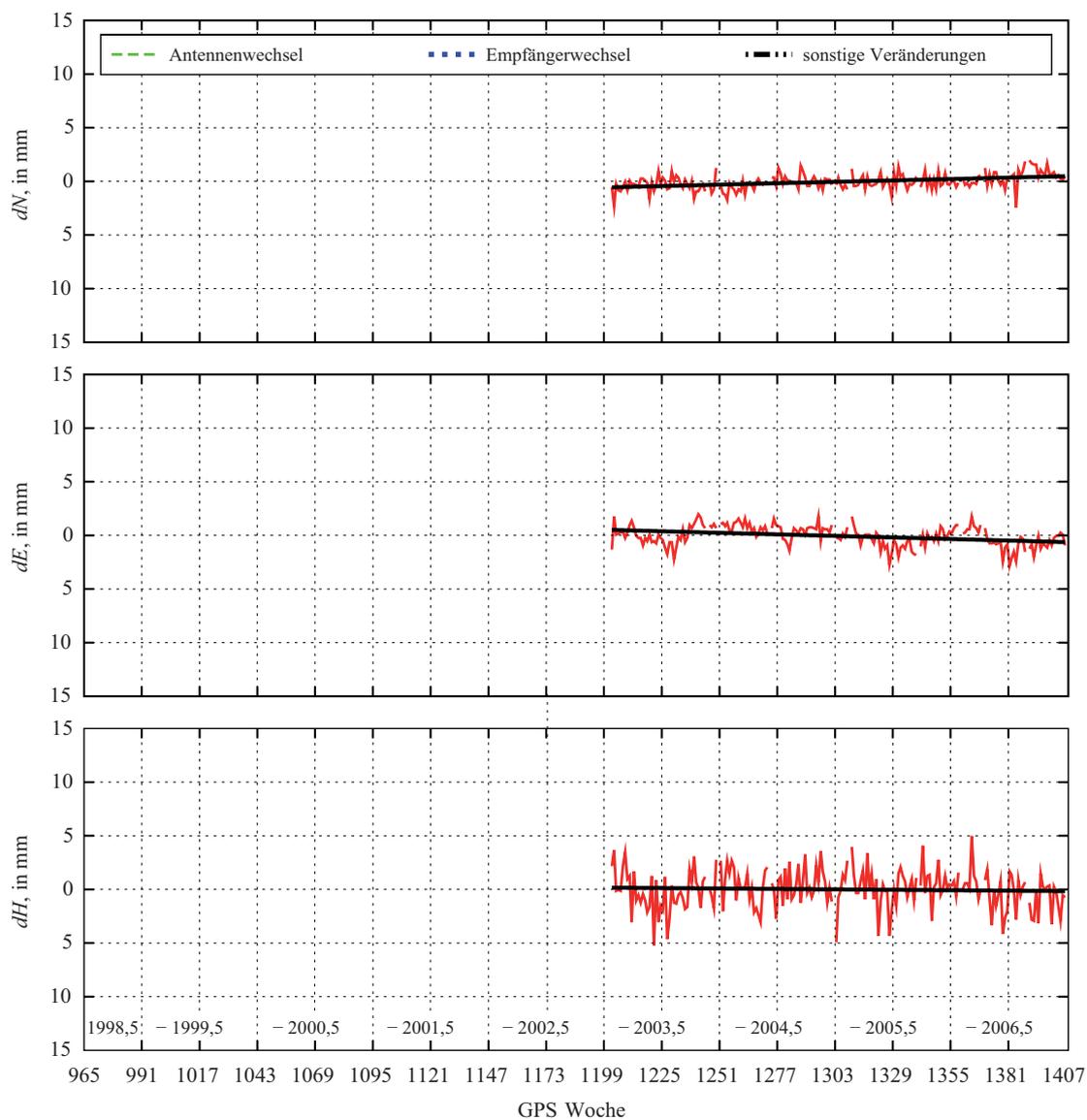


Abb. A-6: Stationsresiduen der GPS-Station 0701 (Norderney 2), relativ zur Station 0648 (Wilhelmshaven) nach der WaSoft/Netz-Ausgleichung getrennt für die Nordkomponente (oben), Ostkomponente (mitte) und Höhenkomponente (unten). Die vertikalen Striche repräsentieren Stationsveränderungen, wie zum Beispiel durch Antennen- oder Empfängerwechsel bzw. sonstiger Veränderungen (Höhenänderung, Aktualisierung der Empfängersoftware usw.).

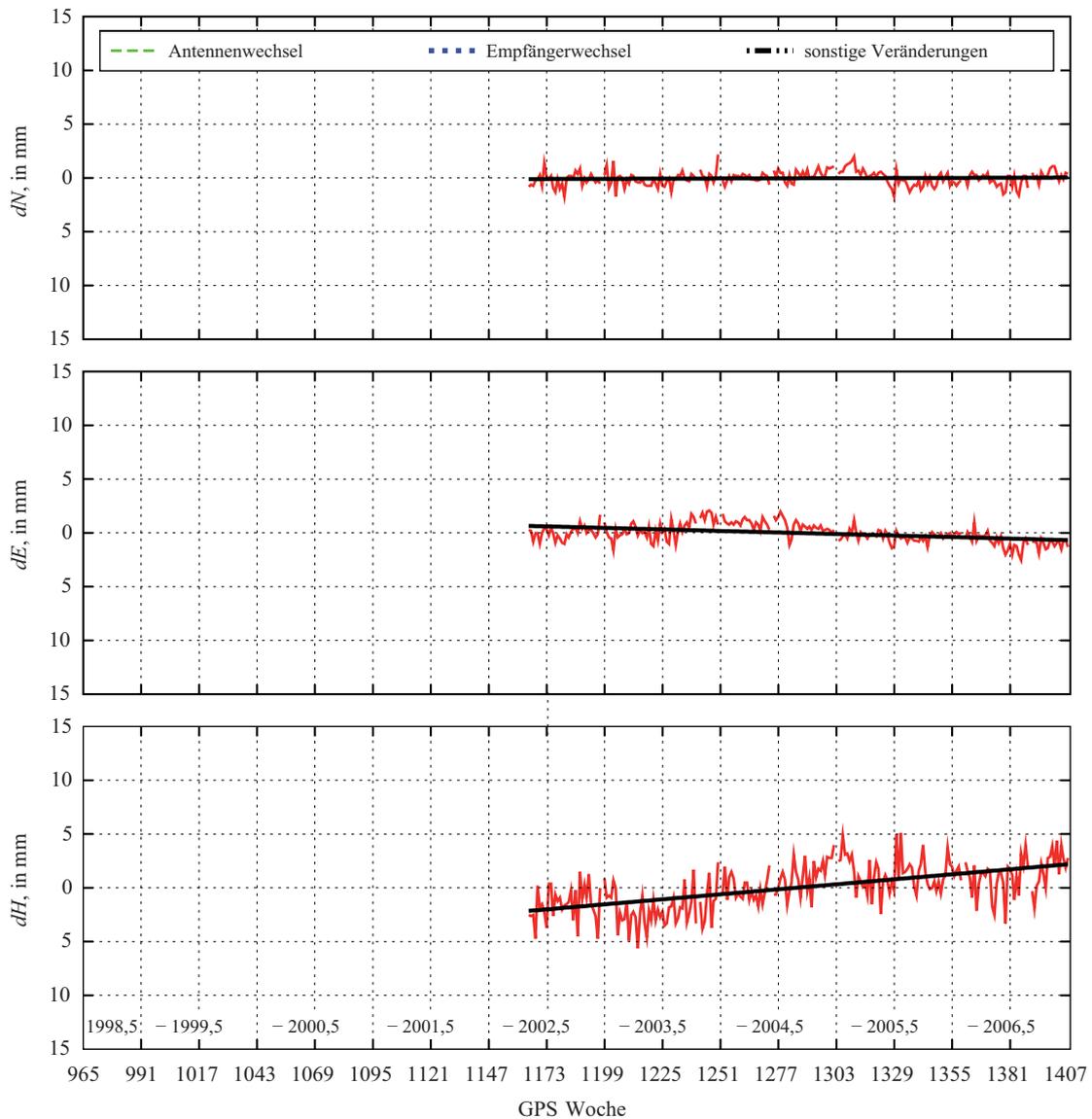


Abb. A-7: Stationsresiduen der GPS-Station 0994 (Bremerhaven), relativ zur Station 0648 (Wilhelmshaven) nach der WaSoft/Netz-Ausgleichung getrennt für die Nordkomponente (oben), Ostkomponente (mitte) und Höhenkomponente (unten). Die vertikalen Striche repräsentieren Stationsveränderungen, wie zum Beispiel durch Antennen- oder Empfängerwechsel bzw. sonstiger Veränderungen (Höhenänderung, Aktualisierung der Empfängersoftware usw.).

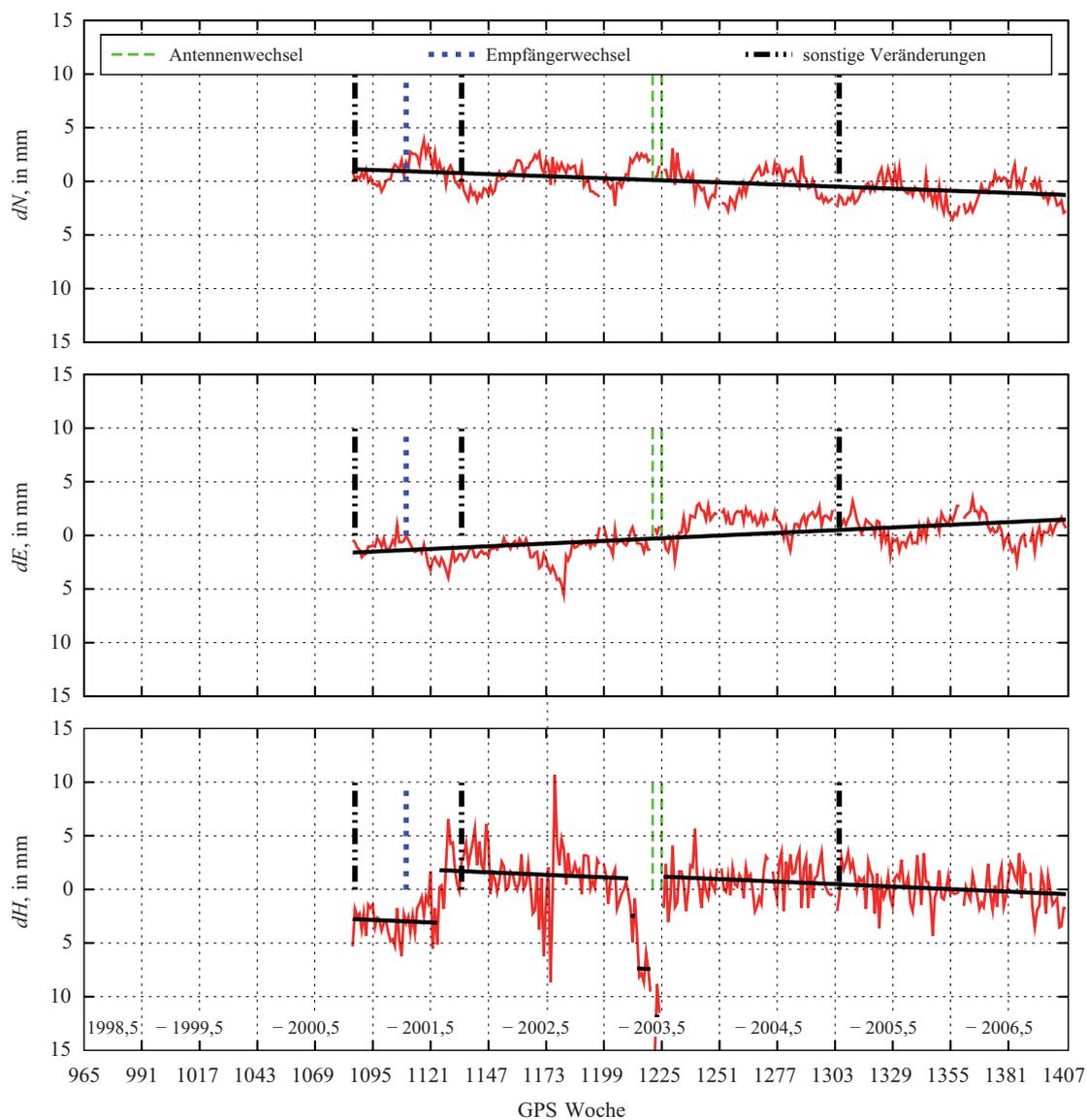


Abb. A-8: Stationsresiduen der GPS-Station BORK (Borkum), relativ zur Station 0648 (Wilhelmshaven) nach der WaSoft/Netz-Ausgleichung getrennt für die Nordkomponente (oben), Ostkomponente (mitte) und Höhenkomponente (unten). Die vertikalen Striche repräsentieren Stationsveränderungen, wie zum Beispiel durch Antennen- oder Empfängerwechsel bzw. sonstiger Veränderungen (Höhenänderung, Aktualisierung der Empfängersoftware usw.).

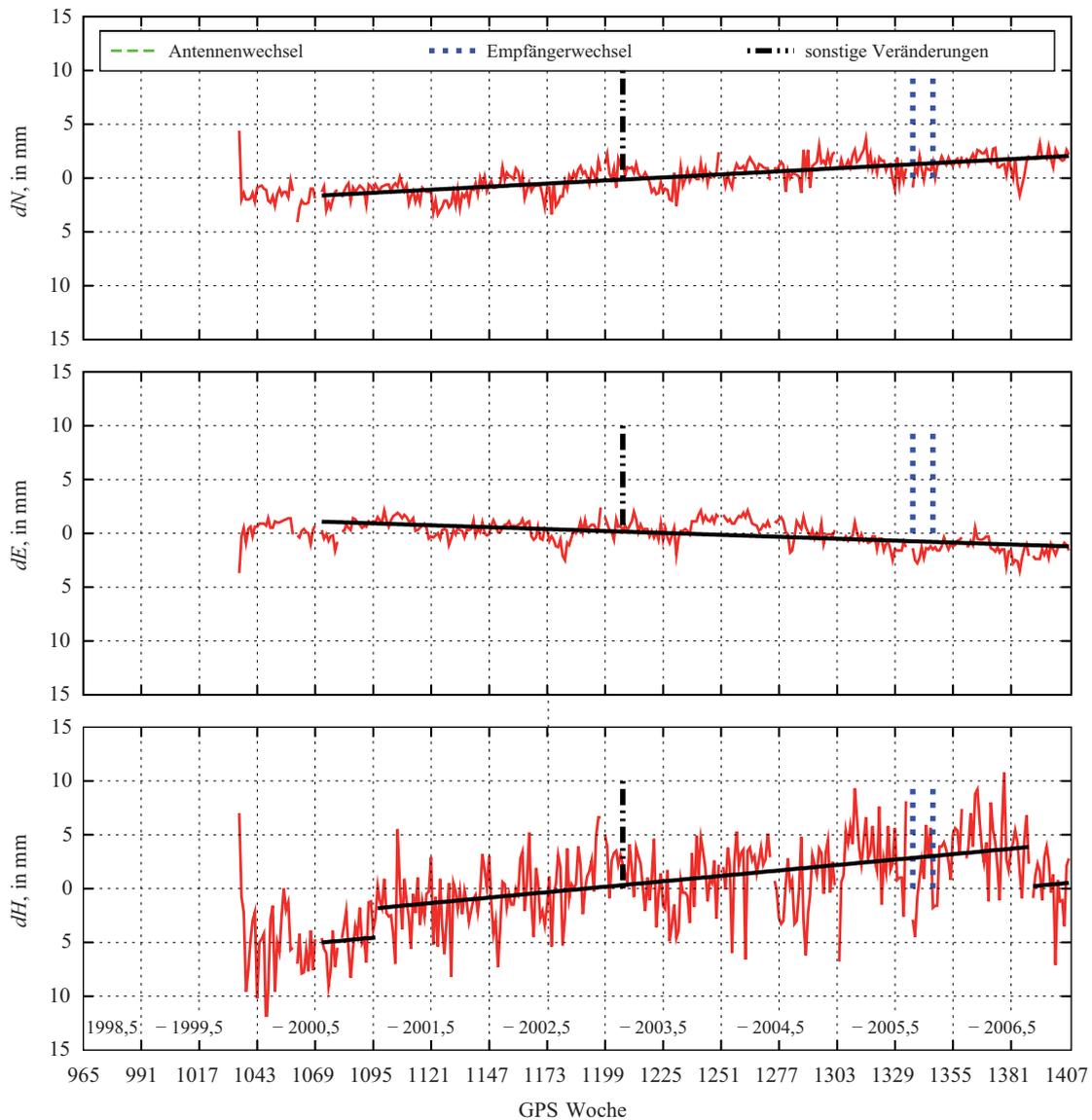


Abb. A-9: Stationsresiduen der GPS-Station HELG (Helgoland), relativ zur Station 0648 (Wilhelmshaven) nach der WaSoft/Netz-Ausgleichung getrennt für die Nordkomponente (oben), Ostkomponente (mitte) und Höhenkomponente (unten). Die vertikalen Striche repräsentieren Stationsveränderungen, wie zum Beispiel durch Antennen- oder Empfängerwechsel bzw. sonstiger Veränderungen (Höhenänderung, Aktualisierung der Empfängersoftware usw.).

Tab. A-4: Stations- und Antennenübersicht für die homogene Auswertung der GPS-Daten. Der Zeitraum ist in Form von GPS-Wochen angegeben.

Station		Netz-	Zeitraum		Antenne		Korr.-
ID	Name	typ	von	bis	Typ	Nr.	typ
0640	Hannover	SAPOS	1081	1408	TRM33429.20+GP NONE	0220178334	typ
0641	Cuxhaven	SAPOS	1081	1408	TRM33429.20+GP TCWD	0220140066	typ
0642	Osnabrück	SAPOS	967	1021	TRM14532.00 NONE		0 typ
			1023	1284	TRM29659.00 TCWD	0220171794	ind.
			1268	1408	TRM33429.20+GP NONE	0220140301	typ
0643	Meppen	SAPOS	1081	1137	TRM33429.20+GP NONE	0220182451	typ
0644	Norderney	SAPOS	967	990	TRM29659.00 NONE		0 typ
0645	Leer	SAPOS	967	1025	TRM14532.00 NONE		0 typ
			1027	1408	TRM33429.20+GP TCWD	0220140303	typ
0646	Aurich	SAPOS	967	1025	TRM14532.00 NONE		0 typ
			1027	1408	TRM33429.20+GP NONE	0220178659	typ
0647	Emden	SAPOS	967	999	TRM14532.00 NONE		0 typ
			1000	1021	TRM29659.00 NONE		0 typ
			1023	1408	TRM33429.20+GP TCWD	0220140430	typ
0648	Wilhelms- haven	SAPOS	967	1021	TRM14532.00 NONE		0 typ
			1023	1408	TRM33429.20+GP TCWD	0220147225	typ
0652	Alfeld	SAPOS	1081	1408	TRM33429.20+GP NONE	0220171942	typ
0655	Rotenburg	SAPOS	1081	1408	TRM33429.20+GP NONE	0220178660	typ
0656	Oldenburg	SAPOS	1081	1408	TRM33429.20+GP NONE	0220140072	typ
0658	Nordhorn	SAPOS	1081	1408	TRM33429.20+GP NONE	0220181398	typ
0659	Cloppenburg	SAPOS	1081	1408	TRM33429.20+GP NONE	0220140065	typ
0660	Lüneburg	SAPOS	1081	1113	TRM33429.20+GP NONE	0220132808	typ
				1115	1408	TRM33429.20+GP NONE	0220228277
0662	Stade	SAPOS	1081	1110	TRM33429.20+GP NONE	0220132678	typ

Fortsetzung nächste Seite

Tab. A-4 – Fortsetzung von vorhergehender Seite

Station		Netz-	Zeitraum		Antenne		Korr.-
ID	Name	typ	von	bis	Typ	Nr.	typ
			1112	1408	TRM33429.20+GP NONE	0220140305	typ
0664	Cadenberge	SAPOS	1081	1135	TRM33429.20+GP NONE	0220178953	typ
			1137	1408	TRM33429.20+GP NONE	0220228275	typ
0667	Carolinensiel	SAPOS	1081	1408	TRM29659.00 TCWD	0220076506	typ
0668	Damme	SAPOS	1081	1408	TRM33429.20+GP NONE	0220140067	typ
0669	Esterwegen	SAPOS	1081	1408	TRM33429.20+GP NONE	0220140068	typ
0670	Norderney	SAPOS	1081	1408	TRM33429.20+GP NONE	0220132808	typ
0671	Gnarrenburg	SAPOS	1085	1408	TRM33429.20+GP NONE	0220178658	typ
0675	Wildeshausen	SAPOS	1081	1408	TRM33429.20+GP NONE	220132806	typ
0683	Meppen	SAPOS	1133	1408	TRM33429.20+GP NONE	0220229776	typ
0701	Norderney-2	SAPOS	1203	1408	TRM29659.00 TCWD	0220260474	typ
0702	Fino	SAPOS	1289	1448	TRM29659.00 TCWD	0220171794	typ
0703	Hannover-2	SAPOS	1383	1408	TRM33429.20+GP NONE	0220182451	typ
0992	Bremen-Mitte	SAPOS	1160	1322	TRM33429.20+GP NONE	0220226153	typ
0993	Bremen	SAPOS	1164	1408	TRM33429.20+GP NONE	0220226139	typ
0994	Bremerhaven	SAPOS	1165	1408	TRM33429.20+GP NONE	0220139944	typ
bork	Borkum	EPN	1086	1220	TRM29659.00 SNOW	0220187547	typ
			1222	1224	TRM33429.20+GP NONE	0220226150	typ
			1226	1408	TRM29659.00 SNOW	0220180416	ind.
helg	Helgoland	EPN	1035	1408	ASH700936D_M SNOW	CR13728	typ
hobu	Hohen-	EPN	967	999	TRM22020.00+GP DOME	0220077662	typ
	bünstorf		1001	1017	TRM14532.00 NONE	3239A64261	typ
			1019	1057	TRM23903.00 NONE	78955	typ
			1060	1168	TRM29659.00 SNOW	0220180416	ind.
			1170	1170	TRM33429.20+GP NONE	0220132683	typ
			1172	1408	TRM29659.00 SNOW	0220173802	ind.

Fortsetzung nächste Seite

Tab. A-4 – Abschluss der vorhergehenden Seite

Station		Netz-	Zeitraum		Antenne		Korr.-
ID	Name	typ	von	bis	Typ	Nr.	typ
hoe2	Hoernum/Sylt	EPN	1345	1408	TPSCR3_GGD CONE	217-0298	ind.
holt	Kiel-Holtenau	GREF	1298	1350	TPSCR3_GGD CONE	217-0116	typ
onsa	Onsala	IGS	967	999	AOAD/M_B DOTM	020	typ
			995	1407	AOAD/M_B OSOD	020	typ
ptbb	Braunschweig	IGS	1056	1157	AOAD/M_T NONE	393	typ
			1159	1408	ASH700936E SNOW	CR15930	typ
wsrt	Westerbork	IGS	967	1408	AOAD/M_T DUTD	273	typ

A.3 Schwere

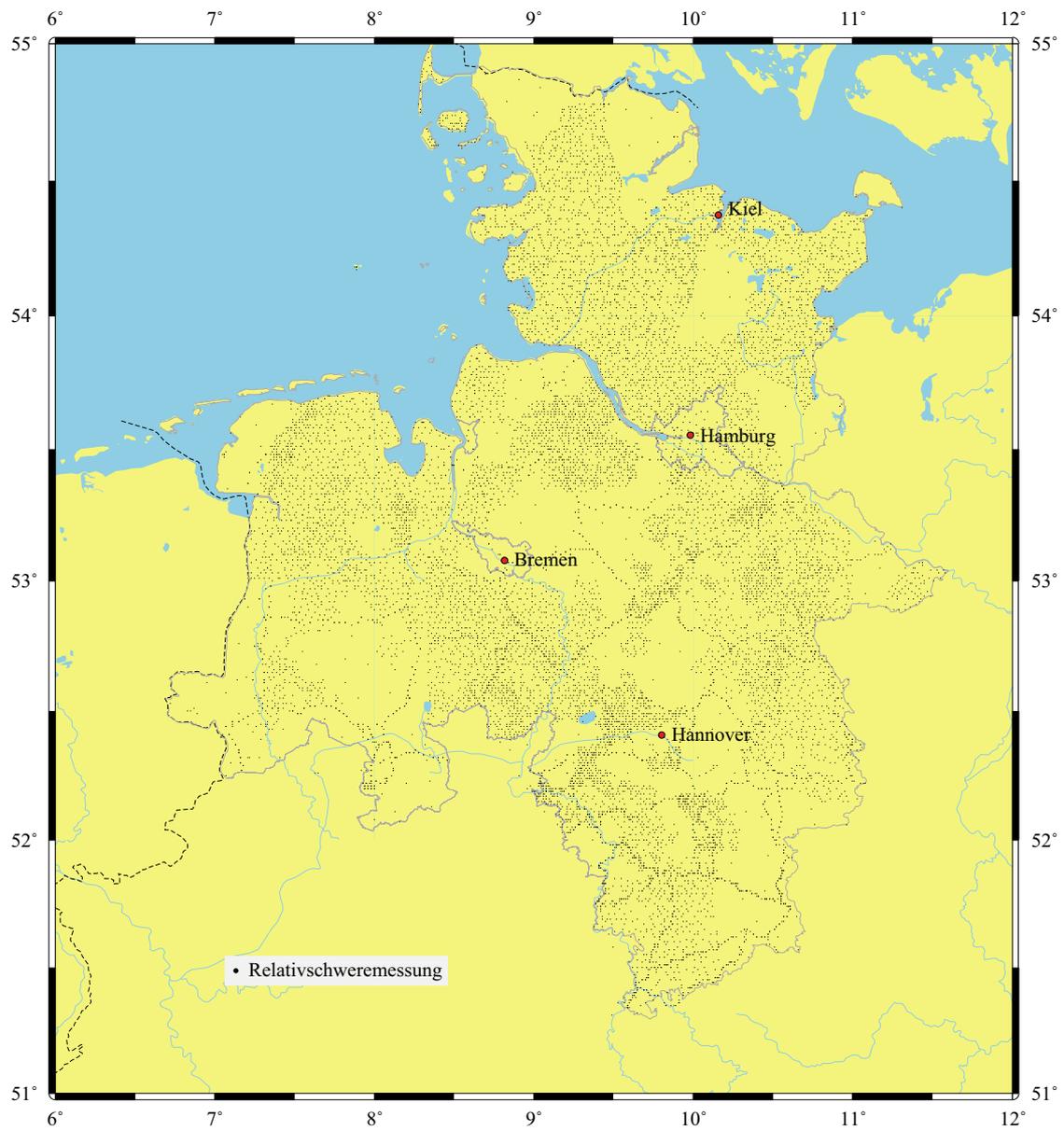


Abb. A-10: Verteilung der Punkte für die Relativschweremessungen.

A.4 Datenbank

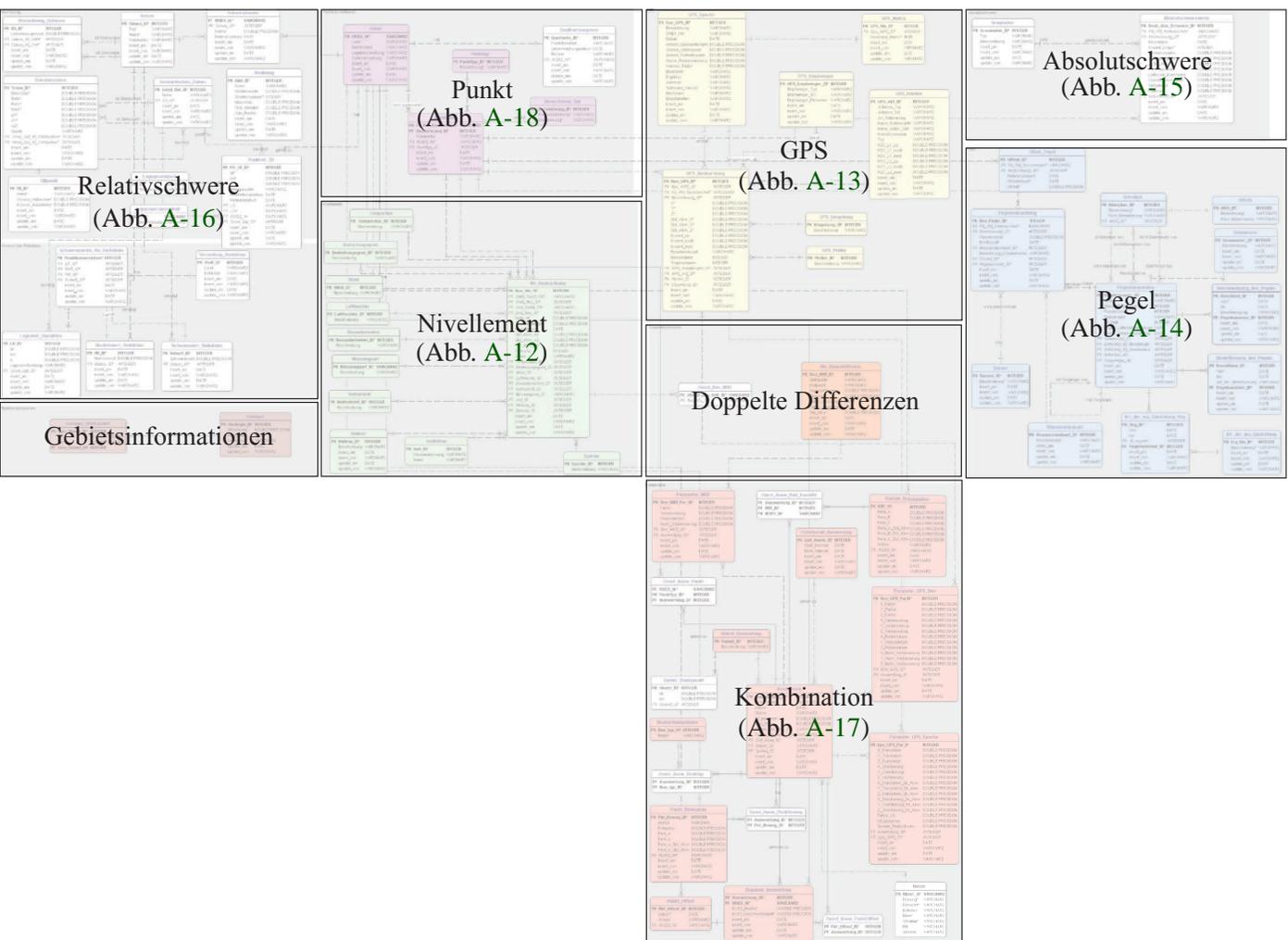


Abb. A-11: Übersicht zum Entity Relationship Diagramm der IKÜS-Datenbank.

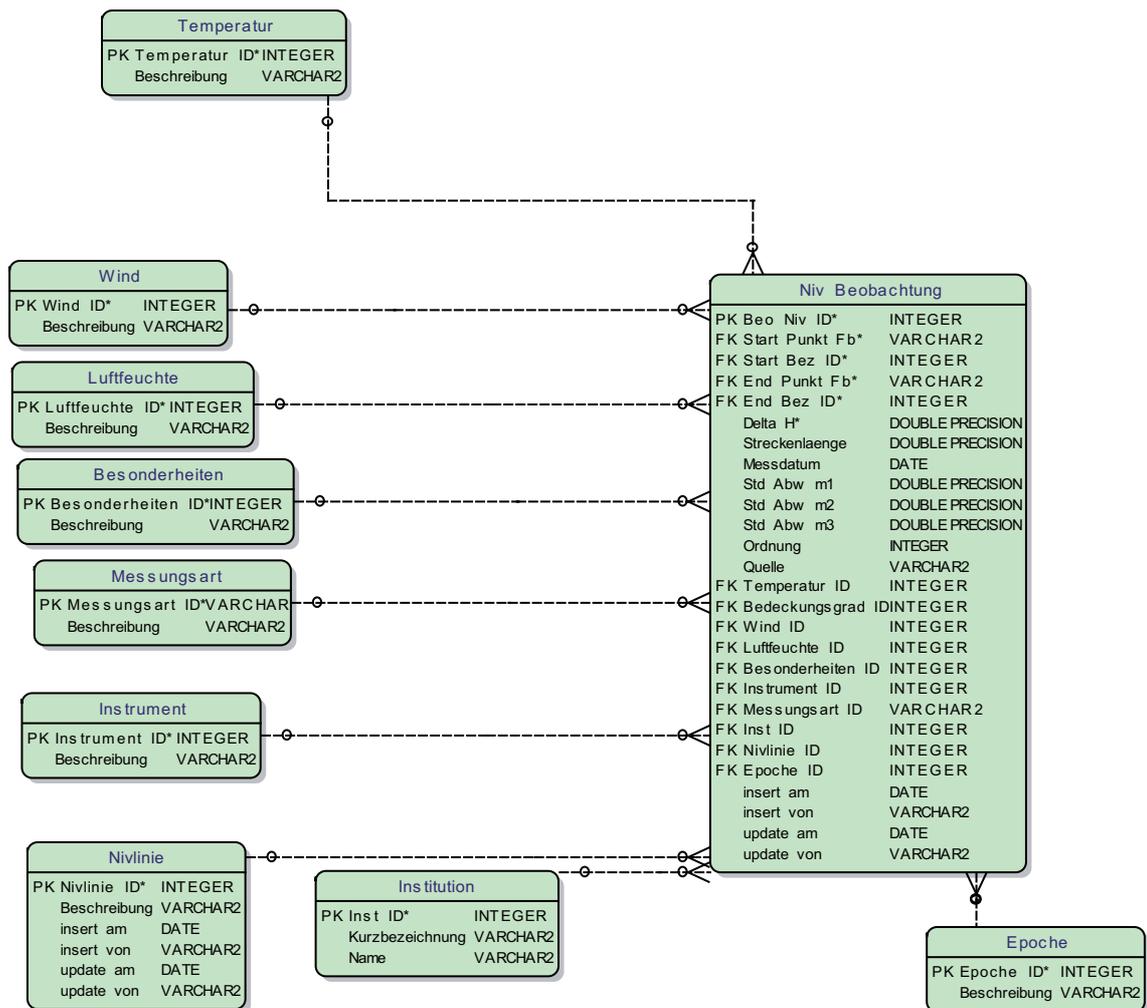


Abb. A-12: Ausschnitt des Entity Relationship Diagramms der IKÜS-Datenbank – Nivellement.

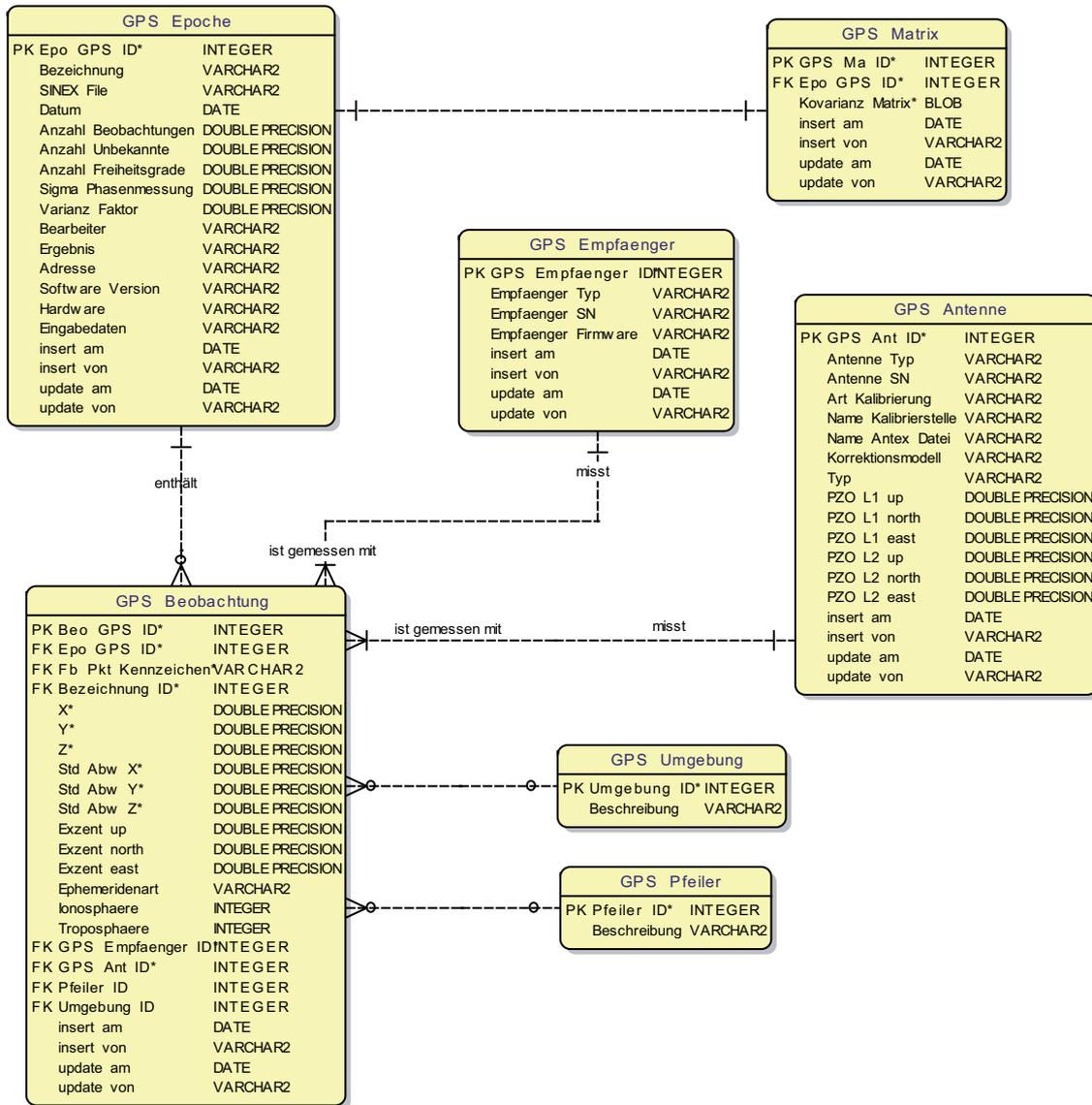


Abb. A-13: Ausschnitt des Entity Relationship Diagramms der IKÜS-Datenbank – GNSS.

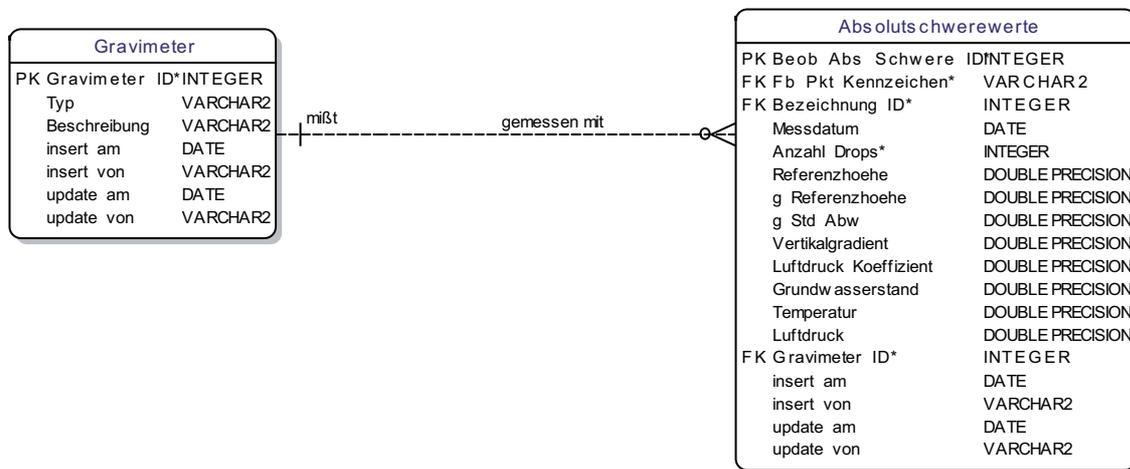


Abb. A-15: Ausschnitt des Entity Relationship Diagramms der IKÜS-Datenbank – Absolutschwere.

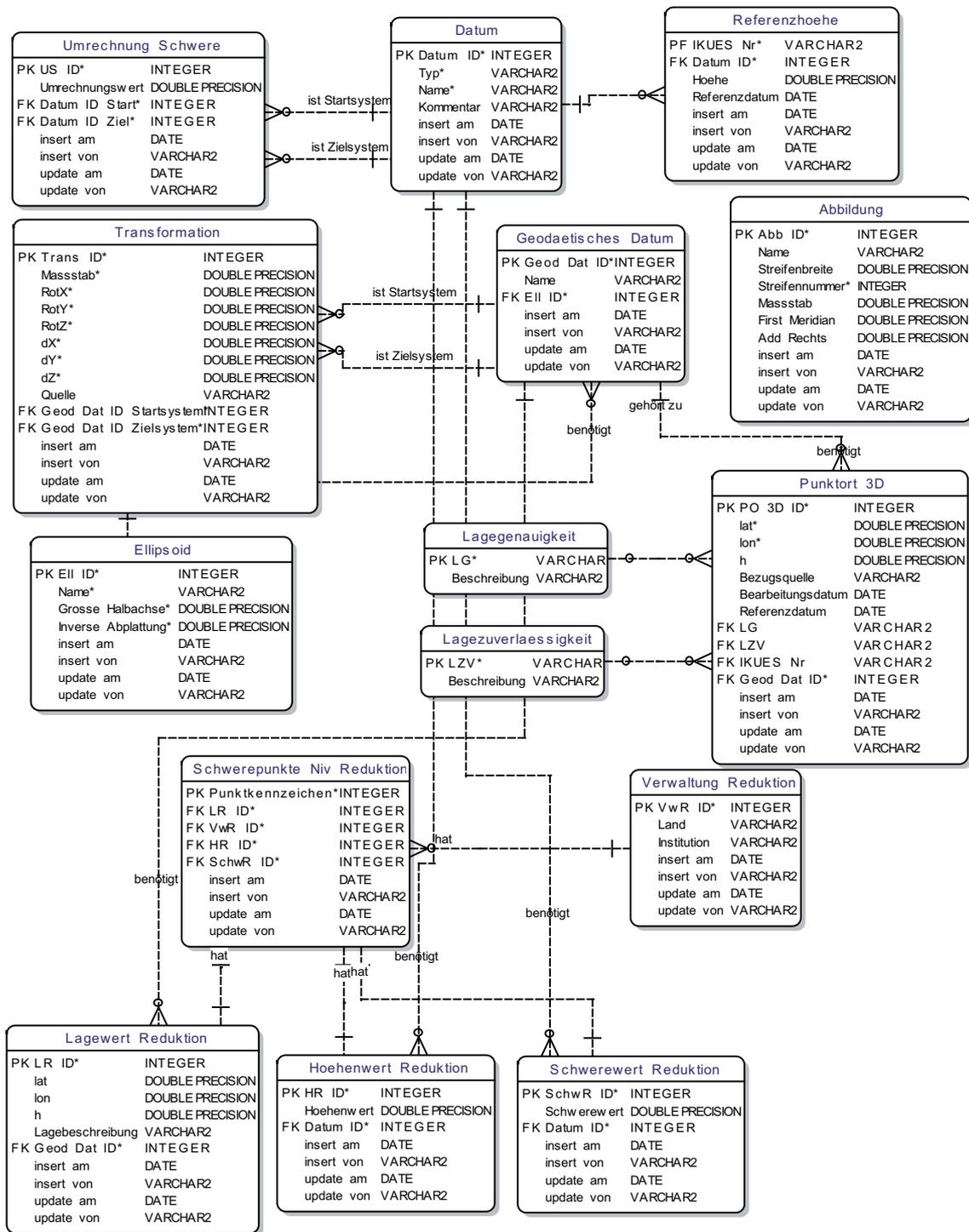


Abb. A-16: Ausschnitt des Entity Relationship Diagramms der IKÜS-Datenbank – Relativschwere.

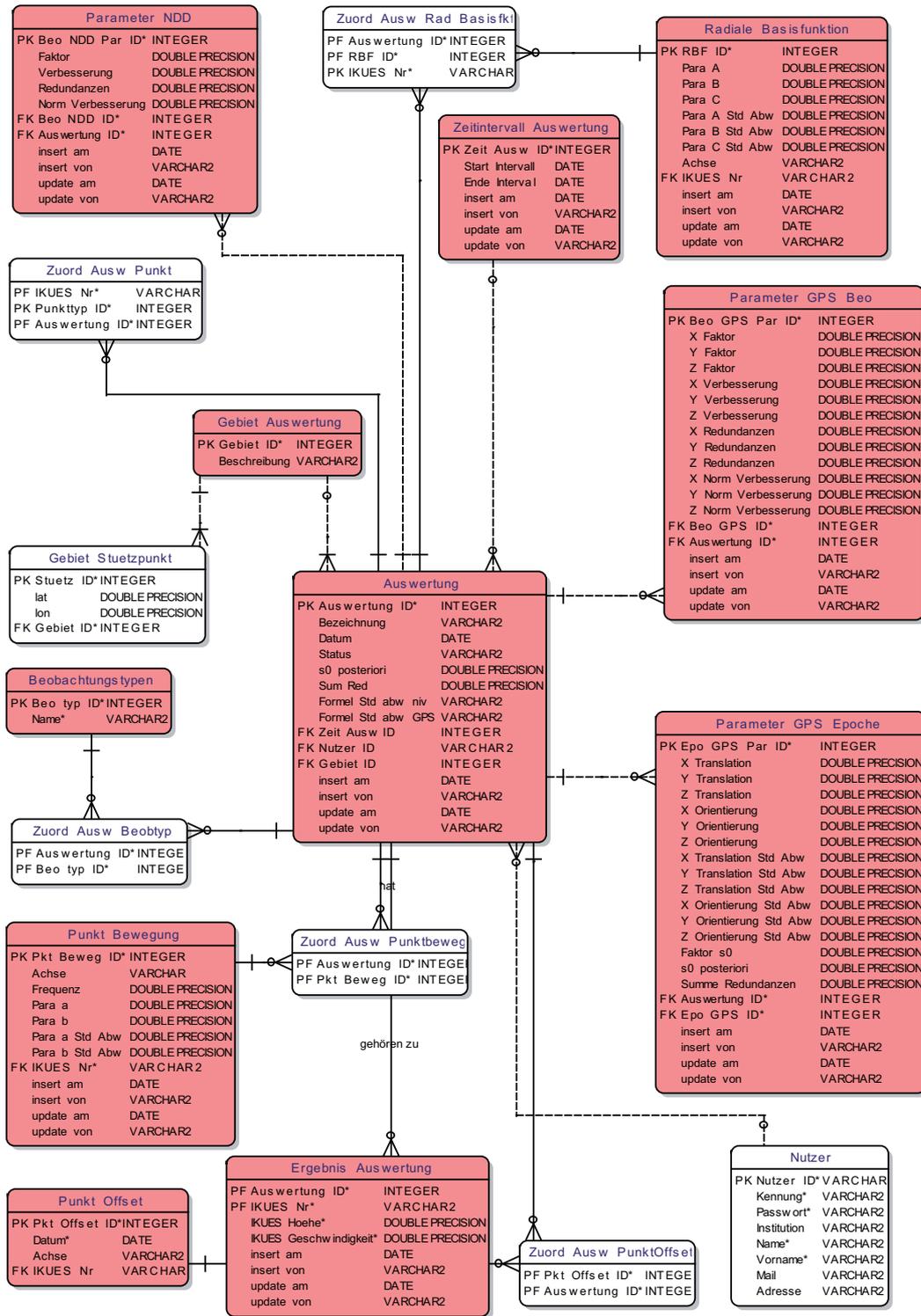


Abb. A-17: Ausschnitt des Entity Relationship Diagramms der IKÜS-Datenbank – Kombination.

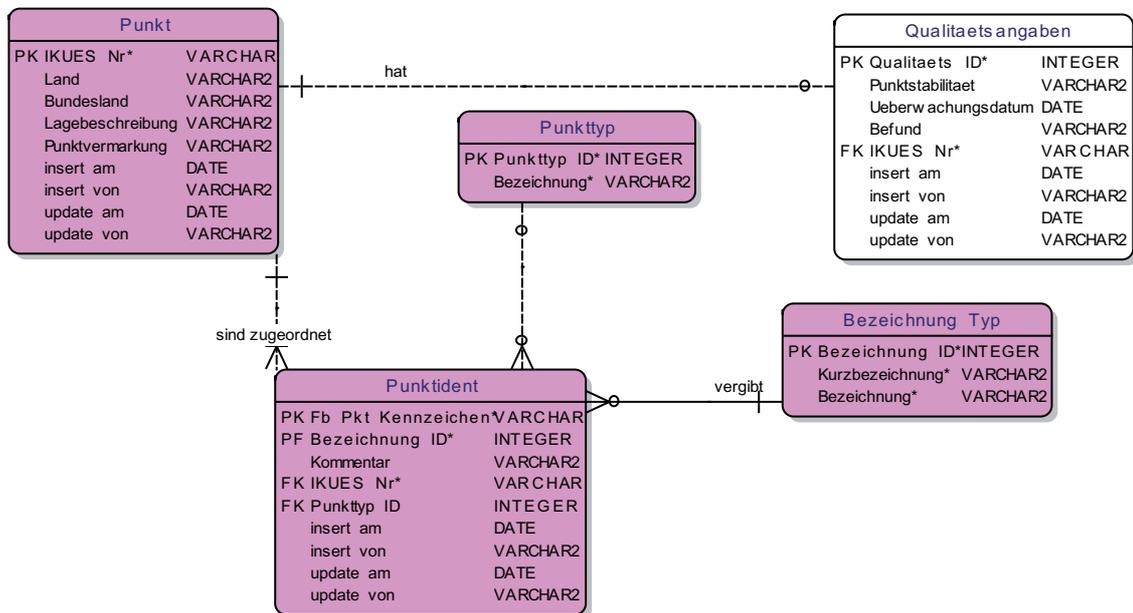


Abb. A-18: Ausschnitt des Entity Relationship Diagramms der IKÜS-Datenbank – Punktinformationen.

A.5 Pegel

A.5.1 Zeitreihen ausgewählter Pegel

Pegel Borkum-Fischerbalje

Der Pegel Borkum Fischerbalje wurde 1963 als Nachfolger des Pegel Borkum Landungsbrücken in Betrieb genommen. Repräsentativer Pegelfestpunkt ist der Pegelfestpunkt 10059, dessen Sollhöhenunterschied auf $-9,222$ m festgelegt wurde.

Aus dem Höhen-Geschwindigkeitsfeld ergeben sich für die Anschlusspunkte der Landesvermessung die in Tabelle A-5 dargestellten Ausgangswerte. In Kombination mit den durchgeführten Anschlussmessungen ergeben sich die in Tabelle A-6 dargestellten Pegelnullpunkthöhen. In Tabelle A-7 sind die zur Korrektur der durchgeführten Lattenverschiebungen nötigen Offsets zusammengefasst. Für korrekte Analysen der Wasserstandsdaten müssen die in den Tabellen A-6 und A-7 angegebenen Informationen berücksichtigt werden bzw. die in Tabelle A-6 angegebenen Pegelnullpunkthöhen sind nur in Verbindung mit den in Tabelle A-7 dargestellten Offsets gültig.

Tab. A-5: Ergebnisse des Höhen-Geschwindigkeitsfeldes für die Anschlusspunkte des Pegels Borkum-Fischerbalje.

IKÜS-Punktbezeichnung	amtliche Punktbezeichnung	Ausgangshöhe im DHHN 92 in m	Höhenänderungen in m/a
IKUES-332	2306/9/609	4,625	-0,0015
IKUES-9416	2306/9/312	4,710	-0,0016

Tab. A-6: Anschlussmessungen zwischen Punkten des Höhen-Geschwindigkeitsfeldes und dem repräsentativen Pegelfestpunkt 10059 sowie dem Pegelnullpunkt.

Datum	IKÜS-Punkt	$H_{\text{IKÜS}}$ in m	$dH_{\text{zu PFP}}$ in m	PFP	$H_{\text{IKÜS-PFP}}$ in m	$dH_{\text{zu PNP}}$ in m	$H_{\text{IKÜS-PNP}}$ in m
19.07.1963	2306/9/609	4,679	-0,465	10059	4,214	-9,222	-5,008
06.07.1994	2306/9/609	4,632	-0,423	10059	4,210	-9,222	-5,012
01.07.1999	2306/9/312	4,710	-0,511	10059	4,199	-9,222	-5,023
27.08.2001	2306/9/312	4,707	-0,510	10059	4,197	-9,222	-5,025
16.08.2002	2306/9/312	4,705	-0,508	10059	4,197	-9,222	-5,025
21.03.2003	2306/9/312	4,704	-0,507	10059	4,197	-9,222	-5,025
18.08.2005	2306/9/312	4,700	-0,509	10059	4,191	-9,222	-5,031
30.08.2006	2306/9/312	4,699	-0,510	10059	4,189	-9,222	-5,033
07.08.2007	2306/9/312	4,697	-0,509	10059	4,188	-9,222	-5,034

Tab. A-7: An die Wasserstände anzubringende Offsets für den Pegel Borkum-Fischerbalje (HWP).

Datum	Referenzeпоche	Pegellatte	Offset in mm
19.07.1963	19.07.1963	HWP	-7
06.10.1964	19.07.1963	HWP	3
13.10.1965	19.07.1963	HWP	0
01.09.1966	19.07.1963	HWP	0
03.12.1969	19.07.1963	HWP	4
26.08.1970	19.07.1963	HWP	5
03.08.1971	19.07.1963	HWP	3
07.08.1972	19.07.1963	HWP	3
23.08.1973	19.07.1963	HWP	5
30.10.1974	19.07.1963	HWP	1

Fortsetzung nächste Seite

Tab. A-7 – Abschluss der vorhergehenden Seite

Datum	Referenzepoche	Pegellatte	Offset in mm
10. 12. 1975	19. 07. 1963	HWP	1
21. 02. 1977	19. 07. 1963	HWP	1
24. 11. 1977	19. 07. 1963	HWP	0
16. 08. 1978	19. 07. 1963	HWP	-1
06. 08. 1979	19. 07. 1963	HWP	-1
02. 07. 1986	02. 07. 1986	HWP	-1
26. 11. 1987	02. 07. 1986	HWP	-1
24. 11. 1988	02. 07. 1986	HWP	1
25. 10. 1989	02. 07. 1986	HWP	-5
24. 01. 1991	02. 07. 1986	HWP	-7
16. 12. 1991	02. 07. 1986	HWP	-8
16. 09. 1992	02. 07. 1986	HWP	-6
06. 07. 1994	06. 07. 1994	HWP	-3
22. 08. 1995	06. 07. 1994	HWP	-7
23. 08. 1996	06. 07. 1994	HWP	-8
27. 08. 1997	06. 07. 1994	HWP	-8
20. 04. 1999	06. 07. 1994	HWP	9
21. 08. 2000	01. 07. 1999	HWP	13
27. 08. 2001	27. 08. 2001	HWP	9
03. 09. 2002	03. 09. 2002	HWP	-6
18. 08. 2003	21. 03. 2003	HWP	-4
26. 08. 2004	21. 03. 2003	HWP	-7
17. 08. 2005	18. 08. 2005	HWP	-7
09. 08. 2007	07. 08. 2007	HWP	-9

Pegel Borkum-Südstrand

Für den Pegel Borkum-Südstrand liegen geodätische Informationen seit 1935 vor. Repräsentativer Pegelfestpunkt ist der Punkt 20021, der gleichzeitig auch ein Punkt der Landesvermessung (2306/9/621) ist. Für diesen Punkt liegen seit Mitte der neunziger Jahre keine Messelemente mehr vor. Spätere Anschlussmessungen wurden an den Punkt 2306/9/619 angeschlossen. Der Sollhöhenunterschied zum Pegelfestpunkt 20021 wurde auf $-11,716$ m festgelegt. Ab 1989 wurde der Pegelfestpunkt 22001 als repräsentativ angenommen und der Sollhöhenunterschied 1989 auf $-11,263$ m festgelegt.

Aus dem Höhen-Geschwindigkeitsfeld ergeben sich für die Anschlusspunkte der Landesvermessung die in Tabelle A-8 dargestellten Ausgangswerte. In Kombination mit den durchgeführten Anschlussmessungen ergeben sich die in Tabelle A-9 dargestellten Pegelnullpunkthöhen. In den Tabellen A-10 – A-12 sind die zur Korrektur der durchgeführten Lattenverschiebungen nötigen Offsets zusammengefasst. Für korrekte Analysen der Wasserstandsdaten müssen die in den Tabellen A-9 und A-10 – A-12 angegebenen Informationen berücksichtigt werden bzw. die in Tabelle A-9 angegebenen Pegelnullpunkthöhen sind nur in Verbindung mit den in den Tabellen A-10 – A-12 dargestellten Offsets gültig.

Tab. A-8: Ergebnisse des Höhen-Geschwindigkeitsfeldes für die Anschlusspunkte des Pegels Borkum-Südstrand.

IKÜS-Punktbezeichnung	amtliche Punktbezeichnung	Ausgangshöhe im DHHN 92 in m	Höhenänderungen in m/a
IKUES-345	2306/9/621	6,694	-0,0013
IKUES-9430	2306/9/619	4,777	-0,0013

Tab. A-9: Anschlussmessungen zwischen den Punkten des Höhen-Geschwindigkeitsfeldes und den repräsentativen Pegelfestpunkten 20021/22001 sowie dem Pegelnullpunkt

Datum	IKÜS-Punkt	$H_{\text{IKÜS}}$ in m	$dH_{\text{zu PFP}}$ in m	PFP	$H_{\text{IKÜS-PFP}}$ in m	$dH_{\text{zu PNP}}$ in m	$H_{\text{IKÜS-PNP}}$ in m
01. 10. 1935	2306/9/621	6,778	0,000	20021	6,778	-11,716	-4,938
30. 06. 1948	2306/9/621	6,760	0,000	20021	6,760	-11,716	-4,956
23. 03. 1949	2306/9/621	6,759	0,000	20021	6,759	-11,716	-4,957
14. 06. 1950	2306/9/621	6,758	0,000	20021	6,758	-11,716	-4,958
19. 05. 1951	2306/9/621	6,757	0,000	20021	6,757	-11,716	-4,959
09. 06. 1953	2306/9/621	6,754	0,000	20021	6,754	-11,716	-4,962
16. 06. 1954	2306/9/621	6,753	0,000	20021	6,753	-11,716	-4,964
26. 09. 1959	2306/9/621	6,746	0,000	20021	6,746	-11,716	-4,970
20. 05. 1960	2306/9/621	6,745	0,000	20021	6,745	-11,716	-4,971
28. 06. 1984	2306/9/621	6,714	0,000	20021	6,714	-11,716	-5,003
26. 10. 1989	2306/9/621	6,707	0,000	20021	6,707	-11,716	-5,009
26. 10. 1989	2306/9/621	6,707	-0,453	22001	6,254	-11,263	-5,009
22. 06. 1999	2306/9/619	4,777	1,461	22001	6,238	-11,263	-5,025

Tab. A-10: An die Wasserstände anzubringende Offsets für den Pegel Borkum-Südstrand (HWP).

Datum	Referenzepoche	Pegellatte	Offset in mm
28. 10. 1935	28. 10. 1935	HWP	0
25. 11. 1936	28. 10. 1935	HWP	0
03. 11. 1937	28. 10. 1935	HWP	-2
12. 06. 1939	28. 10. 1935	HWP	-7
10. 09. 1940	28. 10. 1935	HWP	0
20. 03. 1941	28. 10. 1935	HWP	1

Fortsetzung nächste Seite

Tab. A-10 – Fortsetzung von vorhergehender Seite

Datum	Referenzepoche	Pegellatte	Offset in mm
24.07.1946	28.10.1935	HWP	-12
18.06.1947	28.10.1935	HWP	-16
30.06.1948	30.06.1948	HWP	-8
23.03.1949	23.03.1949	HWP	-29
24.03.1949	23.03.1949	HWP	-2
10.06.1949	23.03.1949	HWP	-3
14.06.1950	14.06.1950	HWP	-1
19.05.1951	19.05.1951	HWP	-4
25.06.1952	19.05.1951	HWP	-5
09.06.1953	09.06.1953	HWP	4
16.06.1954	09.06.1953	HWP	4
28.07.1955	01.07.1955	HWP	-7
10.07.1956	01.07.1955	HWP	-1
09.09.1957	01.07.1955	HWP	-4
06.07.1958	01.07.1955	HWP	1
26.06.1959	26.09.1959	HWP	2
20.05.1960	20.05.1960	HWP	1
13.10.1961	20.05.1960	HWP	3
15.08.1962	20.05.1960	HWP	-5
06.10.1964	20.05.1960	HWP	-1
13.10.1965	20.05.1960	HWP	-1
01.09.1966	20.05.1960	HWP	2
14.07.1967	20.05.1960	HWP	4
16.05.1968	20.05.1960	HWP	6
04.12.1969	20.05.1960	HWP	4
27.08.1970	20.05.1960	HWP	0
30.09.1971	20.05.1960	HWP	2
07.08.1972	20.05.1960	HWP	1

Fortsetzung nächste Seite

Tab. A-10 – Abschluss der vorhergehenden Seite

Datum	Referenzepoche	Pegellatte	Offset in mm
23.08.1973	20.05.1960	HWP	3
29.10.1974	20.05.1960	HWP	-2
10.12.1975	20.05.1960	HWP	1
22.02.1977	00.01.1900	HWP	0
22.02.1977	20.05.1960	HWP	7
25.11.1977	20.05.1960	HWP	2
06.08.1979	20.05.1960	HWP	3
26.10.1989	26.10.1989	HWP	34
19.12.1991	17.09.1991	HWP	32
20.10.1997	17.09.1991	HWP	33
22.06.1999	17.09.1991	HWP	37
29.08.2001	28.10.1999	HWP	38
21.08.2003	28.10.1999	HWP	38
31.08.2005	28.10.1999	HWP	35
09.08.2007	28.10.1999	HWP	39

Tab. A-11: An die Wasserstände anzubringende Offsets für den Pegel Borkum-Südstrand (Staffel II).

Datum	Referenzepoche	Pegellatte	Offset in mm
28. 10. 1935	28. 10. 1935	St. II	0
25. 11. 1936	28. 10. 1935	St. II	-3
03. 11. 1937	28. 10. 1935	St. II	-2
12. 06. 1939	28. 10. 1935	St. II	3
10. 09. 1940	28. 10. 1935	St. II	-1
20. 03. 1941	28. 10. 1935	St. II	-5
24. 07. 1946	28. 10. 1935	St. II	5

Tab. A-12: An die Wasserstände anzubringende Offsets für den Pegel Borkum-Südstrand (Staffel III).

Datum	Referenzepoche	Pegellatte	Offset in mm
28. 10. 1935	28. 10. 1935	St. III	0
25. 11. 1936	28. 10. 1935	St. III	0
03. 11. 1937	28. 10. 1935	St. III	0
10. 09. 1940	28. 10. 1935	St. III	-1
20. 03. 1941	28. 10. 1935	St. III	3
18. 06. 1947	28. 10. 1935	St. III	15
30. 06. 1948	30. 06. 1948	St. III	8
24. 03. 1949	23. 03. 1949	St. III	-2
10. 06. 1949	23. 03. 1949	St. III	1
14. 06. 1950	14. 06. 1950	St. III	-5
19. 05. 1951	19. 05. 1951	St. III	-5

Fortsetzung nächste Seite

Tab. A-12 – Abschluss der vorhergehenden Seite

Datum	Referenzepoche	Pegellatte	Offset in mm
25. 06. 1952	19. 05. 1951	St. III	-4
16. 06. 1954	09. 06. 1953	St. III	3
28. 07. 1955	01. 07. 1955	St. III	-6
09. 09. 1957	01. 07. 1955	St. III	-2
06. 07. 1958	01. 07. 1955	St. III	6
26. 06. 1959	26. 09. 1959	St. III	6
20. 05. 1960	20. 05. 1960	St. III	7
13. 10. 1961	20. 05. 1960	St. III	0
15. 08. 1962	20. 05. 1960	St. III	6
06. 10. 1964	20. 05. 1960	St. III	7
13. 10. 1965	20. 05. 1960	St. III	3
01. 09. 1966	20. 05. 1960	St. III	5
14. 07. 1967	20. 05. 1960	St. III	9
16. 05. 1968	20. 05. 1960	St. III	-1
04. 12. 1969	20. 05. 1960	St. III	11
27. 08. 1970	20. 05. 1960	St. III	12
30. 09. 1971	20. 05. 1960	St. III	11
07. 08. 1972	20. 05. 1960	St. III	13
23. 08. 1973	20. 05. 1960	St. III	9
29. 10. 1974	20. 05. 1960	St. III	7
10. 12. 1975	20. 05. 1960	St. III	8
22. 02. 1977	20. 05. 1960	St. III	-2
25. 11. 1977	20. 05. 1960	St. III	10
06. 08. 1979	20. 05. 1960	St. III	3

Pegel Emshörn

Der Pegel Emshörn steht im Fahrwasser im Bereich der Außenems zwischen Borkum und dem Festland. Mit klassischen Methoden können keine Kontrollen der Höhenlagen zu Pegelfestpunkten an Land und auch keine Anschlussnivellements durchgeführt werden. Zum Zeitpunkt der Einrichtung und 1984 wurde der Pegel über Wattnivellements in Verbindung mit Stromübergangsnivellements angeschlossen. 1990 und 1999 erfolgte ein hydrostatischer Anschluss an das amtliche System.

Der Sollhöhenunterschied zum Pegelfestpunkt 30001 (Leuchtfeuer Binnenrandzel) wurde 1975 und 1984 über Wattnivellements in Verbindung mit einem Stromübergangsnivellement bestimmt und die Höhendifferenz zwischen dem Pegelfestpunkt und dem Pegelnullpunkt auf $-4,975$ m festgelegt. Seit Ende der achtziger Jahre wurde der direkt auf dem Pegelbauwerk montierter Pegelfestpunkt 30186 für die Kontrollen der Höhenlagen genutzt. Er wird als repräsentativ für die Bewegung des Pegels angesehen. Der entsprechende Sollhöhenunterschied wurde 1990 auf $-10,443$ m festgesetzt.

Aus dem Höhen-Geschwindigkeitsfeld ergeben sich für die Anschlusspunkte der Landesvermessung die in Tabelle A-13 dargestellten Ausgangswerte. In Kombination mit den durchgeführten Anschlussmessungen ergeben sich die in Tabelle A-14 dargestellten Pegelnullpunkthöhen. In Tabelle A-15 sind die zur Korrektur der durchgeführten Lattenverschiebungen nötigen Offsets zusammengefasst. Für korrekte Analysen der Wasserstandsdaten müssen die in den Tabellen A-14 und A-15 angegebenen Informationen berücksichtigt werden bzw. die in Tabelle A-14 angegebenen Pegelnullpunkthöhen sind nur in Verbindung mit den in Tabelle A-15 dargestellten Offsets gültig.

Tab. A-13: Ergebnisse des Höhen-Geschwindigkeitsfeldes für die Anschlusspunkte des Pegels Emshörn.

IKÜS-Punktbezeichnung	amtliche Punktbezeichnung	Ausgangshöhe im DHHN 92 in m	Höhenänderungen in m/a
IKUES-9481	2307/9/601	(1975) 2,115	-0,0016
IKUES-9484	2307/9/604	2,182	-0,0016
IKUES-32	2608/9/670	6,453	-0,0027

Tab. A-14: Anschlussmessungen zwischen Punkten des Höhen-Geschwindigkeitsfeldes und den repräsentativen Pegelfestpunkten 30001/30186 sowie dem Pegelnullpunkt.

Datum	IKÜS-Punkt	$H_{\text{IKÜS}}$ in m	$dH_{\text{zu PFP}}$ in m	PFP	$H_{\text{IKÜS-PFP}}$ in m	$dH_{\text{zu PNP}}$ in m	$H_{\text{IKÜS-PNP}}$ in m
01. 07. 1975	2307/9/601	2,115	-2,140	30001	-0,025	-4,975	-5,000
01. 07. 1984	2307/9/604	2,206	-2,226	30001	-0,020	-4,975	-4,995
01. 07. 1990	2608/9/670	6,477	-1,052	30186	5,425	-10,443	-5,017
01. 07. 1999	2608/9/670	6,453	-1,030	30186	5,423	-10,443	-5,020

Tab. A-15: An die Wasserstände anzubringende Offsets für den Pegel Emshörn (HWP).

Datum	Referenzepoche	Pegellatte	Offset in mm
01. 07. 1975	01. 07. 1975	HWP	0
30. 10. 1975	01. 07. 1975	HWP	0
01. 07. 1984	01. 07. 1984	HWP	-2
01. 07. 1990	01. 07. 1990	HWP	-23
16. 10. 1996	01. 07. 1990	HWP	-31
01. 07. 1999	01. 07. 1999	HWP	-22
16. 10. 2001	01. 07. 1999	HWP	-31
20. 11. 2003	01. 07. 1999	HWP	-30
10. 11. 2005	01. 07. 1999	HWP	-31

Pegel Dukegat

Der Pegel Dukegat steht im Fahrwasser im Bereich der Außenems zwischen Borkum und dem Festland. Mit klassischen Methoden können keine Kontrollen der Höhenlagen zu den Pegelfestpunkten an Land und keine Anschlussnivellements durchgeführt werden. Zum Zeitpunkt der Einrichtung des Pegels 1984 lagen nur Ergebnisse einer hydrostatischen Messkampagne des holländischen Rijkswaterstaats vor. Aus diesen Ergebnissen und der Annahme, dass der Pegelnullpunkt bei seiner erstmaligen Einrichtung auf NN $-5,000$ m eingerichtet wurde, lassen sich die Messelemente rekonstruieren. Die ersten vorliegenden hydrostatischen Anschlussmessungen stammen aus dem Jahr 1990. 1999 erfolgte ein weiterer hydrostatischer Anschluss des Pegels an das amtliche System.

Der Pegelfestpunkt 40171 ist direkt mit dem Pegel verbunden und repräsentiert damit die Vertikalbewegungen des Pegels. Der Sollhöhenunterschied wurde 1985 auf $-12,972$ m festgelegt.

Aus dem Höhen-Geschwindigkeitsfeld ergeben sich für die Anschlusspunkte der Landesvermessung die in Tabelle A-16 dargestellten Ausgangswerte. In Kombination mit den durchgeführten Anschlussmessungen ergeben sich die in Tabelle A-18 dargestellten Pegelnullpunkthöhen. In Tabelle A-17 sind die zur Korrektur der durchgeführten Lattenverschiebungen nötigen Offsets zusammengefasst. Für korrekte Analysen der Wasserstandsdaten müssen die in den Tabellen A-18 und A-17 angegebenen Informationen berücksichtigt werden bzw. die in Tabelle A-18 angegebenen Pegelnullpunkthöhen sind nur in Verbindung mit den in Tabelle A-17 dargestellten Offsets gültig.

Tab. A-16: Ergebnisse des Höhen-Geschwindigkeitsfeldes für die Anschlusspunkte des Pegels Dukegat.

IKÜS-Punktbezeichnung	amtliche Punktbezeichnung	Ausgangshöhe im DHHN 92 in m	Höhenänderungen in m/a
IKUES-32	2608/9/670	6,453	-0,0027

Tab. A-17: Anschlussmessungen zwischen Punkten des Höhen-Geschwindigkeitsfeldes und dem repräsentativen Pegelfestpunkt 40210 sowie dem Pegelnullpunkt.

Datum	IKÜS-Punkt	$H_{IKÜS}$ in m	$dH_{zu PFP}$ in m	PFP	$H_{IKÜS-PFP}$ in m	$dH_{zu PNP}$ in m	$H_{IKÜS-PNP}$ in m
01.07.1985	2608/9/670	6,491	1,496	40210	7,987	-12,972	-4,985
01.07.1990	2608/9/670	6,477	1,479	40210	7,956	-12,972	-5,016
01.07.1999	2608/9/670	6,453	1,490	40210	7,943	-12,972	-5,029

Tab. A-18: An die Wasserstände anzubringende Offsets für den Pegel Dukegat (HWP).

Datum	Referenzepoche	Pegellatte	Offset in mm
01.07.1984	01.07.2004	HWP	0
30.08.1990	30.08.1990	HWP	2
16.10.1996	30.08.1990	HWP	-25
01.07.1999	01.07.1999	HWP	1
01.10.2001	01.07.1999	HWP	-23
19.11.2003	01.07.1999	HWP	-31
07.11.2005	01.07.1999	HWP	-11

Pegel Knock

Der Pegel Knock ist eine im Dollart installierte Pegelanlage. Mit klassischen Methoden können keine Kontrollen der Höhenlagen zu Pegelfestpunkten an Land und auch keine Anschlussnivelements durchgeführt werden. Zum Zeitpunkt der Einrichtung wurde der Pegel über Wattnivelements in Verbindung mit Stromübergangsnivelements an das amtliche System angeschlossen. 1999 erfolgte ein weiterer hydrostatischer Anschluss.

Der Sollhöhenunterschied zum Pegelfestpunkt 50657 wurde 1975 bestimmt und auf eine Höhendifferenz von $-13,174$ m festgelegt. Dieser Punkt ist am Ufer der Ems und damit nicht in der unmittelbaren Umgebung des Pegels. Mitte der neunziger Jahre wurden am Pegel selbst einige Pegelfestpunkte eingerichtet, wobei der Punkt 50110 als Referenz genutzt wurde. Der Höhenunterschied zwischen dem Punkt 50110 und dem Pegelnullpunkt wurde auf $-13,419$ m festgelegt.

Aus dem Höhen-Geschwindigkeitsfeld ergeben sich für die Anschlusspunkte der Landesvermessung die in Tabelle A-19 dargestellten Ausgangswerte. In Kombination mit den durchgeführten Anschlussmessungen ergeben sich die in Tabelle A-20 dargestellten Pegelnullpunkthöhen. In Tabelle A-21 sind die zur Korrektur der durchgeführten Lattenverschiebungen nötigen Offsets zusammengefasst. Für korrekte Analysen der Wasserstandsdaten müssen die in den Tabellen A-20 und A-21 angegebenen Informationen berücksichtigt werden bzw. die in Tabelle A-20 angegebenen Pegelnullpunkthöhen sind nur in Verbindung mit den in Tabelle A-21 dargestellten Offsets gültig.

Tab. A-19: Ergebnisse des Höhen-Geschwindigkeitsfeldes für die Anschlusspunkte des Pegels Knock.

IKÜS-Punktbezeichnung	amtliche Punktbezeichnung	Ausgangshöhe im DHHN 92 in m	Höhenänderungen in m/a
IKUES-28	2608/9/17	$-0,238$	$-0,0027$
IKUES-32	2608/9/670	$6,453$	$-0,0027$

Tab. A-20: Anschlussmessungen zwischen Punkten des IKÜS- Modells und den repräsentativen Pegelfestpunkten 50657/50110 sowie dem Pegelnullpunkt.

Datum	IKÜS-Punkt	$H_{IKÜS}$ in m	$dH_{zu PFP}$ in m	PFP	$H_{IKÜS-PFP}$ in m	$dH_{zu PNP}$ in m	$H_{IKÜS-PNP}$ in m
01.07.1975	2608/9/17	$-0,172$	$8,394$	50657	$8,222$	$-13,174$	$-4,952$
01.07.1999	2608/9/670	$6,453$	$1,912$	50110	$8,365$	$-13,419$	$-5,054$

Tab. A-21: An die Wasserstände anzubringende Offsets für den Pegel Knock (HWP).

Datum	Referenzepoche	Pegellatte	Offset in mm
01.07.1975	01.07.1975	HWP	0
01.07.1999	01.07.1999	HWP	0
01.10.2001	01.07.1999	HWP	1
19.11.2003	01.07.1999	HWP	-1
07.11.2005	01.07.1999	HWP	-5

Pegel Emden Neue Seeschleuse

Der Pegel Emden Neue Seeschleuse ist im Bereich der Neuen Seeschleuse in Emden installiert und wurde bei jeder großräumigen Nivellementkampagne an das Landesnetz angeschlossen. Repräsentativer Pegelfestpunkt ist der Punkt 60645, der gleichzeitig auch ein amtliche Festpunkt (2609/9/645) ist. Der Sollhöhenunterschied betrug bei der erstmaligen Festlegung $-10,393$ m.

Aus dem Höhen-Geschwindigkeitsfeld ergeben sich für die Anschlusspunkte der Landesvermessung die in Tabelle A-22 dargestellten Ausgangswerte. In Kombination mit den durchgeführten Anschlussmessungen ergeben sich die in Tabelle A-23 dargestellten Pegelnullpunkthöhen. In Tabelle A-24 sind die zur Korrektur der durchgeführten Lattenverschiebungen nötigen Offsets zusammengefasst. Für korrekte Analysen der Wasserstandsdaten müssen die in den Tabellen A-23 und A-24 angegebenen Informationen berücksichtigt werden bzw. die in Tabelle A-23 angegebenen Pegelnullpunkthöhen sind nur in Verbindung mit den in Tabelle A-24 dargestellten Offsets gültig.

Tab. A-22: Ergebnisse des Höhen-Geschwindigkeitsfeldes für die Anschlusspunkte des Pegels Emden Neue Seeschleuse.

IKÜS-Punktbezeichnung	amtliche Punktbezeichnung	Ausgangshöhe im DHHN 92 in m	Höhenänderungen in m/a
IKUES-76	2306/9/645	5,384	-0,0024

Tab. A-23: Anschlussmessungen zwischen Punkten des Höhen-Geschwindigkeitsfeldes und dem repräsentativen Pegelfestpunkt 60645 sowie dem Pegelnullpunkt.

Datum	IKÜS-Punkt	$H_{IKÜS}$ in m	$dH_{zu PFP}$ in m	PFP	$H_{PFP-IKÜS}$ in m	$dH_{zu PNP}$ in m	$H_{IKÜS-PNP}$ in m
01. 10. 1935	2609/9/645	5,537	0,000	60645	5,537	-10,393	-4,856
18. 06. 1959	2609/9/645	5,480	0,000	60645	5,480	-10,393	-4,913
09. 08. 1979	2609/9/645	5,432	0,000	60645	5,432	-10,393	-4,961
28. 03. 1984	2609/9/645	5,421	0,000	60645	5,421	-10,393	-4,972
27. 11. 1984	2609/9/645	5,419	0,000	60645	5,419	-10,393	-4,974
16. 09. 1985	2609/9/645	5,417	0,000	60645	5,417	-10,393	-4,976
20. 08. 1998	2609/9/645	5,386	0,000	60645	5,386	-10,393	-5,007

Tab. A-24: An die Wasserstände anzubringende Offsets für den Pegel Emden Neue Seeschleuse (HWP).

Datum	Referenzepoche	Pegellatte	Offset in mm
27. 12. 1935	27. 12. 1935	HWP	0
16. 03. 1937	27. 12. 1935	HWP	-1
07. 07. 1938	27. 12. 1935	HWP	-2
16. 06. 1939	27. 12. 1935	HWP	1
07. 09. 1940	27. 12. 1935	HWP	-1
30. 04. 1941	27. 12. 1935	HWP	-3
16. 04. 1946	27. 12. 1935	HWP	-1
22. 05. 1947	27. 12. 1935	HWP	-10
17. 06. 1948	27. 12. 1935	HWP	-11
06. 06. 1949	27. 12. 1935	HWP	-10
19. 06. 1950	27. 12. 1935	HWP	-17
15. 03. 1951	27. 12. 1935	HWP	1
30. 05. 1951	27. 12. 1935	HWP	-1
15. 03. 1951	27. 12. 1935	HWP	1
15. 05. 1952	27. 12. 1935	HWP	-3
01. 07. 1953	27. 12. 1935	HWP	-1
26. 06. 1954	27. 12. 1935	HWP	-2
28. 07. 1955	27. 12. 1935	HWP	-1
18. 06. 1956	27. 12. 1935	HWP	-2
13. 10. 1956	27. 12. 1935	HWP	-5
01. 07. 1957	27. 12. 1935	HWP	-1
18. 06. 1959	18. 06. 1959	HWP	-5
05. 07. 1960	18. 06. 1959	HWP	-5
23. 06. 1961	18. 06. 1959	HWP	-3

Fortsetzung nächste Seite

Tab. A-24 – Fortsetzung von vorhergehender Seite

Datum	Referenzepoche	Pegellatte	Offset in mm
16.07.1962	18.06.1959	HWP	-5
06.08.1964	18.06.1959	HWP	-5
23.07.1965	18.06.1959	HWP	-3
21.07.1966	18.06.1959	HWP	-4
11.06.1968	18.06.1959	HWP	-2
24.11.1969	18.06.1959	HWP	-3
22.07.1970	18.06.1959	HWP	0
25.08.1971	18.06.1959	HWP	-1
04.07.1972	18.06.1959	HWP	1
14.06.1973	18.06.1959	HWP	-2
27.06.1974	18.06.1959	HWP	-5
15.08.1975	18.06.1959	HWP	-1
05.07.1976	18.06.1959	HWP	-2
28.10.1977	18.06.1959	HWP	1
04.06.1978	18.06.1959	HWP	0
09.08.1979	09.08.1979	HWP	2
27.11.1984	28.03.1984	HWP	7
16.09.1985	16.09.1985	HWP	8
09.06.1986	16.09.1985	HWP	9
05.08.1987	16.09.1985	HWP	8
21.11.1988	16.09.1985	HWP	8
07.12.1989	16.09.1985	HWP	11
25.10.1990	16.09.1985	HWP	9
30.10.1991	16.09.1985	HWP	8
02.12.1992	16.09.1985	HWP	9
28.10.1993	16.09.1985	HWP	9
20.10.1994	16.09.1985	HWP	7
10.05.1995	16.09.1985	HWP	12

Fortsetzung nächste Seite

Tab. A-24 – Abschluss der vorhergehenden Seite

Datum	Referenzepoche	Pegellatte	Offset in mm
26. 03. 1996	16. 09. 1985	HWP	6
13. 03. 1997	16. 09. 1985	HWP	7
07. 09. 1998	20. 08. 1998	HWP	4
16. 06. 1999	20. 08. 1998	HWP	6
25. 09. 2000	20. 08. 1998	HWP	4
21. 08. 2001	20. 08. 1998	HWP	5
21. 08. 2002	20. 08. 1998	HWP	7
25. 08. 2003	20. 08. 1998	HWP	4
01. 10. 2004	20. 08. 1998	HWP	6
15. 06. 2005	20. 08. 1998	HWP	5
11. 07. 2007	20. 08. 1998	HWP	3

Pegel Norderney

Der Pegel Norderney besteht aus dem Pegel Norderney Hafen (bis 1963) und aus dem Pegel Norderney Riffgat (seit 1963). Als Repräsentativer Pegelfestpunkt wurde der Punkt 70001 genutzt, der gleichzeitig ein amtlicher Höhenpunkt der Landesvermessung ist (2209/9/601). Der Sollhöhenunterschied betrug bei der erstmaligen Festlegung $-10,014$ m. Wenn die Wasserstandszeitreien der Pegel Hafen und Riffgat gemeinsam ausgewertet werden sollen, müsste der festgelegte Sollhöhenunterschied auf für den Pegel Riffgat angehalten werden.

Aus dem Höhen-Geschwindigkeitsfeld ergeben sich für die Anschlusspunkte der Landesvermessung die in Tabelle A-25 dargestellten Ausgangswerte. In Kombination mit den durchgeführten Anschlussmessungen ergeben sich die in Tabelle A-26 dargestellten Pegelnullpunkthöhen. In den Tabellen A-27 – A-30 sind die zur Korrektur der durchgeführten Lattenverschiebungen nötigen Offsets zusammengefasst. Für korrekte Analysen der Wasserstandsdaten müssen die in den Tabellen A-26 und A-27 – A-30 angegebenen Informationen berücksichtigt werden bzw. die in Tabelle A-26 angegebenen Pegelnullpunkthöhen sind nur in Verbindung mit den in den Tabellen A-27 – A-30 dargestellten Offsets gültig.

Tab. A-25: Ergebnisse des Höhen-Geschwindigkeitsfeldes für den Anschlusspunkt des Pegels Norderney (Hafen und Riffgat).

IKÜS-Punktbezeichnung	amtliche Punktbezeichnung	Ausgangshöhe im DHHN 92 in m	Höhenänderungen in m/a
IKUES-8348	2209/9/601	4,972	-0,0022

Tab. A-26: Anschlussmessungen zwischen Punkten des Höhen-Geschwindigkeitsfeldes und dem repräsentativen Pegelfestpunkt 70001 sowie dem Pegelnullpunkt.

Datum	IKÜS-Punkt	$H_{IKÜS}$ in m	$dH_{zu PFP}$ in m	PFP Nr.	$H_{iKÜS-PFP}$ in m	$dH_{zu PNP}$ in m	$H_{IKÜS-PNP}$ in m
01.01.1935	2209/9/601	5,114	0,000	70001	5,114	-10,014	-4,900
16.12.1957	2209/9/601	5,063	0,000	70001	5,063	-10,014	-4,951
28.06.1973	2209/9/601	5,029	0,000	70001	5,029	-10,014	-4,985
29.08.1978	2209/9/601	5,018	0,000	70001	5,018	-10,014	-4,996
25.04.1984	2209/9/601	5,005	0,000	70001	5,005	-10,014	-5,009
30.11.1994	2209/9/601	4,983	0,000	70001	4,983	-10,014	-5,031

Tab. A-27: An die Wasserstände anzubringende Offsets für den Pegel Norderney Hafen (HWP).

Datum	Referenzepoche	Pegellatte	Offset in mm
19. 11. 1935	19. 11. 1935	HWP	-2
17. 08. 1936	19. 11. 1935	HWP	-2
04. 07. 1938	19. 11. 1935	HWP	0
21. 06. 1940	19. 11. 1935	HWP	2
18. 07. 1941	19. 11. 1935	HWP	0
07. 07. 1942	19. 11. 1935	HWP	0
23. 07. 1945	19. 11. 1935	HWP	-1
18. 07. 1947	19. 11. 1935	HWP	-6
08. 07. 1948	19. 11. 1935	HWP	-8
09. 07. 1948	19. 11. 1935	HWP	4
02. 04. 1949	19. 11. 1935	HWP	-3
16. 09. 1949	19. 11. 1935	HWP	-1
15. 06. 1950	19. 11. 1935	HWP	-6
28. 06. 1951	19. 11. 1935	HWP	-8
09. 06. 1952	19. 11. 1935	HWP	-6
16. 06. 1953	19. 11. 1935	HWP	-6
23. 07. 1954	19. 11. 1935	HWP	-1
17. 03. 1955	19. 11. 1935	HWP	1
13. 07. 1956	19. 11. 1935	HWP	-13
13. 08. 1959	16. 12. 1957	HWP	-2
07. 10. 1960	16. 12. 1957	HWP	-2
29. 06. 1961	16. 12. 1957	HWP	-3
20. 07. 1962	16. 12. 1957	HWP	-2
15. 08. 1963	16. 12. 1957	HWP	-1

Fortsetzung nächste Seite

Tab. A-27 – Abschluss der vorhergehenden Seite

Datum	Referenzepoche	Pegellatte	Offset in mm
22.07.1965	16.12.1957	HWP	1
27.07.1966	16.12.1957	HWP	4
09.11.1967	16.12.1957	HWP	8
25.04.1968	16.12.1957	HWP	7
09.09.1969	16.12.1957	HWP	8
14.08.1970	16.12.1957	HWP	7
14.07.1971	16.12.1957	HWP	6
25.07.1972	16.12.1957	HWP	7

Tab. A-28: An die Wasserstände anzubringende Offsets für den Pegel Norderney Hafen (Staffel II).

Datum	Referenzepoche	Pegellatte	Offset in mm
19. 11. 1935	19. 11. 1935	St.II	-5
17. 08. 1936	19. 11. 1935	St.II	-9
19. 08. 1936	19. 11. 1935	St.II	-3
04. 07. 1938	19. 11. 1935	St.II	-1
21. 06. 1940	19. 11. 1935	St.II	1
18. 07. 1941	19. 11. 1935	St.II	6
23. 07. 1945	19. 11. 1935	St.II	-6
18. 07. 1947	19. 11. 1935	St.II	-4
08. 07. 1948	19. 11. 1935	St.II	-8
09. 07. 1948	19. 11. 1935	St.II	4
05. 01. 1949	19. 11. 1935	St.II	6
02. 04. 1949	19. 11. 1935	St.II	-2
16. 09. 1949	19. 11. 1935	St.II	6
10. 10. 1949	19. 11. 1935	St.II	11
19. 12. 1949	19. 11. 1935	St.II	3
15. 06. 1950	19. 11. 1935	St.II	5
28. 06. 1951	19. 11. 1935	St.II	0
09. 06. 1952	19. 11. 1935	St.II	3
16. 06. 1953	19. 11. 1935	St.II	-4
23. 07. 1954	19. 11. 1935	St.II	3
13. 07. 1956	19. 11. 1935	St.II	-5
09. 11. 1956	19. 11. 1935	St.II	-4
24. 07. 1957	19. 11. 1935	St.II	-5
13. 08. 1959	16. 12. 1957	St.II	-6

Fortsetzung nächste Seite

Tab. A-28 – Abschluss der vorhergehenden Seite

Datum	Referenzepoche	Pegellatte	Offset in mm
07. 10. 1960	16. 12. 1957	St.II	-14
29. 06. 1961	16. 12. 1957	St.II	-12
20. 07. 1962	16. 12. 1957	St.II	-12
15. 08. 1963	16. 12. 1957	St.II	1
11. 08. 1964	16. 12. 1957	St.II	2
11. 08. 1964	16. 12. 1957	St.II	1
22. 07. 1965	16. 12. 1957	St.II	6
27. 07. 1966	16. 12. 1957	St.II	2
09. 11. 1967	16. 12. 1957	St.II	4
25. 04. 1968	16. 12. 1957	St.II	5
09. 09. 1969	16. 12. 1957	St.II	3
14. 08. 1970	16. 12. 1957	St.II	2
14. 07. 1971	16. 12. 1957	St.II	5
25. 07. 1972	16. 12. 1957	St.II	4

Tab. A-29: An die Wasserstände anzubringende Offsets für den Pegel Norderney Riffgat (HWP).

Datum	Referenzepoche	Pegellatte	Offset in mm
16. 12. 1957	16. 12. 1957	HWP	14
13. 06. 1958	16. 12. 1957	HWP	18
07. 10. 1960	16. 12. 1957	HWP	15

Fortsetzung nächste Seite

Tab. A-29 – Fortsetzung von vorhergehender Seite

Datum	Referenzepoche	Pegellatte	Offset in mm
29.06.1961	16.12.1957	HWP	13
20.07.1962	16.12.1957	HWP	15
15.08.1963	16.12.1957	HWP	19
11.08.1964	16.12.1957	HWP	18
22.07.1965	16.12.1957	HWP	13
27.07.1966	16.12.1957	HWP	22
09.11.1967	16.12.1957	HWP	10
25.04.1968	16.12.1957	HWP	13
14.08.1970	16.12.1957	HWP	12
14.07.1971	16.12.1957	HWP	–4
25.07.1972	16.12.1957	HWP	1
28.06.1973	28.06.1973	HWP	10
15.08.1974	28.06.1973	HWP	5
15.09.1975	28.06.1973	HWP	8
15.12.1976	28.06.1973	HWP	8
20.09.1977	28.06.1973	HWP	11
29.08.1978	29.08.1978	HWP	5
30.08.1979	29.08.1978	HWP	5
02.10.1979	29.08.1978	HWP	13
04.11.1983	29.08.1978	HWP	23
25.04.1984	25.04.1984	HWP	19
30.04.1986	25.04.1984	HWP	21
01.10.1987	25.04.1984	HWP	47
18.11.1988	25.04.1984	HWP	47
05.12.1989	25.04.1984	HWP	47
05.02.1991	25.04.1984	HWP	45
01.12.1992	25.04.1984	HWP	36
09.11.1993	25.04.1984	HWP	51

Fortsetzung nächste Seite

Tab. A-29 – Abschluss der vorhergehenden Seite

Datum	Referenzepoche	Pegellatte	Offset in mm
19.01.1994	25.04.1984	HWP	53
22.10.1997	30.11.1994	HWP	42
01.09.1998	30.11.1994	HWP	46
14.09.1999	30.11.1994	HWP	42
07.09.2000	30.11.1994	HWP	39
26.06.2001	30.11.1994	HWP	50
12.09.2002	30.11.1994	HWP	48
29.10.2003	30.11.1994	HWP	46
14.07.2004	30.11.1994	HWP	48
12.10.2005	30.11.1994	HWP	58
20.09.2007	30.11.1994	HWP	51

Tab. A-30: An die Wasserstände anzubringende Offsets für den Pegel Norderney Riffgat (Staffel II).

Datum	Referenzepoche	Pegellatte	Offset in mm
16.12.1957	16.12.1957	St.II	20
13.06.1958	16.12.1957	St.II	15
07.10.1960	16.12.1957	St.II	15
29.06.1961	16.12.1957	St.II	19
20.07.1962	16.12.1957	St.II	17
15.08.1963	16.12.1957	St.II	21
11.08.1964	16.12.1957	St.II	24

Fortsetzung nächste Seite

Tab. A-30 – Fortsetzung von vorhergehender Seite

Datum	Referenzepoche	Pegellatte	Offset in mm
22.07.1965	16.12.1957	St.II	23
27.07.1966	16.12.1957	St.II	26
09.11.1967	16.12.1957	St.II	10
25.04.1968	16.12.1957	St.II	13
14.08.1970	16.12.1957	St.II	17
14.07.1971	16.12.1957	St.II	9
25.07.1972	16.12.1957	St.II	7
28.06.1973	28.06.1973	St.II	8
15.08.1974	28.06.1973	St.II	13
15.09.1975	28.06.1973	St.II	10
15.12.1976	28.06.1973	St.II	14
20.09.1977	28.06.1973	St.II	10
29.08.1978	29.08.1978	St.II	16
25.04.1984	25.04.1984	St.II	-4
30.04.1986	25.04.1984	St.II	20
01.10.1987	25.04.1984	St.II	45
18.11.1988	25.04.1984	St.II	-1
05.12.1989	25.04.1984	St.II	-1
05.02.1991	25.04.1984	St.II	48
01.12.1992	25.04.1984	St.II	46
09.11.1993	25.04.1984	St.II	51
19.01.1994	25.04.1984	St.II	48
22.10.1997	30.11.1994	St.II	39
01.09.1998	30.11.1994	St.II	39
14.09.1999	30.11.1994	St.II	38
07.09.2000	30.11.1994	St.II	36
26.06.2001	30.11.1994	St.II	47
12.09.2002	30.11.1994	St.II	48

Fortsetzung nächste Seite

Tab. A-30 – Abschluss der vorhergehenden Seite

Datum	Referenzepoche	Pegellatte	Offset in mm
29. 10. 2003	30. 11. 1994	St.II	47
14. 07. 2004	30. 11. 1994	St.II	46
12. 10. 2005	30. 11. 1994	St.II	45
20. 09. 2007	30. 11. 1994	St.II	46

Pegel Bremerhaven Alter Leuchtturm

Der Pegel Bremerhaven Alter Leuchtturm wurde als Nachfolger für den Pegel Bremerhaven Doppelschleuse 1965 in Betrieb genommen. Geodätische Informationen liegen für den Pegel seit 1976 vor. Repräsentativer Pegelfestpunkt ist der Punkt 86622. Bei der erstmaligen Festlegung betrug der Sollhöhenunterschied zu diesem Punkt $-9,455$ m. 2006 war der Pegelfestpunkt 86622 nicht mehr vorhanden. Ab 2006 wurde der Punkt 86618 als repräsentativ angenommen, dessen Sollhöhenunterschied 2000 in Verbindung mit dem Pegelfestpunkt 86622 auf $-10,639$ m festgelegt wurde.

Aus dem Höhen-Geschwindigkeitsfeld ergeben sich für die Anschlusspunkte der Landesvermessung die in Tabelle A-31 dargestellten Ausgangswerte. In Kombination mit den durchgeführten Anschlussmessungen ergeben sich die in Tabelle A-32 dargestellten Pegelnullpunkthöhen. In Tabelle A-33 sind die zur Korrektur der durchgeführten Lattenverschiebungen nötigen Offsets zusammengefasst. Für korrekte Analysen der Wasserstandsdaten müssen die in den Tabellen A-32 und A-33 angegebenen Informationen berücksichtigt werden bzw. die in Tabelle A-32 angegebenen Pegelnullpunkthöhen sind nur in Verbindung mit den in Tabelle A-33 dargestellten Offsets gültig.

Tab. A-31: Ergebnisse des Höhen-Geschwindigkeitsfeldes für den Anschlusspunkt des Pegels Bremerhaven Alter Leuchtturm.

IKÜS-Punktbezeichnung	amtliche Punktbezeichnung	Ausgangshöhe im DHHN 92 in m	Höhenänderungen in m/a
IKUES-12058	2417/9/26	5,815	-0,0009

Tab. A-32: Anschlussmessungen zwischen Punkten des IKÜS- Modells und den repräsentativen Pegelfestpunkten 86622/86618 und dem Pegelnullpunkt.

Datum	IKÜS-Punkt	$H_{IKÜS}$ in m	$dH_{zu PFP}$ in m	PFP	$H_{IKÜS-PFP}$ in m	$dH_{zu PNP}$ in m	$H_{IKÜS-PNP}$ in m
13. 09. 1976	2417/9/26	5,835	-1,346	86622	4,489	-9,455	-4,966
23. 10. 1989	2417/9/26	5,824	-1,338	86622	4,486	-9,455	-4,969
12. 10. 1990	2417/9/26	5,823	-1,335	86622	4,488	-9,455	-4,967
12. 11. 1991	2417/9/26	5,822	-1,338	86622	4,484	-9,455	-4,971
07. 07. 1992	2417/9/26	5,821	-1,340	86622	4,481	-9,455	-4,974
21. 10. 1993	2417/9/26	5,820	-1,333	86622	4,488	-9,455	-4,967
05. 09. 1997	2417/9/26	5,817	-1,332	86622	4,485	-9,455	-4,970
07. 11. 2000	2417/9/26	5,814	-1,333	86622	4,480	-9,455	-4,975
08. 11. 2000	2417/9/26	5,814	-0,151	86618	5,662	-10,637	-4,975
08. 05. 2006	2417/9/26	5,809	-0,146	86618	5,663	-10,637	-4,974

Tab. A-33: An die Wasserstände anzubringende Offsets für den Pegel Bremerhaven Alter Leuchtturm (HWP).

Datum	Referenzepoche	Pegellatte	Offset in mm
13. 09. 1976	13. 09. 1976	HWP	-29
03. 07. 1980	13. 09. 1976	HWP	0
09. 02. 1982	13. 09. 1976	HWP	1
26. 01. 1983	13. 09. 1976	HWP	0
07. 01. 1985	13. 09. 1976	HWP	2
29. 10. 1985	13. 09. 1976	HWP	2
29. 10. 1986	13. 09. 1976	HWP	3

Fortsetzung nächste Seite

Tab. A-33 – Abschluss der vorhergehenden Seite

Datum	Referenzepoche	Pegellatte	Offset in mm
28. 10. 1987	13. 09. 1976	HWP	3
28. 02. 1988	13. 09. 1976	HWP	5
23. 10. 1989	23. 10. 1989	HWP	3
12. 10. 1990	12. 10. 1990	HWP	4
12. 11. 1991	12. 11. 1991	HWP	5
07. 07. 1992	07. 07. 1992	HWP	7
21. 10. 1993	21. 10. 1993	HWP	3
28. 11. 1994	21. 10. 1993	HWP	1
04. 10. 1995	21. 10. 1993	HWP	0
02. 09. 1996	21. 10. 1993	HWP	2
05. 09. 1997	05. 09. 1997	HWP	0
01. 10. 1998	05. 09. 1997	HWP	2
07. 11. 2000	07. 11. 2000	HWP	2
18. 09. 2001	07. 11. 2000	HWP	1
24. 09. 2002	07. 11. 2000	HWP	2
09. 12. 2003	07. 11. 2000	HWP	1
08. 05. 2006	08. 05. 2006	HWP	-7
10. 12. 2007	08. 05. 2006	HWP	-7

Pegel Wilhelmshaven Alter Vorhafen

Der Pegel Wilhelmshaven Alter Vorhafen wurde als Ersatz für den Schreibpegel Nassaubücke errichtet. Geodätische Informationen liegen für den Pegel seit 1930 vor. Als repräsentativer Pegelfestpunkt wurde der Punkt 90020 ausgewählt, der gleichzeitig ein Punkt der Landesvermessung ist (2414/9/20). Der Sollhöhenunterschied wurde 1934 auf einen Wert von $-8,282$ m festgelegt.

Aus dem Höhen-Geschwindigkeitsfeld ergeben sich für die Anschlusspunkte der Landesvermessung die in Tabelle A-34 dargestellten Ausgangswerte. In Kombination mit den durchgeführten Anschlussmessungen ergeben sich die in Tabelle A-35 dargestellten Pegelnullpunkthöhen. In Tabelle A-36 sind die zur Korrektur der durchgeführten Lattenverschiebungen nötigen Offsets zusammengefasst. Für korrekte Analysen der Wasserstandsdaten müssen die in den Tabellen A-35 und A-36 angegebenen Informationen berücksichtigt werden bzw. die in Tabelle A-35 angegebenen Pegelnullpunkthöhen sind nur in Verbindung mit den in Tabelle A-36 dargestellten Offsets gültig.

Tab. A-34: Ergebnisse des Höhen-Geschwindigkeitsfeldes für den Anschlusspunkt des Pegels Wilhelmshaven Alter Vorhafen.

IKÜS-Punktbezeichnung	amtliche Punktbezeichnung	Ausgangshöhe im DHHN 92 in m	Höhenänderungen in m/a
IKUES-11478	2414/9/20	3,252	-0,0016

Tab. A-35: Anschlussmessungen zwischen Punkten des IKÜS- Modells und dem repräsentativen Pegelfestpunkt 90020 bzw. dem Pegelnullpunkt.

Datum	IKÜS-Punkt	$H_{\text{IKÜS}}$ in m	$dH_{\text{zu PFP}}$ in m	PFP	$H_{\text{IKÜS-PFP}}$ in m	$dH_{\text{zu PNP}}$ in m	$H_{\text{IKÜS-PNP}}$ in m
01.01.1930	2414/9/20	3,363	0,000	90020	3,363	-8,282	-4,919
15.08.1934	2414/9/20	3,356	0,000	90020	3,356	-8,282	-4,926
01.01.1952	2414/9/20	3,328	0,000	90020	3,328	-8,282	-4,954
01.07.1975	2414/9/20	3,290	0,000	90020	3,290	-8,282	-4,992
09.03.1983	2414/9/20	3,278	0,000	90020	3,278	-8,282	-5,004
06.07.1994	2414/9/20	3,260	0,000	90020	3,260	-8,282	-5,022
01.07.2003	2414/9/20	3,245	0,000	90020	3,245	-8,282	-5,037

Tab. A-36: An die Wasserstände anzubringende Offsets für den Pegel Wilhemshaven Alter Vorhafen (HWP).

Datum	Referenzepoche	Pegellatte	Offset in mm
16. 04. 1930	01. 01. 1930	HWP	2338
08. 12. 1931	01. 01. 1930	HWP	2337
15. 08. 1934	01. 01. 1930	HWP	2346
16. 07. 1936	01. 01. 1930	HWP	2349
14. 05. 1937	01. 01. 1930	HWP	2346
22. 03. 1938	01. 01. 1930	HWP	2343
24. 04. 1940	24. 04. 1940	HWP	0
28. 11. 1946	24. 04. 1940	HWP	0
02. 11. 1949	24. 04. 1940	HWP	21
06. 02. 1950	24. 04. 1940	HWP	2
06. 11. 1950	24. 04. 1940	HWP	5
08. 11. 1951	24. 04. 1940	HWP	-15
14. 06. 1952	01. 01. 1952	HWP	10
09. 07. 1953	01. 01. 1952	HWP	10
21. 04. 1954	01. 01. 1952	HWP	11
02. 05. 1955	01. 01. 1952	HWP	9
29. 03. 1956	01. 01. 1952	HWP	9
17. 04. 1957	01. 01. 1952	HWP	10
22. 04. 1958	01. 01. 1952	HWP	9
27. 04. 1959	01. 01. 1952	HWP	10
24. 04. 1960	01. 01. 1952	HWP	7
19. 05. 1961	01. 01. 1952	HWP	7
19. 04. 1962	01. 01. 1952	HWP	8
13. 06. 1963	01. 01. 1952	HWP	5

Fortsetzung nächste Seite

Tab. A-36 – Fortsetzung von vorhergehender Seite

Datum	Referenzepoche	Pegellatte	Offset in mm
20.07.1964	01.01.1952	HWP	5
22.06.1965	01.01.1952	HWP	5
09.09.1966	01.01.1952	HWP	6
10.04.1967	01.01.1952	HWP	5
15.04.1969	01.01.1952	HWP	5
28.04.1970	01.01.1952	HWP	6
19.09.1970	01.01.1952	HWP	10
26.04.1971	01.01.1952	HWP	9
10.05.1972	01.01.1952	HWP	10
15.03.1973	01.01.1952	HWP	10
01.07.1975	01.07.1975	HWP	11
15.11.1976	01.07.1975	HWP	5
13.12.1977	01.07.1975	HWP	-1
15.06.1978	01.07.1975	HWP	4
19.10.1979	01.07.1975	HWP	5
27.08.1980	01.07.1975	HWP	1
23.02.1982	01.07.1975	HWP	-1
19.10.1982	01.07.1975	HWP	-3
21.10.1982	01.07.1975	HWP	11
09.03.1983	01.07.1975	HWP	10
06.05.1983	06.05.1983	HWP	1
05.11.1984	06.05.1983	HWP	0
20.08.1985	06.05.1983	HWP	0
10.06.1986	06.05.1983	HWP	3
29.04.1987	06.05.1983	HWP	2
09.05.1988	06.05.1983	HWP	1
09.05.1989	06.05.1983	HWP	2
22.05.1990	06.05.1983	HWP	0

Fortsetzung nächste Seite

Tab. A-36 – Abschluss der vorhergehenden Seite

Datum	Referenzepoche	Pegellatte	Offset in mm
05.06.1991	06.05.1983	HWP	-2
20.04.1993	06.05.1983	HWP	-1
06.07.1994	06.07.1994	HWP	3
30.05.1995	06.07.1994	HWP	3
11.06.1996	06.07.1994	HWP	4
03.03.1997	06.07.1994	HWP	2
29.06.1998	06.07.1994	HWP	2
15.03.1999	06.07.1994	HWP	4
31.05.2000	06.07.1994	HWP	3
07.05.2001	06.07.1994	HWP	3
27.03.2002	06.07.1994	HWP	2
21.08.2003	01.07.2003	HWP	2
27.04.2004	01.07.2003	HWP	2
26.04.2005	01.07.2003	HWP	2
03.05.2006	01.07.2003	HWP	3

Pegel Wilhelmshaven Neuer Vorhafen

Der Pegel Wilhelmshaven Neuer Vorhafen wurde 1968 in Betrieb genommen. Geodätische Informationen liegen für den Pegel seit 1969 vor. Repräsentativer Pegelfestpunkt ist der Punkt 100002. Bei der erstmaligen Festlegung betrug der Sollhöhenunterschied zu diesem Punkt $-9,064$ m.

Aus dem Höhen-Geschwindigkeitsfeld ergeben sich für die Anschlusspunkte der Landesvermessung die in Tabelle A-37 dargestellten Ausgangswerte. In Kombination mit den durchgeführten Anschlussmessungen ergeben sich die in Tabelle A-38 dargestellten Pegelnullpunkthöhen. In Tabelle A-39 sind die zur Korrektur der durchgeführten Lattenverschiebungen nötigen Offsets zusammengefasst. Für korrekte Analysen der Wasserstandsdaten müssen die in den Tabellen A-38 und A-39 angegebenen Informationen berücksichtigt werden bzw. die in Tabelle A-38 angegebenen Pegelnullpunkthöhen sind nur in Verbindung mit den in Tabelle A-39 dargestellten Offsets gültig.

Tab. A-37: Ergebnisse des Höhen-Geschwindigkeitsfeldes für die Anschlusspunkte des Pegels Wilhelmshaven Neuer Vorhafen.

IKÜS-Punktbezeichnung	amtliche Punktbezeichnung	Ausgangshöhe im DHHN 92 in m	Höhenänderungen in m/a
IKUES-11514	2414/9/53	1,573	-0,0016
IKUES-11580	2414/9/145	3,375	-0,0016

Tab. A-38: Anschlussmessungen zwischen Punkten des Höhen-Geschwindigkeitsfeldes und dem repräsentativen Pegelfestpunkt 100002 sowie dem Pegelnullpunkt.

Datum	IKÜS-Punkt	$H_{\text{IKÜS}}$ in m	$dH_{\text{zu PFP}}$ in m	PFP Nr.	$H_{\text{IKÜS-PFP}}$ in m	$dH_{\text{zu PNP}}$ in m	$H_{\text{IKÜS-PNP}}$ in m
03.04.1969	2414/9/53	1,621	2,487	100002	4,108	-9,064	-4,956
06.05.1983	2414/9/145	3,383	0,705	100002	4,088	-9,064	-4,976
06.07.1994	2414/9/145	3,365	0,711	100002	4,076	-9,064	-4,988

Tab. A-39: An die Wasserstände anzubringende Offsets für den Pegel Wilhelmshaven Neuer Vorhafen (HWP).

Datum	Referenzepoche	Pegellatte	Offset in mm
04.06.1969	04.06.1969	HWP	-2
21.05.1970	04.06.1969	HWP	-1
31.08.1970	04.06.1969	HWP	6
03.08.1972	04.06.1969	HWP	6
31.08.1973	04.06.1969	HWP	6
13.09.1974	04.06.1969	HWP	7
07.04.1975	04.06.1969	HWP	7
06.05.1976	04.06.1969	HWP	9
12.04.1977	04.06.1969	HWP	7
08.06.1978	04.06.1969	HWP	8
15.05.1979	04.06.1969	HWP	8
24.02.1982	04.06.1969	HWP	7
06.05.1983	06.05.1983	HWP	5
17.04.1984	06.05.1983	HWP	6
31.07.1986	06.05.1983	HWP	-5
04.12.1986	06.05.1983	HWP	-5
18.04.1988	06.05.1983	HWP	-4
15.06.1990	06.05.1983	HWP	-3
21.07.1994	06.07.1994	HWP	-7
13.06.1996	06.07.1994	HWP	-9
15.06.1998	06.07.1994	HWP	-9

Fortsetzung nächste Seite

Tab. A-39 – Abschluss der vorhergehenden Seite

Datum	Referenzepoche	Pegellatte	Offset in mm
06.06.2000	06.07.1994	HWP	-1
22.04.2002	06.07.1994	HWP	-8
29.04.2004	06.07.1994	HWP	-9

Pegel Cuxhaven Steubenhöft

Der Pegel Cuxhaven Steubenhöft wurde 1843 eingerichtet. Geodätische Informationen liegen für den Pegel seit 1935 vor. Repräsentativer Pegelfestpunkt ist der Punkt 11041, der gleichzeitig ein Höhenfestpunkt der Landesvermessung (2118/9/41) ist. Bei der erstmaligen Festlegung betrug der Sollhöhenunterschied zu diesem Punkt $-8,510$ m.

Aus dem Höhen-Geschwindigkeitsfeld ergeben sich für die Anschlusspunkte der Landesvermessung die in Tabelle A-40 dargestellten Ausgangswerte. In Kombination mit den durchgeführten Anschlussmessungen ergeben sich die in Tabelle A-41 dargestellten Pegelnullpunkthöhen. In den Tabellen A-42 – A-44 sind die zur Korrektur der durchgeführten Lattenverschiebungen nötigen Offsets zusammengefasst. Für korrekte Analysen der Wasserstandsdaten müssen die in den Tabellen A-41 und A-42 – A-44 angegebenen Informationen berücksichtigt werden bzw. die in Tabelle A-41 angegebenen Pegelnullpunkthöhen sind nur in Verbindung mit den in den Tabellen A-42 – A-44 dargestellten Offsets gültig.

Tab. A-40: Ergebnisse des Höhen-Geschwindigkeitsfeldes für den Anschlusspunkt des Pegels Cuxhaven Steubenhöft.

IKÜS-Punktbezeichnung	amtliche Punktbezeichnung	Ausgangshöhe im DHHN 92 in m	Höhenänderungen in m/a
IKUES-935	2118/9/41	3,480	-0,0016

Tab. A-41: Anschlussmessungen zwischen Punkten des Höhen-Geschwindigkeitsfeldes und dem repräsentativen Pegelfestpunkt 11041 sowie dem Pegelnullpunkt.

Datum	IKÜS-Punkt	$H_{\text{IKÜS}}$ in m	$dH_{\text{zu PFP}}$ in m	PFP	$H_{\text{IKÜS-PFP}}$ in m	$dH_{\text{zu PNP}}$ in m	$H_{\text{IKÜS-PNP}}$ in m
01. 01. 1935	2118/9/41	3,583	0,000	11041	3,583	-8,510	-4,927
17. 08. 1955	2118/9/41	3,550	0,000	11041	3,550	-8,510	-4,960
04. 11. 1960	2118/9/41	3,542	0,000	11041	3,542	-8,510	-4,968
22. 03. 1989	2118/9/41	3,496	0,000	11041	3,496	-8,510	-5,014

Tab. A-42: An die Wasserstände anzubringende Offsets für den Pegel Cuxhaven Steubenhöft (HWP).

Datum	Referenzepoche	Pegellatte	Offset in mm
27. 10. 1938	01. 01. 1935	HWP	1
26. 10. 1939	01. 01. 1935	HWP	5
04. 10. 1940	01. 01. 1935	HWP	3
23. 09. 1941	01. 01. 1935	HWP	7
23. 10. 1942	01. 01. 1935	HWP	8
20. 07. 1949	01. 01. 1935	HWP	15
11. 06. 1952	01. 01. 1935	HWP	11
05. 02. 1953	01. 01. 1935	HWP	11
06. 02. 1953	01. 01. 1935	HWP	0
27. 03. 1953	01. 01. 1935	HWP	5
20. 10. 1953	01. 01. 1935	HWP	8
01. 06. 1954	01. 01. 1935	HWP	6
19. 11. 1954	01. 01. 1935	HWP	16
17. 08. 1955	17. 08. 1955	HWP	11
20. 04. 1956	17. 08. 1955	HWP	6
23. 11. 1956	17. 08. 1955	HWP	8
26. 04. 1957	17. 08. 1955	HWP	6
02. 12. 1958	17. 08. 1955	HWP	3
26. 05. 1959	17. 08. 1955	HWP	5
26. 11. 1959	17. 08. 1955	HWP	-1
27. 05. 1963	04. 11. 1960	HWP	18
01. 04. 1964	04. 11. 1960	HWP	16
20. 10. 1965	04. 11. 1960	HWP	4
23. 06. 1966	04. 11. 1960	HWP	-2

Fortsetzung nächste Seite

Tab. A-42 – Fortsetzung von vorhergehender Seite

Datum	Referenzepoche	Pegellatte	Offset in mm
11. 10. 1966	04. 11. 1960	HWP	–4
27. 04. 1967	04. 11. 1960	HWP	–2
27. 04. 1967	04. 11. 1960	HWP	–5
07. 05. 1968	04. 11. 1960	HWP	–6
08. 11. 1968	04. 11. 1960	HWP	–6
19. 05. 1969	04. 11. 1960	HWP	–6
14. 10. 1969	04. 11. 1960	HWP	–8
16. 10. 1970	04. 11. 1960	HWP	–6
21. 06. 1972	04. 11. 1960	HWP	4
05. 06. 1973	04. 11. 1960	HWP	–10
06. 06. 1974	04. 11. 1960	HWP	–11
14. 04. 1976	04. 11. 1960	HWP	7
05. 10. 1976	04. 11. 1960	HWP	1
17. 03. 1977	04. 11. 1960	HWP	–12
20. 09. 1977	04. 11. 1960	HWP	–13
30. 03. 1978	04. 11. 1960	HWP	–123
10. 11. 1978	04. 11. 1960	HWP	–25
11. 05. 1979	04. 11. 1960	HWP	–51
26. 07. 1979	04. 11. 1960	HWP	–51
27. 07. 1979	04. 11. 1960	HWP	0
25. 09. 1979	04. 11. 1960	HWP	5
09. 06. 1980	04. 11. 1960	HWP	–2
27. 03. 1981	04. 11. 1960	HWP	–16
14. 09. 1981	04. 11. 1960	HWP	29
19. 03. 1982	04. 11. 1960	HWP	–4
23. 09. 1982	04. 11. 1960	HWP	–10
28. 09. 1983	04. 11. 1960	HWP	–10
09. 04. 1984	04. 11. 1960	HWP	–22

Fortsetzung nächste Seite

Tab. A-42 – Abschluss der vorhergehenden Seite

Datum	Referenzepoche	Pegellatte	Offset in mm
22.09.1989	14.09.1989	HWP	6
02.04.1990	14.09.1989	HWP	5
09.10.1990	14.09.1989	HWP	3
07.05.1991	14.09.1989	HWP	8
09.10.1991	14.09.1989	HWP	6
10.05.1992	14.09.1989	HWP	6
10.10.1992	14.09.1989	HWP	5
30.04.1993	14.09.1989	HWP	5
26.10.1993	14.09.1989	HWP	10
28.04.1994	14.09.1989	HWP	8
28.10.1994	14.09.1989	HWP	4
04.04.1995	14.09.1989	HWP	6
21.11.1995	14.09.1989	HWP	2
05.03.1996	14.09.1989	HWP	11
28.10.1996	14.09.1989	HWP	9
29.04.1997	14.09.1989	HWP	6

Tab. A-43: An die Wasserstände anzubringende Offsets für den Pegel Cuxhaven Steubenhöft (Staffel II).

Datum	Referenzepoche	Pegellatte	Offset in mm
01. 12. 1961	04. 11. 1960	St.II	5
09. 07. 1962	04. 11. 1960	St.II	6
24. 10. 1962	04. 11. 1960	St.II	7
27. 05. 1963	04. 11. 1960	St.II	8
27. 05. 1963	04. 11. 1960	St.II	3
01. 04. 1964	04. 11. 1960	St.II	3
11. 11. 1964	04. 11. 1960	St.II	3
18. 05. 1965	04. 11. 1960	St.II	2
18. 05. 1965	04. 11. 1960	St.II	2
05. 10. 1965	04. 11. 1960	St.II	6
23. 06. 1966	04. 11. 1960	St.II	7
11. 10. 1966	04. 11. 1960	St.II	7
27. 04. 1967	04. 11. 1960	St.II	8
27. 04. 1967	04. 11. 1960	St.II	6
07. 05. 1968	04. 11. 1960	St.II	6
08. 11. 1968	04. 11. 1960	St.II	7
19. 05. 1969	04. 11. 1960	St.II	7
14. 10. 1969	04. 11. 1960	St.II	5
05. 06. 1973	04. 11. 1960	St.II	6
06. 06. 1974	04. 11. 1960	St.II	7
23. 04. 1975	04. 11. 1960	St.II	6
17. 09. 1975	04. 11. 1960	St.II	8
14. 04. 1976	04. 11. 1960	St.II	9
05. 10. 1976	04. 11. 1960	St.II	7

Fortsetzung nächste Seite

Tab. A-43 – Abschluss der vorhergehenden Seite

Datum	Referenzepoche	Pegellatte	Offset in mm
17.03.1977	04.11.1960	St.II	7
20.09.1977	04.11.1960	St.II	8
30.03.1978	04.11.1960	St.II	8
10.11.1978	04.11.1960	St.II	9
11.05.1979	04.11.1960	St.II	12
25.09.1979	04.11.1960	St.II	12
09.06.1980	04.11.1960	St.II	15
27.03.1981	04.11.1960	St.II	-2
14.09.1981	04.11.1960	St.II	-3
19.03.1982	04.11.1960	St.II	-19
23.09.1982	04.11.1960	St.II	1
02.05.1983	04.11.1960	St.II	2
28.09.1983	04.11.1960	St.II	3
09.04.1984	04.11.1960	St.II	2
09.04.1984	04.11.1960	St.II	3
11.04.1985	04.11.1960	St.II	0
23.10.1985	04.11.1960	St.II	6
07.05.1986	04.11.1960	St.II	4
13.10.1986	04.11.1960	St.II	4
10.04.1987	04.11.1960	St.II	4
23.03.1988	04.11.1960	St.II	1
07.10.1988	04.11.1960	St.II	1
22.09.1989	04.11.1960	St.II	6
22.03.1989	04.11.1960	St.II	4
07.05.1991	14.09.1989	St.II	13
09.10.1991	14.09.1989	St.II	11

Tab. A-44: An die Wasserstände anzubringende Offsets für den Pegel Cuxhaven Steubenhöft (Staffel III).

Datum	Referenzepoche	Pegellatte	Offset in mm
23.06.1966	04.11.1960	St.III	4
11.10.1966	04.11.1960	St.III	4
27.04.1967	04.11.1960	St.III	6
27.04.1967	04.11.1960	St.III	6
07.05.1968	04.11.1960	St.III	6
08.11.1968	04.11.1960	St.III	5
19.05.1969	04.11.1960	St.III	5
14.10.1969	04.11.1960	St.III	5
16.10.1970	04.11.1960	St.III	5
21.06.1972	04.11.1960	St.III	5
05.06.1973	04.11.1960	St.III	10
06.06.1974	04.11.1960	St.III	7
23.04.1975	04.11.1960	St.III	8
17.09.1975	04.11.1960	St.III	8
14.04.1976	04.11.1960	St.III	8
05.10.1976	04.11.1960	St.III	7
17.03.1977	04.11.1960	St.III	6
20.09.1977	04.11.1960	St.III	9
30.03.1978	04.11.1960	St.III	9
10.11.1978	04.11.1960	St.III	9
11.05.1979	04.11.1960	St.III	9
25.09.1979	04.11.1960	St.III	9
09.06.1980	04.11.1960	St.III	10
27.03.1981	04.11.1960	St.III	8

Fortsetzung nächste Seite

Tab. A-44 – Abschluss der vorhergehenden Seite

Datum	Referenzepoche	Pegellatte	Offset in mm
14.09.1981	04.11.1960	St.III	10
19.03.1982	04.11.1960	St.III	8
23.09.1982	04.11.1960	St.III	9
02.05.1983	04.11.1960	St.III	8
28.09.1983	04.11.1960	St.III	11
09.04.1984	04.11.1960	St.III	10
09.04.1984	04.11.1960	St.III	10
11.04.1985	04.11.1960	St.III	9
23.10.1985	04.11.1960	St.III	13
07.05.1986	04.11.1960	St.III	10
13.10.1986	04.11.1960	St.III	10
10.04.1987	04.11.1960	St.III	9
23.03.1988	04.11.1960	St.III	9
07.10.1988	04.11.1960	St.III	7
22.09.1989	04.11.1960	St.III	12
22.03.1989	04.11.1960	St.III	9
22.09.1989	14.09.1989	St.III	12
02.04.1990	14.09.1989	St.III	11
09.10.1990	14.09.1989	St.III	10
10.05.1992	14.09.1989	St.III	10
10.10.1992	14.09.1989	St.III	12
30.04.1993	14.09.1989	St.III	11
28.04.1994	14.09.1989	St.III	12
28.10.1994	14.09.1989	St.III	8
04.04.1995	14.09.1989	St.III	10

Pegel Helgoland Binnenhafen

Der Pegel Helgoland Binnenhafen wurde 1961 als Nachfolger des Pegels Südhafen in Betrieb genommen. Geodätische Informationen liegen für den Pegel seit 1962 vor. Repräsentativer Pegelfestpunkt ist der Punkt 1813/E, dessen Sollhöhenunterschied 1962 auf $-8,789$ m festgelegt wurde. Seit 1972 wird der Pegelfestpunkt 120602 als repräsentativ angenommen, wobei der Sollhöhenunterschied von $-10,456$ m 1972 in Verbindung mit dem Sollhöhenunterschied zum Pegelfestpunkt 1813/E festgelegt wurde.

Helgoland verfügte bis Mitte der neunziger Jahre über keinen Anschluss an das amtliche Höhensystem. Als Insellösung wurde das Helgoländer Null **HN** eingeführt. Mittels satellitengestützter Verfahren konnte eine Höhenübertragung zwischen dem Festland und der Insel Helgoland durchgeführt werden. Für die Pegelfestpunkte wurde ab dem 1.11.2000 NormalHöhenNull **NHN** als Bezugssystem eingeführt und die Höhenangaben der Pegelfestpunkte entsprechend geändert. Die Höhenlage des Pegelnullpunktes wurde neu auf **NHN** $-5,000$ m festgesetzt.

Die Differenz beider Bezugssysteme wurde auf $0,27$ m festgesetzt. Der Bezugshorizont **NHN** liegt tiefer als **HN**. Aus diesem Grund wurden zu allen Höhenangaben im System **HN** $-0,27$ m addiert.

Aus dem Höhen-Geschwindigkeitsfeld ergeben sich für die Insel Helgoland keine Angaben zu Höhen und Höhenänderungen. Unter Nutzung der amtlichen Höhen ergeben sich die in Tabelle A-45 dargestellten Pegelnullpunkthöhen. In Tabelle A-46 sind die zur Korrektur der durchgeführten Latitenverschiebungen nötigen Offsets zusammengefasst. Für korrekte Analysen der Wasserstandsdaten müssen die in den Tabellen A-45 und A-46 angegebenen Informationen berücksichtigt werden bzw. die in Tabelle A-45 angegebenen Pegelnullpunkthöhen sind nur in Verbindung mit den in Tabelle A-46 dargestellten Offsets gültig.

Tab. A-45: Anschlussmessungen zwischen Punkten der Landesvermessung und den repräsentativen Pegelfestpunkten 1813/E und 120602 sowie dem Pegelnullpunkt.

Datum	IKÜS-Punkt	$H_{IKÜS}$ in m	$dH_{zu\ PFP}$ in m	PFP	H_{PFP} in m	$dH_{zu\ PNP}$ in m	H_{PNP} in m
25.08.1962	1813/9/72	50,824	$-47,035$	1813/E	3,789	$-8,789$	$-5,000$
16.08.1972	1813/9/72	50,824	$-47,035$	1813/E	3,789	$-8,789$	$-5,000$
16.08.1972	1813/9/602	5,456	0,000	12602	5,456	$-10,456$	$-5,000$
24.11.1992	1813/9/602	5,456	0,000	12602	5,456	$-10,456$	$-5,000$
15.08.2001	1813/9/602	5,459	0,000	12602	5,459	$-10,456$	$-4,996$
16.04.2003	1813/9/602	5,458	0,000	12602	5,458	$-10,456$	$-4,998$

Tab. A-46: An die Wasserstände anzubringende Offsets für den Pegel Helgoland Binnenhafen (HWP).

Datum	Referenzepoche	Pegellatte	Offset in mm
25.08.1962	25.08.1962	HWP	270
16.08.1962	25.08.1962	HWP	264
19.08.1963	25.08.1962	HWP	274
31.03.1964	25.08.1962	HWP	270
23.07.1965	25.08.1962	HWP	270
21.11.1966	25.08.1962	HWP	271
15.11.1967	25.08.1962	HWP	269
17.04.1968	25.08.1962	HWP	270
12.08.1969	25.08.1962	HWP	266
13.10.1971	25.08.1962	HWP	269
19.06.1972	16.08.1972	HWP	270
17.07.1973	16.08.1972	HWP	276
17.05.1974	16.08.1972	HWP	270
08.08.1975	16.08.1972	HWP	273
31.03.1977	16.08.1972	HWP	270
18.10.1978	16.08.1972	HWP	272
06.09.1979	16.08.1972	HWP	267
01.07.1980	16.08.1972	HWP	263
17.08.1981	16.08.1972	HWP	275
12.08.1982	16.08.1972	HWP	277
27.09.1983	16.08.1972	HWP	273
29.08.1984	16.08.1972	HWP	273
15.10.1986	16.08.1972	HWP	266
31.05.1989	16.08.1972	HWP	260

Fortsetzung nächste Seite

Tab. A-46 – Abschluss der vorhergehenden Seite

Datum	Referenzepoche	Pegellatte	Offset in mm
24. 11. 1992	24. 11. 1992	HWP	270
11. 11. 1993	24. 11. 1992	HWP	258
02. 05. 1996	24. 11. 1992	HWP	260
27. 08. 1998	24. 11. 1992	HWP	261
15. 08. 2001	15. 08. 2001	HWP	264
16. 08. 2001	15. 08. 2001	HWP	3
16. 04. 2003	15. 08. 2001	HWP	-23

Pegel Hörnum

Laut Pegelstammbuch liegen für den Pegel Hörnum (Sylt) seit dem 1. 11. 1928 Aufzeichnungen eines Schreibpegels vor. Geodätische Informationen sind seit 1936 verfügbar. Bis 1982 wurden nahezu alle Kontrollen der Höhenlagen auf den Pegelfestpunkt 130104 bezogen, der gleichzeitig ein Festpunkt der Landesvermessung ist (Punkt 1215/9/104). Bei der erstmaligen Festlegung betrug der Sollhöhenunterschied zu diesem Punkt $-8,994$ m. 1988 wurden in der unmittelbaren Umgebung des Pegels die Pegelfestpunkte 130010, 130011 und 130012 eingerichtet. Seit 1991 wird der Pegelfestpunkt 130010 als repräsentativer Pegelfestpunkt genutzt. 1988 erfolgte eine Festlegung des Sollhöhenunterschiedes auf $-7,611$ m, wobei der Sollhöhenunterschied zum Pegelfestpunkt 130104 mit $-8,994$ m beibehalten wurde.

Aus dem Höhen-Geschwindigkeitsfeld ergeben sich für den Pegel Hörnum keine Angaben zu Höhen und Höhenänderungen. Unter Nutzung der amtlichen Höhen ergeben sich die in Tabelle A-47 dargestellten Pegelnullpunkthöhen. In den Tabellen A-48 – A-49 sind die zur Korrektur der durchgeführten Lattenverschiebungen nötigen Offsets zusammengefasst. Für korrekte Analysen der Wasserstandsdaten müssen die in den Tabellen A-47 und A-48 – A-49 angegebenen Informationen berücksichtigt werden bzw. die in Tabelle A-47 angegebenen Pegelnullpunkthöhen sind nur in Verbindung mit den in den Tabellen A-48 – A-49 dargestellten Offsets gültig.

Tab. A-47: Anschlussmessungen zwischen dem Punkt der Landesvermessung (1215/9/104) und den repräsentativen Pegelfestpunkten 130104 und 130010 sowie dem Pegelnullpunkt.

Datum	IKÜS-Punkt	$H_{IKÜS}$ in m	$dH_{zu PFP}$ in m	PFP Nr.	H_{PFP} in m	$dH_{zu PNP}$ in m	H_{PNP} in m
01. 01. 1936	1215/9/104	3,994	0,000	130104	3,994	-8,994	-5,000
01. 07. 1954	1215/9/104	3,994	0,000	130104	3,994	-8,994	-5,000
09. 07. 1970	1215/9/104	3,994	0,000	130104	3,994	-8,994	-5,000
02. 10. 1975	1215/9/104	3,994	0,000	130104	3,994	-8,994	-5,000
25. 06. 1980	1215/9/104	3,994	0,000	130104	3,994	-8,994	-5,000
21. 06. 1982	1215/9/104	3,994	0,000	130104	3,994	-8,994	-5,000
15. 09. 1988	1215/9/104	3,994	0,000	130104	3,994	-8,994	-5,000
15. 09. 1988	1215/9/104	3,994	-1,383	130010	2,611	-7,611	-5,000
13. 07. 2007	1215/9/104	3,986	-1,390	130010	2,596	-7,611	-5,015

Tab. A-48: An die Wasserstände anzubringende Offsets für den Pegel Hörnum (HWP).

Datum	Referenzepoche	Pegellatte	Offset in mm
01.01.1936	01.01.1936	HWP	0
01.07.1936	01.01.1936	HWP	-1
02.10.1936	01.01.1936	HWP	-3
17.07.1937	01.01.1936	HWP	-6
15.08.1938	01.01.1936	HWP	-8
09.08.1939	01.01.1936	HWP	-2
26.09.1947	01.01.1936	HWP	0
13.09.1948	01.01.1936	HWP	8
07.07.1949	01.01.1936	HWP	-9
23.05.1950	01.01.1936	HWP	-7
10.05.1951	01.01.1936	HWP	2
01.07.1954	01.07.1954	HWP	0
19.07.1954	01.07.1954	HWP	-6
03.08.1954	01.07.1954	HWP	3
15.06.1955	01.07.1954	HWP	-9
18.04.1956	01.07.1954	HWP	-6
31.08.1957	01.07.1954	HWP	-4
26.07.1958	01.07.1954	HWP	-6
15.06.1960	01.07.1954	HWP	-6
13.07.1961	01.07.1954	HWP	-5
11.05.1962	01.07.1954	HWP	-2
07.06.1963	01.07.1954	HWP	-14
08.06.1963	01.07.1954	HWP	0
18.09.1963	01.07.1954	HWP	1

Fortsetzung nächste Seite

Tab. A-48 – Abschluss der vorhergehenden Seite

Datum	Referenzepoche	Pegellatte	Offset in mm
13.05.1964	01.07.1954	HWP	-3
14.03.1965	01.07.1954	HWP	-1
05.04.1967	01.07.1954	HWP	1
24.05.1968	01.07.1954	HWP	0
20.06.1969	01.07.1954	HWP	1
09.07.1970	09.07.1970	HWP	4
03.05.1971	09.07.1970	HWP	4
14.03.1972	09.07.1970	HWP	0
08.05.1973	09.07.1970	HWP	2
02.10.1975	02.10.1975	HWP	4
09.03.1976	02.10.1975	HWP	0
09.06.1977	02.10.1975	HWP	3
30.06.1978	02.10.1975	HWP	0
04.04.1979	02.10.1975	HWP	4
25.06.1980	02.10.1975	HWP	3
10.06.1982	21.06.1982	HWP	6
06.06.1984	21.06.1982	HWP	0
14.06.1986	21.06.1982	HWP	0
16.08.1988	15.09.1988	HWP	-2
06.11.1991	15.09.1988	HWP	-4
26.09.1993	15.09.1988	HWP	-5
19.08.1995	15.09.1988	HWP	-7
18.07.1996	15.09.1988	HWP	-5
15.07.1999	15.09.1988	HWP	-4
15.03.2000	15.09.1988	HWP	-5

Tab. A-49: An die Wasserstände anzubringende Offsets für Hörnum den Pegel Hörnum (Staffel II).

Datum	Referenzepoche	Pegellatte	Offset in mm
07.06.1963	01.07.1954	St.II	-90
08.06.1963	01.07.1954	St.II	0
13.05.1964	01.07.1954	St.II	-1
14.03.1965	01.07.1954	St.II	0
05.04.1967	01.07.1954	St.II	0
24.05.1968	01.07.1954	St.II	-7
20.06.1969	01.07.1954	St.II	-2
09.07.1970	09.07.1970	St.II	-3
03.05.1971	09.07.1970	St.II	5
14.03.1972	09.07.1970	St.II	0
08.05.1973	09.07.1970	St.II	-3
27.08.1974	09.07.1970	St.II	3
02.10.1975	02.10.1975	St.II	0
09.03.1976	02.10.1975	St.II	-2
09.06.1977	02.10.1975	St.II	-27
10.06.1977	02.10.1975	St.II	1
30.06.1978	02.10.1975	St.II	-1
04.04.1979	02.10.1975	St.II	1
25.06.1980	02.10.1975	St.II	2
10.06.1982	21.06.1982	St.II	0

Pegel Büsum

Laut Pegelstammbuch liegen für den Pegel Büsum seit dem 02. 08. 1915 kontinuierliche Aufzeichnungen eines Schreibpegels vor. Geodätische Informationen sind seit 1935 verfügbar. Der Rohrfestpunkt 1819/9/113 der Landesvermessung wurde im Rahmen des NKN I neu bestimmt und für die Festlegung des Pegels genutzt (Pegelfestpunkt 140113). Bei der erstmaligen Festlegung betrug der Sollhöhenunterschied $-9,984$ m. Dieser Wert wurde bei späteren Fortführungen der Sollhöhenunterschiede beibehalten.

Aus dem Höhen-Geschwindigkeitsfeld ergeben sich für den Pegel Büsum keine Angaben zu Höhen und Höhenänderungen. Unter Nutzung der amtlichen Höhen ergeben sich die in Tabelle A-50 dargestellten Pegelnullpunkthöhen. In den Tabellen A-51 – A-52 sind die zur Korrektur der durchgeführten Lattenverschiebungen nötigen Offsets zusammengefasst. Für korrekte Analysen der Wasserstandsdaten müssen die in den Tabellen A-50 und A-51 – A-52 angegebenen Informationen berücksichtigt werden bzw. die in Tabelle A-50 angegebenen Pegelnullpunkthöhen sind nur in Verbindung mit den in den Tabellen A-51 – A-52 dargestellten Offsets gültig.

Tab. A-50: Anschlussmessungen zwischen dem Punkt der Landesvermessung (1819/9/113) und dem repräsentativen Pegelfestpunkt 140113 sowie dem Pegelnullpunkt.

Datum	IKÜS-Punkt	$H_{\text{IKÜS}}$ in m	$dH_{\text{zu PFP}}$ in m	PFP	H_{PFP} in m	$dH_{\text{zu PNP}}$ in m	H_{PNP} in m
01. 07. 1935	1819/9/113	4,784	0,000	140113	4,784	-9,784	HWP -5,000
01. 01. 1953	1819/9/113	4,779	0,000	140113	4,779	-9,784	HWP -5,005
16. 06. 1960	1819/9/113	4,779	0,000	140113	4,779	-9,784	HWP -5,005
26. 06. 1979	1819/9/113	4,779	0,000	140113	4,779	-9,784	HWP -5,005
10. 04. 1987	1819/9/113	4,779	0,000	140113	4,779	-9,784	HWP -5,005

Tab. A-51: An die Wasserstände anzubringende Offsets für den Hauptwasserpegel Büsum (HWP).

Datum	Referenzepoche	Pegellatte	Offset in mm
01.01.1953	01.01.1953	HWP	5
10.05.1954	01.01.1953	HWP	1
26.05.1955	01.01.1953	HWP	4
14.06.1956	01.01.1953	HWP	-1
06.08.1957	01.01.1953	HWP	-2
12.05.1958	01.01.1953	HWP	1
09.07.1959	01.01.1953	HWP	1
16.06.1960	16.06.1960	HWP	-3
21.06.1961	16.06.1960	HWP	10
05.04.1962	16.06.1960	HWP	10
09.05.1963	16.06.1960	HWP	8
06.02.1964	16.06.1960	HWP	36
30.04.1964	16.06.1960	HWP	9
14.05.1965	16.06.1960	HWP	8
08.07.1966	16.06.1960	HWP	10
13.06.1967	16.06.1960	HWP	9
13.05.1968	16.06.1960	HWP	8
23.04.1969	16.06.1960	HWP	7
14.04.1970	16.06.1960	HWP	10
14.07.1971	16.06.1960	HWP	6
19.08.1971	16.06.1960	HWP	8
14.04.1972	16.06.1960	HWP	6
02.05.1973	16.06.1960	HWP	3
16.04.1974	16.06.1960	HWP	-4

Fortsetzung nächste Seite

Tab. A-51 – Abschluss der vorhergehenden Seite

Datum	Referenzepoche	Pegellatte	Offset in mm
22.04.1975	16.06.1960	HWP	2
11.03.1976	16.06.1960	HWP	1
12.07.1977	16.06.1960	HWP	3
20.06.1978	16.06.1960	HWP	2
26.06.1979	09.08.1979	HWP	12
20.08.1985	05.07.1984	HWP	-10
09.10.1986	05.07.1984	HWP	-11
19.08.1987	10.04.1987	HWP	7
30.08.1988	10.04.1987	HWP	-4
26.06.1989	10.04.1987	HWP	-10
10.10.1991	10.04.1987	HWP	-10
18.12.1991	10.04.1987	HWP	8
05.11.1993	10.04.1987	HWP	6
04.04.1995	10.04.1987	HWP	4
17.07.1997	10.04.1987	HWP	3
20.05.1998	10.04.1987	HWP	0
31.07.2000	10.04.1987	HWP	3

Tab. A-52: An die Wasserstände anzubringende Offsets für den Pegel Büsum (Staffel II).

Datum	Referenzepoche	Pegellatte	Offset in mm
26. 05. 1955	01. 01. 1953	St.II	8
14. 06. 1956	01. 01. 1953	St.II	2
06. 08. 1957	01. 01. 1953	St.II	-1
12. 05. 1958	01. 01. 1953	St.II	4
09. 07. 1959	01. 01. 1953	St.II	3
16. 06. 1960	16. 06. 1960	St.II	-3
21. 06. 1961	16. 06. 1960	St.II	10
05. 04. 1962	16. 06. 1960	St.II	4
09. 05. 1963	16. 06. 1960	St.II	3
30. 04. 1964	16. 06. 1960	St.II	0
14. 05. 1965	16. 06. 1960	St.II	-2
08. 07. 1966	16. 06. 1960	St.II	-1
13. 06. 1967	16. 06. 1960	St.II	-3
13. 05. 1968	16. 06. 1960	St.II	-1
23. 04. 1969	16. 06. 1960	St.II	-4
14. 04. 1970	16. 06. 1960	St.II	0
19. 08. 1971	16. 06. 1960	St.II	-3
14. 04. 1972	16. 06. 1960	St.II	2
02. 05. 1973	16. 06. 1960	St.II	-7
16. 04. 1974	16. 06. 1960	St.II	-5
22. 04. 1975	16. 06. 1960	St.II	-5
11. 03. 1976	16. 06. 1960	St.II	-7
12. 07. 1977	16. 06. 1960	St.II	-12
20. 06. 1978	16. 06. 1960	St.II	-12
26. 06. 1979	09. 08. 1979	St.II	4

Pegel Dagebüll

Laut Pegelstammbuch liegen für den Pegel Dagebüll seit dem 15. 07. 1914 kontinuierliche Aufzeichnungen eines Schreibpegels vor. Seit 1935 sind geodätische Pegelinformationen verfügbar. Der Rohrfestpunkt 1819/9/129 der Landesvermessung wird parallel als Pegelfestpunkt genutzt. Im Rahmen des NKN I wurde dessen Höhe bestimmt und der Sollhöhenunterschied mit $-9,254$ m festgelegt. Dieser Wert wurde bei späteren Fortführungen der Sollhöhenunterschiede beibehalten bzw. der Pegelfestpunkt 150129 als repräsentativer Pegelfestpunkt angehalten.

Aus dem Höhen-Geschwindigkeitsfeld ergeben sich für den Pegel Dagebüll keine Angaben zu Höhen und Höhenänderungen. Unter Nutzung der amtlichen Höhen ergeben sich die in Tabelle A-53 dargestellten Pegelnullpunkthöhen. In den Tabellen A-54 – A-55 sind die zur Korrektur der durchgeführten Lattenverschiebungen nötigen Offsets zusammengefasst. Für korrekte Analysen der Wasserstandsdaten müssen die in den Tabellen A-53 und A-54 – A-55 angegebenen Informationen berücksichtigt werden bzw. die in Tabelle A-53 angegebenen Pegelnullpunkthöhen sind nur in Verbindung mit den in den Tabellen A-54 – A-55 dargestellten Offsets gültig.

Tab. A-53: Anschlussmessungen zwischen dem Punkt der Landesvermessung (1819/9/129) und dem repräsentativen Pegelfestpunkt 150129 sowie dem Pegelnullpunkt.

Datum	IKÜS-Punkt	$H_{\text{IKÜS}}$ in m	$dH_{\text{zu PFP}}$ in m	PFP	H_{PFP} in m	$dH_{\text{zu PNP}}$ in m	H_{PNP} in m
01. 01. 1935	1218/9/129	4,254	0,000	150129	-9,254	HWP	-5,000
01. 07. 1953	1218/9/129	4,254	0,000	150129	-9,254	HWP	-5,000
20. 05. 1968	1218/9/129	4,254	0,000	150129	-9,254	HWP	-5,000

Tab. A-54: An die Wasserstände anzubringende Offsets für den Pegel Dagebüll (HWP)

Datum	Referenzepoche	Pegellatte	Offset in mm
22.06.1936	01.01.1935	HWP	0
14.07.1937	01.01.1935	HWP	0
23.06.1938	01.01.1935	HWP	0
18.07.1939	01.01.1935	HWP	0
27.07.1940	01.01.1935	HWP	2
14.07.1946	01.01.1935	HWP	1
15.07.1947	01.01.1935	HWP	-2
10.06.1948	01.01.1935	HWP	-10
12.05.1950	01.01.1935	HWP	-5
10.05.1951	01.01.1935	HWP	-2
21.08.1953	01.07.1953	HWP	0
26.04.1954	01.07.1953	HWP	-2
13.07.1955	01.07.1953	HWP	33
17.04.1956	01.07.1953	HWP	-3
05.12.1957	01.07.1953	HWP	-1
24.04.1958	01.07.1953	HWP	0
30.04.1959	01.07.1953	HWP	0
14.06.1960	01.07.1953	HWP	2
09.08.1961	01.07.1953	HWP	1
04.05.1962	01.07.1953	HWP	0
14.06.1963	01.07.1953	HWP	-18

Fortsetzung nächste Seite

Tab. A-54 – Fortsetzung von vorhergehender Seite

Datum	Referenzepoche	Pegellatte	Offset in mm
15.06.1963	01.07.1953	HWP	0
07.03.1964	01.07.1953	HWP	-35
08.03.1964	01.07.1953	HWP	0
06.05.1964	01.07.1953	HWP	-4
25.05.1965	01.07.1953	HWP	-8
20.08.1965	01.07.1953	HWP	-1
30.04.1966	01.07.1953	HWP	0
27.04.1967	01.07.1953	HWP	4
20.05.1968	20.05.1968	HWP	-3
21.05.1969	20.05.1968	HWP	-4
25.03.1970	20.05.1968	HWP	-11
18.08.1971	20.05.1968	HWP	1
08.05.1972	20.05.1968	HWP	6
21.05.1973	20.05.1968	HWP	10
05.06.1974	20.05.1968	HWP	8
17.03.1975	20.05.1968	HWP	56
25.10.1976	20.05.1968	HWP	17
28.06.1977	20.05.1968	HWP	-10
24.07.1978	20.05.1968	HWP	3
11.06.1979	20.05.1968	HWP	6
10.04.1980	20.05.1968	HWP	1
09.07.1981	20.05.1968	HWP	3
01.09.1983	20.05.1968	HWP	-2
04.09.1984	20.05.1968	HWP	0

Fortsetzung nächste Seite

Tab. A-54 – Abschluss der vorhergehenden Seite

Datum	Referenzepoche	Pegellatte	Offset in mm
29. 10. 1986	20. 05. 1968	HWP	6
14. 09. 1988	20. 05. 1968	HWP	4
12. 07. 1989	20. 05. 1968	HWP	8
07. 03. 1991	20. 05. 1968	HWP	7
03. 11. 1993	20. 05. 1968	HWP	5
21. 05. 1996	20. 05. 1968	HWP	14
17. 06. 1997	20. 05. 1968	HWP	0

Tab. A-55: An die Wasserstände anzubringende Offsets für den Pegel Dagebüll (Staffel II)

Datum	Referenzepoche	Pegellatte	Offset in mm
22.06.1936	01.01.1935	St.II	0
14.07.1937	01.01.1935	St.II	1
23.06.1938	01.01.1935	St.II	2
18.07.1939	01.01.1935	St.II	0
27.07.1940	01.01.1935	St.II	0
14.07.1946	01.01.1935	St.II	1
10.06.1948	01.01.1935	St.II	-15
21.08.1953	01.07.1953	St.II	1
26.04.1954	01.07.1953	St.II	-2
13.07.1955	01.07.1953	St.II	0
13.07.1955	01.07.1953	St.II	39
23.08.1957	01.07.1953	St.II	-11
30.04.1959	01.07.1953	St.II	-12
30.04.1966	01.07.1953	St.II	-7
24.04.1967	01.07.1953	St.II	-8
20.05.1968	20.05.1968	St.II	-8
21.05.1969	20.05.1968	St.II	-9
25.03.1970	20.05.1968	St.II	-10
18.08.1971	20.05.1968	St.II	-13
08.05.1972	20.05.1968	St.II	-8
05.06.1974	20.05.1968	St.II	5
17.03.1975	20.05.1968	St.II	4
25.10.1976	20.05.1968	St.II	1
28.06.1977	20.05.1968	St.II	0

Fortsetzung nächste Seite

Tab. A-55 – Abschluss der vorhergehenden Seite

Datum	Referenzepoche	Pegellatte	Offset in mm
24.07.1978	20.05.1968	St.II	1
11.06.1979	20.05.1968	St.II	-2
10.04.1980	20.05.1968	St.II	-1
09.07.1981	20.05.1968	St.II	-2
27.07.1982	20.05.1968	St.II	-1
29.10.1986	20.05.1968	St.II	-5
17.06.1997	20.05.1968	St.II	-7

Pegel Bensorsiel

Geodätische Informationen für den Pegel Bensorsiel sind nur lückenhaft vorhanden. Für den Zeitraum von 1928 bis 1951 sind Informationen nahezu lückenlos verfügbar, während nach 1951 nur sporadisch geodätische Pegelinformationen verfügbar sind.

Bis 1971 wurde der Pegelfestpunkt 160138 (entspricht dem Festpunkt 2311/9/14 der Landesvermessung) als repräsentativer Pegelfestpunkt genutzt. Bei der ersten Festlegung wurde der Sollhöhenunterschied mit $-5,860$ m festgelegt und konstant gehalten. Zwischen den Anschlussmessungen 1971 und 1979 lässt sich kein direkter geometrischer Zusammenhang herstellen, da die bis 1971 verwendeten Punkte 1979 nicht mehr angemessen wurden. Über die 1979 festgelegten Sollhöhenunterschiede und den amtlichen Höhen des Landesbetriebes für Landesvermessung und Geobasisinformation Niedersachsen lässt sich indirekt ein Zusammenhang zwischen dem Pegelfestpunkt 160134c (Bezeichnung der Landesvermessung: 2311/9/104), dem Anschlusspunkt 2311/9/30 der Landesvermessung und den früher genutzten Pegelfestpunkten herstellen. Der ab 1979 gültige Sollhöhenunterschied zu den Pegelfestpunkt 160134c beträgt demnach $-9,453$ m.

Aus dem Höhen-Geschwindigkeitsfeld ergeben sich für die Anschlusspunkte der Landesvermessung die in Tabelle A-56 dargestellten Ausgangswerte. In Kombination mit den durchgeführten Anschlussmessungen ergeben sich die in Tabelle A-57 dargestellten Pegelnullpunkthöhen. In den Tabellen A-58 – A-59 sind die zur Korrektur der durchgeführten Lattenverschiebungen nötigen Offsets zusammengefasst. Für korrekte Analysen der Wasserstandsdaten müssen die in den Tabellen A-57 und A-58 – A-59 angegebenen Informationen berücksichtigt werden bzw. die in Tabelle A-57 angegebenen Pegelnullpunkthöhen sind nur in Verbindung mit den in den Tabellen A-58 – A-59 dargestellten Offsets gültig.

Tab. A-56: Ergebnisse des Höhen-Geschwindigkeitsfeldes für den Anschlusspunkt des Pegels Bensorsiel.

IKÜS-Punktbezeichnung	amtliche Punktbezeichnung	Ausgangshöhe im DHHN 92 in m	Höhenänderungen in m/a
IKUES-9810	2311/9/14	0,845	-0,0012
IKUES-9810	2311/9/30	4,842	-0,0012

Tab. A-57: Anschlussmessungen zwischen Punkten der Landesvermessung (2311/9/14, 2311/9/30) und den repräsentativen Pegelfestpunkten 160138 und 160134c sowie dem Pegelnullpunkt

Datum	IKÜS-Punkt	$H_{\text{IKÜS}}$ in m	$dH_{\text{zu PFP}}$ in m	PFP Nr.	H_{PFP} in m	$dH_{\text{zu PNP}}$ in m	H_{PNP} in m
25. 10. 1935	2311/9/14	0,913	0,000	160138	0,913	-5,860	-4,947
29. 08. 1951	2311/9/14	0,894	0,000	160138	0,894	-5,860	-4,966
01. 07. 1959	2311/9/14	0,886	0,000	160138	0,886	-5,860	-4,975
05. 07. 1971	2311/9/14	0,870	0,000	160138	0,870	-5,860	-4,990
21. 07. 1978	2311/9/30	4,859	-0,412	160134c	4,447	-9,453	-5,007

Tab. A-58: An die Wasserstände anzubringende Offsets für den Pegel Bengersiel (HWP)

Datum	Referenzepoche	Pegellatte	Offset in mm
25. 10. 1935	25. 10. 1935	HWP	0
02. 11. 1940	25. 10. 1935	HWP	3
01. 07. 1947	25. 10. 1935	HWP	-9
18. 08. 1949	25. 10. 1935	HWP	-14
19. 08. 1949	25. 10. 1935	HWP	6
29. 08. 1951	29. 08. 1951	HWP	-11
05. 07. 1971	05. 07. 1971	HWP	4
28. 06. 1974	05. 07. 1971	HWP	10
11. 10. 1977	05. 07. 1971	HWP	6
21. 08. 1985	21. 07. 1978	HWP	3
24. 08. 2001	21. 07. 1978	HWP	-5

Tab. A-59: An die Wasserstände anzubringende Offsets für den Pegel Bengersiel (Staffel II).

Datum	Referenzepoche	Pegellatte	Offset in mm
02. 11. 1940	25. 10. 1935	St.II	1
01. 07. 1947	25. 10. 1935	St.II	8
18. 08. 1949	25. 10. 1935	St.II	-17
19. 08. 1949	25. 10. 1935	St.II	3
05. 07. 1971	05. 07. 1971	St.II	4
28. 06. 1974	05. 07. 1971	St.II	-2
11. 10. 1977	05. 07. 1971	St.II	-2
21. 08. 1985	21. 07. 1978	St.II	-14
24. 08. 2001	21. 07. 1978	St.II	-43

A.5.2 Berechnung der Scheitelwerte aus hochaufgelösten Wasserstandsdaten

Je nach Fensterbreite ergeben sich bei konstantem Polynomgrad unterschiedliche Polynome und damit auch unterschiedliche Scheitel (Abb. A-19). Darüber hinaus variieren die ermittelten Scheitelwerte auch in Abhängigkeit des Polynomgrades (Abb. A-20).

Beides führt zu unterschiedlichen Abweichungen der ermittelten Scheitelwerte gegenüber den amtlich festgesetzten Scheitelwerten (Abb. A-21). Insbesondere bei mehrfach auftretenden Maxima innerhalb eines Tidehoch- oder Niedrigwassers weist dieses Verfahren Schwächen auf, da je nach Polynomgrad und Fensterbreite auch benachbarte Maxima mit in die Ausgleichung eingehen und damit das Ergebnis beeinflussen.

Exemplarisch wurde für den Pegel Borkum Fischerbalje die erfasste Wasserstandszeitreihe des Jahres 2000 aufbereitet und es wurden mit Hilfe des oben beschriebenen Verfahrens automatisch Tidescheitel abgeleitet. Dabei ist festzustellen, dass die Eintrittszeitpunkte gegenüber den amtlich festgestellten Zeitpunkten insbesondere bei unterschiedlichen Fensterbreiten sehr stark variieren (Abb. A-27). Die Differenzen zu den amtlich festgestellten Eintrittszeitpunkten liegen in diesem Fall in einer Größenordnung kleiner zehn Minuten. Bei konstanter Fensterbreite und variierendem Polynomgrad nimmt die Mehrzahl der Differenzen einen Betrag von weniger als fünf Minuten an.

Bei den Wasserstandsangaben sind die Auswirkungen variierender Polynomgrade bzw. Fensterbreiten weniger stark (Abb. A-24 und Abb. A-25). Die Beträge der Differenzen von amtlich festgestellten Tidehochwassern zu den mit dem oben beschriebenen Verfahren ermittelten Tidehochwassern liegen im Bereich von kleiner 2,5 cm. Diese ändern sich mit variierender Fensterbreite bzw. Polynomgrad kaum. Sowohl für Abweichungen des ermittelten Eintrittszeitpunktes, als auch für Abweichungen des ermittelten Extremwasserstandes gilt, dass die Abweichungen mit zunehmender Unregelmäßigkeit der Tidekurve größer werden. Insbesondere Scheitelwerte, die bei Extremereignissen erfasst werden sollen, sind davon betroffen.

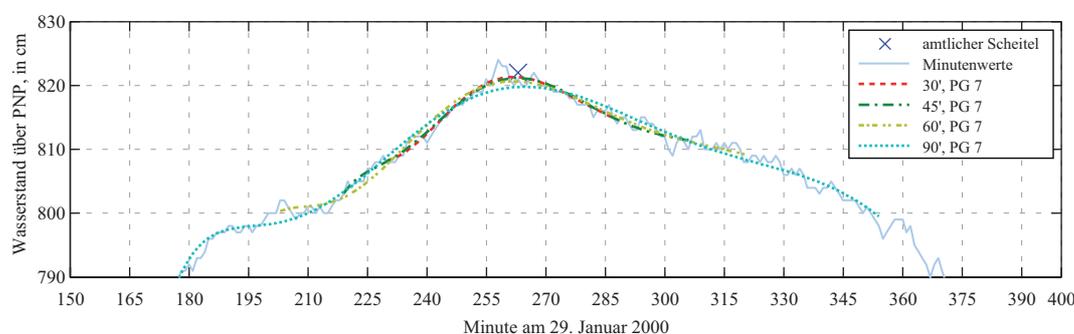


Abb. A-19: Erfasste Wasserstandszeitreihe des Pegel Borkum-Fischerbalje und berechnete Polynome 7. Grades bei variierender Fensterbreite.

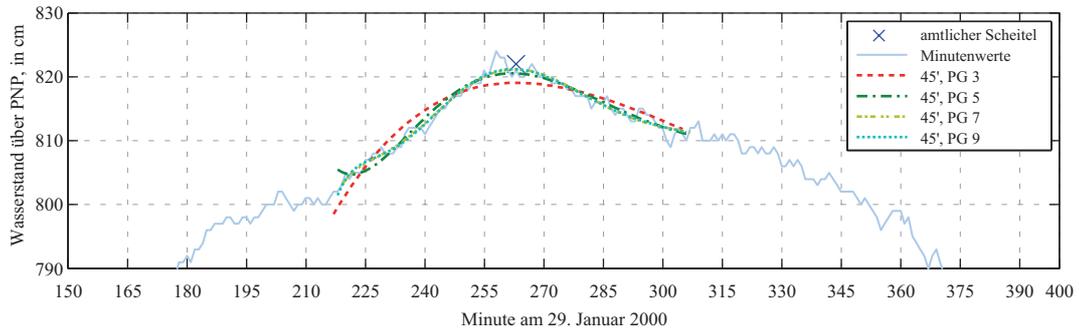


Abb. A-20: Erfasste Wasserstandszeitreihe des Pegel Borkum-Fischerbalje und berechnete Polynome verschiedenen Grades bei konstanter Fensterbreite (45 Minuten).

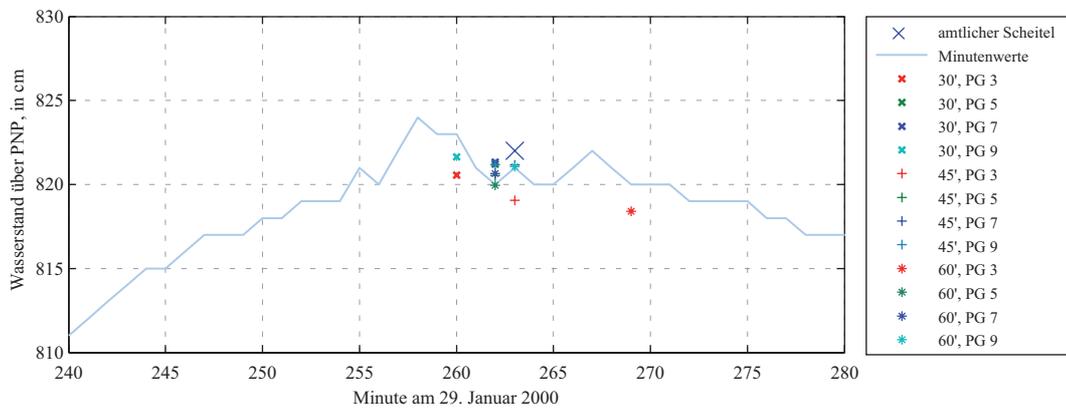


Abb. A-21: Erfasste Wasserstandszeitreihe des Pegel Borkum-Fischerbalje und berechnete Scheitelwerte bei variierender Fensterbreite und variierendem Polynomgrad.

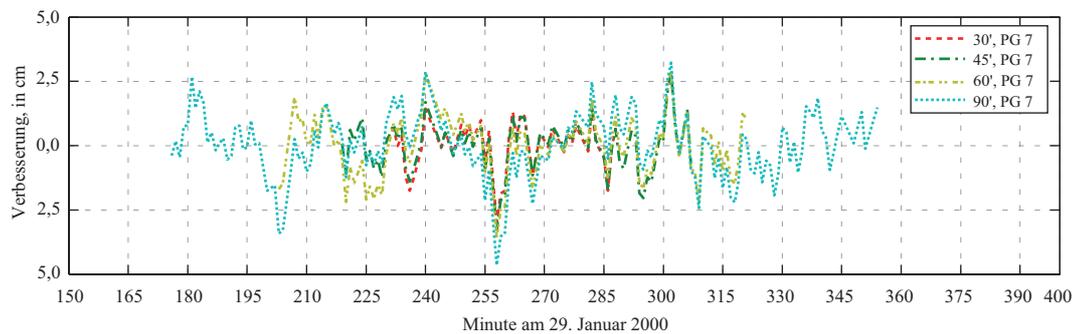


Abb. A-22: Verbesserungen zwischen den ausgeglichenen Polynomen 7. Grades (variierende Fensterbreite 30', 45', 60' und 90') und den gemessenen Wasserständen.

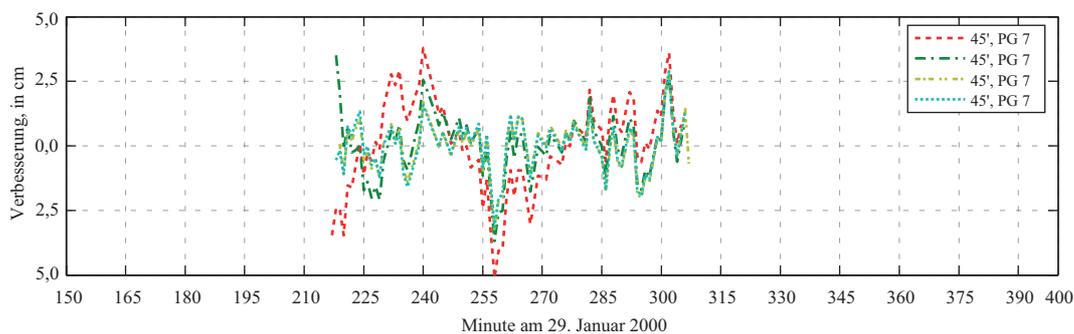


Abb. A-23: Verbesserungen zwischen den ausgeglichenen Polynomen (Grad 3., 5., 7., 9. und konstanter Fensterbreite von 45') und den gemessenen Wasserständen.

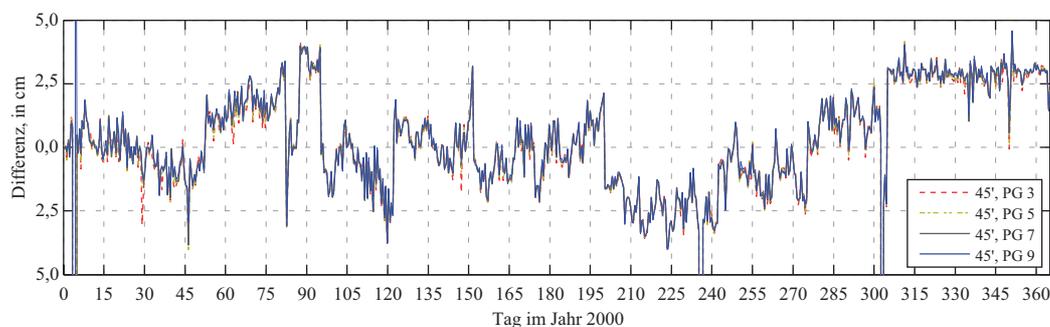


Abb. A-24: Abweichungen der aus den Kunz-Köves Verfahren ermittelten Wasserstände (Fensterbreite 45', Polynom 3., 5., 7. und 9. Grades) für das Tidehochwasser gegenüber den amtlich festgestellten Tidehochwasser am Pegel Borkum Fischerbalje im Jahr 2000.

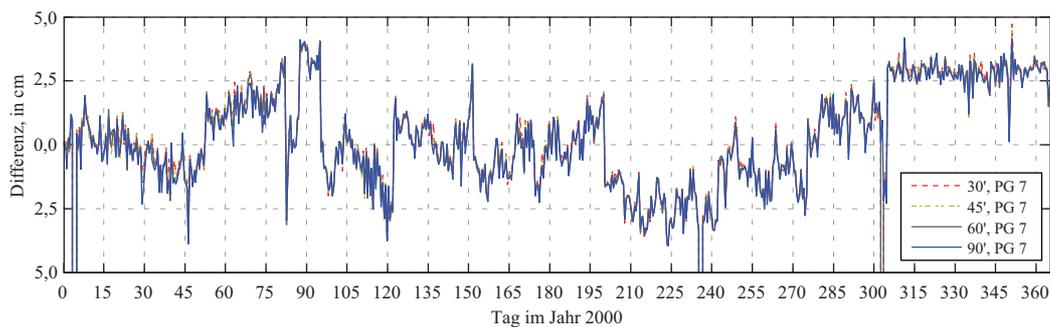


Abb. A-25: Abweichungen der aus den Kunz-Köves Verfahren ermittelten Wasserstände (Fensterbreite 30', 45', 60' und 90', Polynom 7. Grades) für das Tidehochwasser gegenüber den amtlich festgestellten Tidehochwasser am Pegel Borkum Fischerbalje im Jahr 2000.

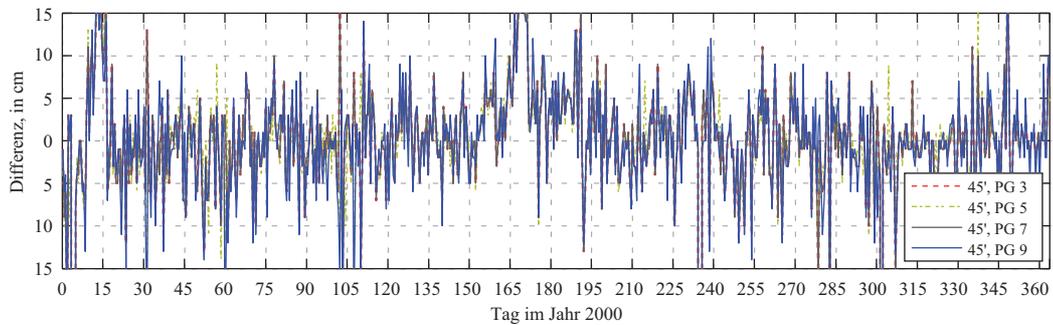


Abb. A-26: Abweichungen der aus den Kunz-Köves Verfahren ermittelten Eintrittszeitpunkte (Fensterbreite 45', Polynom 3., 5., 7. und 9. Grades) für das Tidehochwasser gegenüber den amtlich festgestellten Eintrittszeitpunkten am Pegel Borkum Fischerbalje im Jahr 2000.

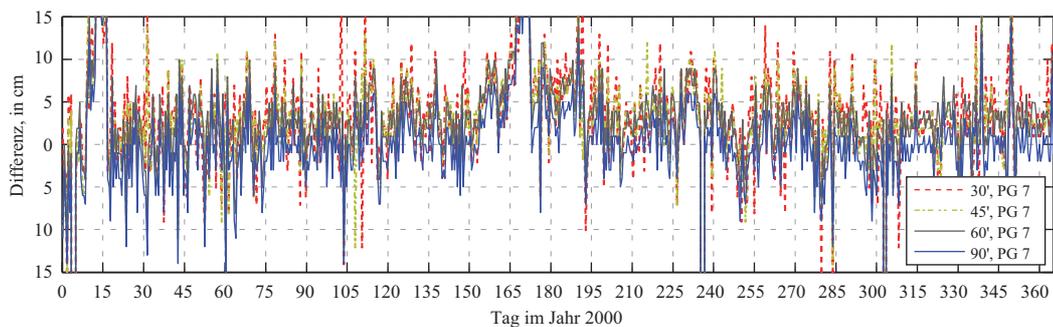


Abb. A-27: Abweichungen der aus den Kunz-Köves Verfahren ermittelten Eintrittszeitpunkte (Fensterbreite 30', 45', 60' und 90', Polynom 7. Grades) für das Tidehochwasser gegenüber den amtlich festgestellten Eintrittszeitpunkten am Pegel Borkum Fischerbalje im Jahr 2000.

A.5.3 Forschungsplattform FINO-1

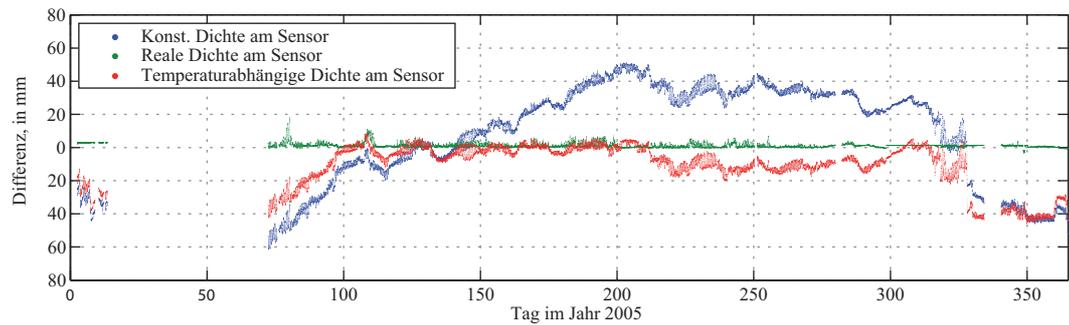
Die Lage der Forschungsplattform **FINO-1** ist in der Abbildung 2-15 dargestellt. **FINO-1** ist mit einem Druckpegel am Meeresboden ausgerüstet. Der Druckpegel erfasst den statischen Wasserdruck am Drucksensor und ermittelt über eine Integration der Dichte die Wassersäulenhöhe über dem Druckpegel. Das Problem des Systems besteht darin, dass die Dichte über dem Drucksensor nicht konstant ist bzw. mit sich in verschiedenen Wassertiefen ändert. Die abgeleiteten Wasserstände berücksichtigen die Temperatur, aber keinerlei Salzgehaltvariationen in der unmittelbaren Umgebung des Druckpegels. Für den Salzgehalt wurden feste Größen eingestellt, wodurch die für die Berechnung der Wassersäulenhöhe ausschlaggebende Dichte nicht der realen Dichte entspricht. Weiterhin werden beim Drucksensor auf **FINO-1** keine Informationen über die Wasserschichtung und damit über die Dichteveränderungen in unterschiedlichen Wassertiefen berücksichtigt.

FINO-1 verfügt neben dem Drucksensor noch über eine Messkette, mit deren Hilfe alle 5 m unter anderem Informationen über Salzgehalt und Wassertemperatur bestimmt werden können. Mit diesen Informationen können die Schichtungen der Wasserdichte näherungsweise erfasst und zur Berechnung der Wassersäulenhöhe herangezogen werden. Beim Vergleich zwischen abgeleiteten Wasserständen, deren Grundlage die näherungsweise realen Dichteverhältnisse der Messkette sind und den Wasserständen, deren Grundlage eine

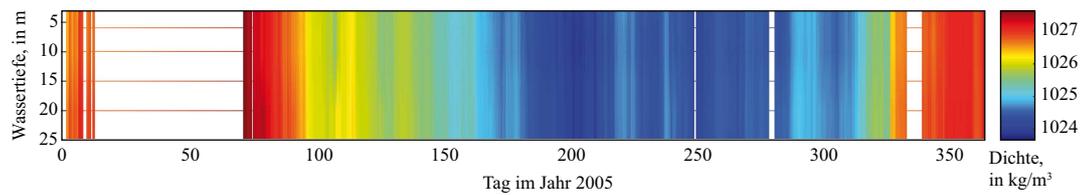
- fest eingestellten Wasserdichte,
- eine Wasserdichte unter Berücksichtigung der erfassten Temperatur und eines fest eingestellten Salzgehaltes am Sensor,
- eine Wasserdichte unter Berücksichtigung der erfassten Temperatur und Salzgehaltinformation am Sensor

sind, lässt sich feststellen, dass die an **FINO-1** erfassten Wasserstände (gemessene Temperatur am Sensor und konstanter Salzgehalt) um ± 4 cm abweichen (Abb. A-28). Nach Aussage des **BSH** verändern Kolkungen und von Zeit zu Zeit auch Sensorverschiebungen den Pegelnullpunkt, wodurch eine zeitliche und örtliche Vergleichbarkeit der Wasserstände mit andern Pegeln an der Küste nicht möglich ist.

Neben dem Druckpegel wurde im Oktober 2007 ein Radarpegel der **BfG** auf **FINO-1** installiert und zusätzlich die Höhendifferenz zwischen dem Nullpunkt des Radarpegels und einer **GPS**-Antenne der **LGN** erfasst. Durch diese Einmessung des Pegelnullpunktes ist es möglich, die Mithilfe des Radarpegels erfassten Wasserstände zu georeferenzieren und somit eine Vergleichbarkeit zu anderen Küstenpegeln herzustellen. Die Aufhängung des Radarpegels wurde Ende 2007 durch Seegang zerstört. Im Januar 2008 erfolgt eine Neuinstallation, wobei bisher noch keine Einmessung des Radarpegels in



(a) Differenzen zwischen verschiedenen Berechnungsansätzen.



(b) Dichteveränderungen.

Abb. A-28: Differenzen zwischen den gemessenen Wasserständen und den berechneten Wasserständen falls Dichteinformationen unberücksichtigt bleiben (Anmerkung: Auf FINO-1 wird am Sensor nur die Temperatur, nicht aber der Salzgehalt erfasst).

Bezug auf die **GPS**-Antenne und damit noch keine erneute Georeferenzierung des Pegelnullpunktes vorgenommen wurde.

A.5.4 Konzept für ein GNSS-gestütztes Pegelmonitoring

Die im Konzept vorgesehenen Pegelstationen sind in der Abbildung A-29 dargestellt. Für die Stationsauswahl sind neben der Wichtigkeit der Pegel für hydrologische Anwendungen auch geplante Ausbaumaßnahmen der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung entscheidend. Insbesondere für Beweissicherungsmaßnahmen sind die Pegel im Bereich der Außenweser-, Außenelbe und Außenems von großem Interesse.

Stationsanbindung über Mobilfunkbetreiber

Verschiedene Mobilfunkbetreiber bieten unter dem Stichwort *Corporate Data Access* einen Service an, bei dem jeder SIM-Karte und damit jedem GPRS-Modul/GNSS-Empfänger eine bestimmte IP-Nummer zugewiesen wird. Es wird damit ein »Lokales Netzwerk« zwischen den einzelnen SIM-Karten (und damit auch den GNSS-Empfängern) und einem *Corporate Data Access Server* innerhalb des Netzwerkes des Mobilfunkbetreibers generiert. Der Deutsche Wetterdienst (DWD) hat in der Vergangenheit ein vergleichbares System aufgebaut. Neben dem lokalen Netzwerk des Mobilfunkbetreibers besteht ein weiterer Teil des Systems in einer Standleitung zwischen *Corporate Data Access Server* und einem weiteren Server (*VPN-Gateway-Server*) innerhalb des *BMVBS*-Intranet. Dieser fungiert als eine Art »Einlasstor« zum Intranet des *BMVBS*. Die *BfG* konnte in dieses System mit aufgenommen werden. Innerhalb des *BMVBS*-Intranet ist die *BfG* mit dem *VPN-Gateway-Server*



Abb. A-29: Übersicht von Pegelstandorten auf denen permanent betriebene GNSS-Systeme installiert werden sollen.

des **DWD** indirekt verbunden. Letztendlich kann von jedem Arbeitsplatz innerhalb der **BfG** über bestimmte **IP**-Nummern eine Verbindung zwischen den einzelnen **SIM**-Karten/**GPRS**-Modulen/**GNSS**-Empfänger und der **BfG** aufgebaut werden. Die verwendeten Leica-Empfänger verfügen über ein *Web Interface*, welches eine vollständige Konfiguration der Empfänger ermöglicht. Über den *VPN-Gateway-Server* des **DWD**, den *Corporate Data Access Server* des Mobilfunkbetreibers und dem **GPRS**-Modul des **GNSS**-Empfängers kann das *Web Interface* genutzt werden, um den Empfänger komplett zu administrieren. Weiterhin verfügen die Leica-Empfänger über eine **FTP**-Funktionalität. Diese erlaubt den automatischen Aufbau einer **FTP**-Verbindung zu vorgesehenen **FTP**-Servern und kann dazu genutzt werden, innerhalb fest vorgegebener Intervalle gesammelte **GNSS**-Beobachtungen zum einem **FTP**-Server der **BfG** zu übertragen. Zuvor werden die Rohdaten innerhalb des Empfängers in **RINEX**-Daten konvertiert und doppelt komprimiert (Hatanaka- und ZIP-Komprimierung). Die in der **BfG** eintreffenden Daten sind somit standardisiert und können von nahezu jeder Softwarelösung genutzt werden. Der Datenkommunikationsweg ist in der Abbildung **A-30** dargestellt.

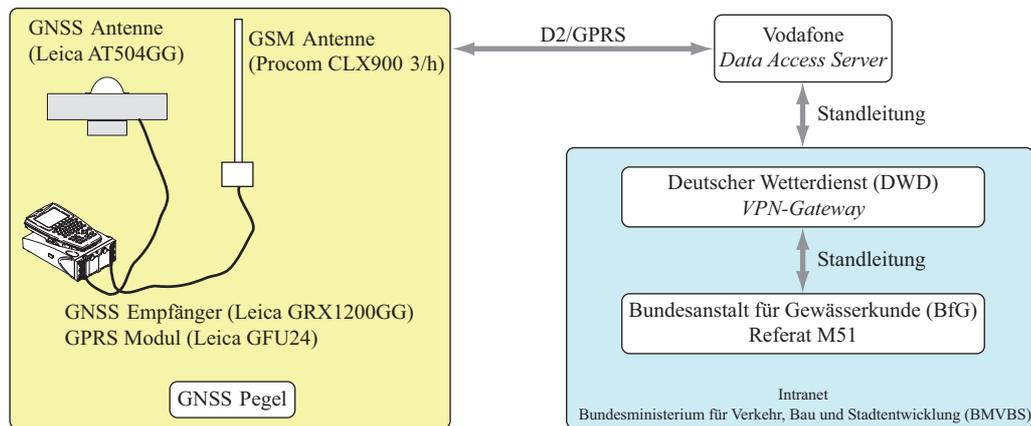


Abb. A-30: Kommunikationsweg zwischen der BfG und den fest installierten GNSS-Stationen auf den Pegeln.

