



Uetersener Eisenbahn AG
Hochseeinsel Helgoland

**Entwicklung eines Nutzungskonzeptes
für die Helgoländer Häfen**

Naturmessungen im Vorhafen Helgoland

**Dokumentation der Messungen und
Zusammenfassung der Ergebnisse**

Abschlussbericht

Bericht Nr. 90144-03
Hamburg, 19. Juli 2011

Revisions-Status

Rev.	Beschreibung	Datum	Autor	Abnahme
0	Bericht	19.07.2011	Pe	



Ingenieurgesellschaft mbH

Inhalt	Seite
1 Hintergrund und Veranlassung	1
1.1 Hintergrund	1
1.2 Aufgabenstellung	2
1.3 Projektorganisation	2
1.4 Projektbeteiligte	3
1.5 Vorgehensweise und Arbeitsschritte	3
1.6 Abzuliefernde Unterlagen	3
1.7 Anmerkungen zum Bericht	4
2 Revierübersicht und Kurzbeschreibung der ablaufenden hydraulischen Prozesse im Helgoländer Vorhafen	5
2.1 Revierübersicht	5
2.2 Revierbedingungen	6
2.2.1 Geologie, Topografie und Wassertiefen	6
2.2.2 Wasserstände	7
2.2.3 Seegang	8
2.2.4 Tideströmungen	12
2.2.5 Windverhältnisse	13
2.2.6 Klimadaten	15
2.3 Kurzer Abriss zur Entwicklung der Helgoländer Häfen	16
2.4 Hydraulische Prozesse und Phänomene im Helgoländer Vorhafen	17
2.4.1 Übersicht Vorhafen Helgoland	17
2.4.2 Hydraulische Prozesse im Vorhafen Helgoland	18
2.4.3 Übersicht von Untersuchungen und Empfehlungen zur Minderung der Wellenbelastungen im Vorhafen	23
2.5 Schiffsverkehr und Frachtschlag	24
2.5.1 Allgemeines	24
2.5.2 Schiffe für den Frachtschlag	24
2.5.3 Heutige Situation der Umschlagstechnik	25
2.5.4 Problemstellung der bisherigen Umschlagstechnik	26
2.5.5 Vorhandene Hinweise zu Nutzungseinschränkungen	26
3 Messkampagne auf Helgoland	27
3.1 Konkretisierte Aufgabenstellung für die Naturmessungen	27
3.2 Übersicht und Lage der Messlokationen	28
3.3 Messkonzept und Instrumentierung	29
3.4 Projektablauf und Übersicht verfügbarer Messdaten	30
3.5 Dokumentation und Darstellung der Messdaten	31
3.5.1 Allgemeine Hinweise	31
3.5.2 Zeitreihen der Messdaten	31
3.5.3 Frachtschlag während der Messkampagne	32

3.6 Datenformate	33
3.7 Datenablage	33
4 Auswertung der Messdaten	34
4.1 Auswertungskonzept	34
4.2 Seegangsauswertung	34
5 Analyse der Messdaten und Darstellung der Ergebnisse	35
5.1 Windverhältnisse	35
5.2 Seegangsbedingungen im Vorhafen	38
5.2.1 Vorgehensweise	38
5.2.2 Übersicht der analysierten Wellenhöhen	39
5.2.3 Eintrittshäufigkeiten von Seegang, Schwell und langperiodischen Schwingungen	40
5.2.4 Richtungsbezogene Häufigkeit des Seegangs an der Südkaje	41
5.2.5 Beschreibung der Seegangsbedingungen im Vorhafen anhand von Wind-/Seegangsszenarien	42
5.2.6 Beschreibung der Seegangsbedingungen für ausgewählte Sektoren	45
6 Bewertung der Ergebnisse	47
6.1 Allgemeine Bewertung	47
6.2 Nutzungseinschränkungen für einen Frachtumschlag an der Südkaje	47
6.2.1 Allgemeines	47
6.2.2 Bisherige Annahmen und Erkenntnisse	48
6.2.3 Ergebnisse aus den durchgeführten Messungen und Auswertungen	49
6.2.4 Zusätzliche Betrachtungen zur Seegangsempfindlichkeit des derzeitigen Frachtschiffes	51
7 Dokumentation besonderer Ereignisse	52
7.1 Allgemeines	52
7.2 Sturmtief Xynthia am 27./28.02.2010	52
7.3 Sturmtief Norina am 12.07.2010	52
7.4 Sturmereignis am 08.09.2010	53
7.5 Sturmtief Carmen am 11./12.11.2010	54
7.6 Sturmflutereignis am 04./05.02.2011	54
8 Zusammenfassung	55

Tabellen	IV
Abbildungen	IV
Anlagen	VII
Literatur und Unterlagen	VIII
Zeichungsverzeichnis	X

Tabellen

Tabelle 2-1:	Tidehauptwerte für den Pegel Binnenhafen (vgl. Anlage 3.1)	7
Tabelle 2-2:	Mittlere monatliche Windgeschwindigkeiten in [m/s] in Abhängigkeit der Windrichtungen (DWD) [9]	13
Tabelle 2-3:	Abschätzung der Parameter des lokal erzeugten Seeganges im Vorhafen mittel Seegangsvorhersageverfahren nach dem SPM (1984) [19]	18
Tabelle 2-4:	Ermittlung der relativen Einfahrtsbreite B/L	20
Tabelle 2-5:	Übersicht der eingesetzten Küstenmotorschiffe für den Güterverkehr	24
Tabelle 5-1:	Qualitative Zusammenstellung der auftretenden hydraulischen Prozesse an der Südkaje auf Grundlage definierter Szenarien (Anlage 15)	43
Tabelle 6-1:	Vergleich von voreingeschätzten und analysierten Wellenhöhen an der Südkaje infolge der identifizierten Prozesse im Helgoländer Vorhafen	47
Tabelle 6-2:	Einschätzung der Nutzungseinschränkungen bei einem Frachtumschlag an der Südkaje von [22] (vgl. Anlage 7)	49
Tabelle 6-3:	Zusammenstellung und Vergleich der Eintrittshäufigkeiten und zugehöriger Wellenhöhen an der Südkaje	50

Abbildungen

Abbildung 1-1:	Helgoländer Häfen mit Bezeichnungen zum Zeitpunkt der IMS-Studie [1]	1
Abbildung 1-2:	Schematische Darstellung vorhandener und geplanten Nutzungen der Helgoländer Häfen nach [1]	2
Abbildung 2-1:	Ausschnitt der Seekarte Helgoland (BSH) mit Übersicht und Kennzeichnung der einzelnen Helgoländer Häfen	5
Abbildung 2-2:	Übersichtskarte des Inselraumes mit Verbreitung der untermeerischen Gesteinsfolgen [12]	6
Abbildung 2-3:	Relative Eintrittszeiten und Tidehübe in der Nordsee mit Kennzeichnung der Amphidromiezentren	7
Abbildung 2-4:	Entstehung und Definition von Windwellen und Dünung (links) mit beispielhafter Darstellung eines zugehörigen Seegangsspektrums (rechts) nach [16]	8
Abbildung 2-5:	Seegangsmessstationen des BSH in Nord- und Ostsee [7]	8
Abbildung 2-6:	Auszug der Seegangstatistik des BSH für die Wellenboje Helgoland im Jahr 2010 (vgl. Anlage 3.3)	9
Abbildung 2-7:	Vergleich der Häufigkeitsverteilungen der Wellenanlauffrichtungen für die Jahre 2009 und 2010 nach [7]	10
Abbildung 2-8:	Wellenrose der Seegänge mit den untersuchten Eintrittswahrscheinlichkeiten [3]	10
Abbildung 2-9:	Seegangsbedingungen um Helgoland aus den Richtungen NW, SW, NO und SO für ein Seegangereignis mit der Eintrittswahrscheinlichkeit von 100 Jahren [3]	11
Abbildung 2-10:	Ermittlung der Seegangparameter mittels Seegangsvorhersage aus [16]	11
Abbildung 2-11:	Maximale Tideströmungen in der Deutschen Bucht (links) in [cm/s] nach [12] und im Seegebiet Helgoland (rechts) in [kn] aus [2]	12

Abbildung 2-12:	Eintrittshäufigkeit der Windrichtungen für einen Zeitraum von 25 Jahren für die Station Helgoland	13
Abbildung 2-13:	Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeiten in 25 Jahren (1985 – 2009) nach DWD als Einzelhäufigkeit (oben) und als Summenhäufigkeit (unten)	14
Abbildung 2-14:	Windstatistik für Helgoland [18]	14
Abbildung 2-15:	Klimadaten Helgoland (Quelle: NN)	15
Abbildung 2-16:	Entwicklung der Helgoländer Häfen bis zum 2. Weltkrieg nach [14]	16
Abbildung 2-17:	Vorhafen Helgoland – Übersichtslageplan als Ausschnitt der Seekarte [6] (links) und Fotodarstellung (rechts, <i>Google Earth</i>)	17
Abbildung 2-18:	Abschätzung der Wellenparameter an der Hafeneinfahrt bei einer Wellenangriffsrichtung aus OSO nach Messungen des BSH aus 2010 (vgl. Anlage 3.3)	19
Abbildung 2-19:	Diffraaktionsdiagramme für $B/L = 2$ (linke Hälfte) und $B/L = 5$ (rechte Hälfte) für Windwellen (obere Hälfte) und Dünung (untere Hälfte) nach [20] mit grober Kennzeichnung der Vorhafengeometrie	20
Abbildung 2-20:	Beispielhafte Darstellung der langperiodischen Schwingungen anhand eines Detailausschnittes der Messdaten des Pegels Helgoland Südhafen am 07./08.01.2008 [11]	21
Abbildung 2-21:	Resonanz im Helgoländer Vorhafen nach [21]	22
Abbildung 2-22:	Kümo Björn m beim Frachumschlag	25
Abbildung 2-23:	Palettengabel (rechts) zur Bestückung des Laderaums mit palettierten Stückgüter (links)	25
Abbildung 2-24:	Verpackung kleinteiliger Stückgüter in Containerboxen	26
Abbildung 3-1:	Messpositionen an der Südkaje und an der Ostmole	28
Abbildung 3-2:	Messkonzept für die Messkampagne Helgoland	29
Abbildung 3-3:	Fotos der Messlokationen an der Südkaje (oben) und an der Ostmole (unten)	30
Abbildung 3-4:	Systematik in der Darstellung der Messdaten der Messkampagne	32
Abbildung 4-1:	Schematische Darstellung des Auswertungskonzeptes	34
Abbildung 5-1:	Vergleich der Windgeschwindigkeiten im Messzeitraum und gemäß Langzeitstatistik als Summenhäufigkeit/Unterschreitungshäufigkeit (links) und Einzelhäufigkeit (rechts)	35
Abbildung 5-2:	Vergleich der Häufigkeiten der Windrichtungen mit der Langzeitstatistik	36
Abbildung 5-3:	Häufigkeit der Windrichtungen mit zugehörigen statistischen Parametern (Minimum, Mittelwert, Maximum) der Windgeschwindigkeiten für den Messzeitraum 02/2010 bis 01/2011	37
Abbildung 5-4:	Absolute Häufigkeitsverteilung der gemessenen mittleren Windgeschwindigkeiten [9] in [h] im Messzeitraum 02/2010 bis 01/2011 (vgl. auch Anlage 14)	37
Abbildung 5-5:	Vorgehensweise bei der Auswertung der gemessenen Wasserspiegelauslenkungen	38

Abbildung 5-6:	Zeitreihe der analysierten Wellenhöhen an Südkaje und Ostmole differenziert nach Seegang, Schwell und langperiodischen Wellen (vgl. Anlage 12)	39
Abbildung 5-7:	Summenhäufigkeit/Unterschreitungshäufigkeitsverteilung (links) und absolute Häufigkeitsverteilung (rechts) der analysierten Wellenhöhen im offiziellen Messzeitraum für die Periodenbereiche Seegang (oben), Schwell (Mitte) und langperiodische Schwingung (unten)	40
Abbildung 5-8:	Beispiel für die Anpassung der Richtungsänderungen von Wind (Station Helgoland) und Seegang an der Wellenboje Helgoland in der 36. KW 2010	41
Abbildung 5-9:	Richtungsbezogene Häufigkeitsverteilung des Seegangs an der Südkaje	42
Abbildung 5-10:	Zusammenstellung der Wellenhöhen an der Südkaje (links) und an der Ostmole (rechts) als Funktion der Windgeschwindigkeiten aus und mit Kennzeichnung der untersuchten Szenarien in Anlage 15	44
Abbildung 5-11:	Einteilung der Seegangsbedingungen in vier Sektoren hinsichtlich möglicher Nutzungseinschränkungen für die Südkaje [22] (vgl. Anlage 7)	45
Abbildung 5-12:	Wellenhöhe des Seeganges an der Südkaje in Abhängigkeit der in Abbildung 5-11 definierten Sektoren als Funktion der Windgeschwindigkeit	46
Abbildung 5-13:	Wellenhöhe des Seeganges an der Ostmole in Abhängigkeit der in Abbildung 5-11 definierten Sektoren als Funktion der Windgeschwindigkeit	46
Abbildung 6-1:	Abhängigkeiten der Nutzungseinschränkungen beim Frachtumschlag	48
Abbildung 6-2:	Auswertung der Windhäufigkeitsverteilung entsprechend der definierten Sektoren (vgl. Tabelle 6-2)	49
Abbildung 6-3:	Untersuchungsergebnis zum Fall Tauchen (vgl. Anlage 16)	51
Abbildung 7-1:	Wetterphänomen während des Durchzuges von Sturmtief Norina am 12.07.2010	52
Abbildung 7-2:	Aufgezeichnete Bilderserie bei Durchzug des Sturmtiefs Norina am 12.07.2010	53

Anlagen

- Anlage 1 Projektbeteiligte
- Anlage 2 Projektprotokoll
- Anlage 3 Revierbedingungen
- Anlage 3.1 Tidekennwerte Pegel Binnenhafen (WSA Tönning)
- Anlage 3.2 Informationen des BSH zu Wind- und Seegangsbedingungen in der Deutschen Bucht (Auszug aus [5])
- Anlage 3.3 Seegangsstatistiken für die Boje Helgoland SW (BSH)
- Anlage 3.4 Seegangsbedingungen im Seegebiet um Helgoland (Auszug des Seegangsatlas der BAW)
- Anlage 3.5 Windstatistik 25 Jahre (DWD)
- Anlage 4 Memo 90144-05 zu Diffraktionseffekten bei Hafeneinfahrten
- Anlage 5 Zusammenfassung der „Modellversuche zur Dämpfung des Schwells im Helgoländer Vorhafen“ des Franzius Institutes (1954) [17] als Textauszug aus [2]
- Anlage 6 Memo 90144-06 – Vorgehensweise Seegangsanalyse
- Anlage 7 Nutzungseinschränkungen bei einem Frachturnschlag an der Südkaje nach [22]

Anlagen zur Dokumentation der Messungen

- Anlage 8 Messkonzept – Unterlage für das WSA Tönning vom 05.11.2009
- Anlage 9 Unterlagen zu Messtechnik und Messgeräten
- Anlage 10 Dokumentation einzelner Seegangs- und Schwellereignisse im Helgoländer Vorhafen (WSA Tönning)
- Anlage 11 Dokumentation besonderer Ereignisse
- Anlage 11.1 Sturmtief Xynthia am 27./28.02.2010
- Anlage 11.2 Sturmtief Norina am 12.07.2010
- Anlage 11.3 Sturmereignis am 08.09.2010
- Anlage 11.4 Sturmtief Carmen am 11./12.11.2010
- Anlage 11.5 Sturmflut am 04./05.02.2011

Anlagen zur Darstellung der Ergebnisse

- Anlage 12 Gesamtübersicht Messzeiträume 02/2010 – 01/2011 und 02/2011 – 05/2011
- Anlage 13 Wochenplots der Messergebnisse von 01/2010 bis 05/2011
- Anlage 14 Windstatistik für den Messzeitraum 02/2010 – 01/2011
- Anlage 15 Dokumentation von Seegangsszenarien im Helgoländer Vorhafen
- Anlage 16 Memo 90144-04 - Schiffsbewegungen am Liegeplatz
- Anlage 17 Präsentation der Ergebnisse vom 17.06.2011

Digitale Anlagen der Messdaten und Auswertungen

- Anlage 18 DVD – Daten und Auswertungen
- Anlage 19 DVD – Messdaten der Messlokationen

Literatur und Unterlagen

- [1] IMS (2009) Planungsstudie zu neuen Nutzungskonzepten der Helgoländer Häfen, Bericht Nr. 90144-01, 02.12.2009
- [2] Ullrich und Wüster (2003) Hafengebäude auf Helgoland, Hamburger Wasserbau-Schriften, Band 2, Arbeitsbereich Wasserbau, Technische Universität Hamburg-Harburg
- [3] Bundesanstalt für Wasserbau (2005) Seegangsatlas für das Seegebiet um Helgoland
- [4] Bundesanstalt für Wasserbau (1993) Hafenumruhrung in Helgoland, verursacht durch langperiodische Schwingungen, Gutachten im Auftrag des WSA Tönning, BAW Nr. 91 53 3375.1, Stand: 05.11.1993
- [5] Bundesanstalt für Seeschifffahrt und Hydrographie (2009) Naturverhältnisse - Nordsee und Englischer Kanal
- [6] Bundesanstalt für Seeschifffahrt und Hydrographie, Seekarte Helgoland, Nr. 88
- [7] Bundesanstalt für Seeschifffahrt und Hydrographie, Internetinformationen, www.bsh.de
- [8] Bundesanstalt für Seeschifffahrt und Hydrographie, Seegangsinformationen der Boje Helgoland
- [9] Deutscher Wetterdienst, Messdaten und Statistiken für die Station Helgoland
- [10] Deutscher Wetterdienst, Internetinformationen, www.dwd.de
- [11] WSA Tönning, Wasserstandsdaten des Betriebspegels Südhafen Helgoland sowie Statistiken des Pegels im Binnenhafen
- [12] Spaeth (1989) Zur Geologie der Insel Helgoland, Die Küste, Heft 49, Sonderheft Helgoland, Kuratorium für Forschung im Küsteningenieurwesen (Hrsg.), Westholsteinische Verlagsanstalt Boyens & Co., Heide
- [13] Siefert (1989) Tide, Windstau, Seegang im Raume Helgoland, Die Küste, Heft 49, Sonderheft Helgoland, Kuratorium für Forschung im Küsteningenieurwesen (Hrsg.), Westholsteinische Verlagsanstalt Boyens & Co., Heide
- [14] Die Küste, Heft 49 (1989), Sonderheft Helgoland, Kuratorium für Forschung im Küsteningenieurwesen (Hrsg.), Westholsteinische Verlagsanstalt Boyens & Co., Heide
- [15] EAK (2002) Empfehlungen für die Ausführung von Küstenschutzwerken durch den Ausschuss für Küstenschutzwerke, Die Küste, Heft 65, Kuratorium für Forschung im Küsteningenieurwesen (Hrsg.), Westholsteinische Verlagsanstalt Boyens & Co., Heide

- [16] Lecher, Lühr, Zanke (2001) Taschenbuch der Wasserwirtschaft, 8. Auflage, Parey Buchverlag Berlin
- [17] Franzius Institut für Wasserbau (1954) Modellversuche zur Dämpfung des Schwells im Vorhafen Helgoland, unveröffentlicht
- [18] Windfinder, Internetinformation, www.windfinder.de
- [19] SPM (1984) Shore Protection Manual, Coastal Engineering Research Center, Department of the Army, US Army Corps of Engineers, Washington
- [20] CEM (2001) Coastal Engineering Manual, Coastal Engineering Research Center, Department of the Army, US Army Corps of Engineers, Washington
- [21] Leichtweiss-Institut für Wasserbau, Institut für Hydromechanik und Küsteningenieurwesen, Vorlesungsumdruck, Stand 1996, TU Braunschweig
- [22] Kreis Pinneberg, SVG Südholstein Verkehrsgesellschaft mbH, Hafenkonzept Helgoland, Präsentation, keine Datumsangabe

Zeichnungsverzeichnis

Nr.	Zeichnungs-Nr.	Titel	Maßstab
1.	90144-S-Ü-03	Übersichtslageplan	1:7.500 / 1:5.000

Danksagung

Die IMS bedankt sich für die äußerst interessante Aufgabenstellung und die Möglichkeit, etwas für die weitere Entwicklung von Helgoland leisten zu können.

Ausdrücklich möchte sich die IMS für die gute Zusammenarbeit mit allen Projektbeteiligten bedanken.

Stellvertretend möchten wir an dieser Stelle unseren besonderen Dank an die Kollegen des WSA Tönning, Außenstelle Helgoland richten, die uns nicht nur bei der Ausrüstung der beiden Messstationen, Installation und Demontage der Messgeräte sondern auch bei Wartungsarbeiten und bei jeder Wetterlage stets tatkräftig unterstützt haben.

Die gesamte Messtechnik incl. Datenerfassung und –übertragung für die rund 1¼ jährige Messkampagne von 01/2010 bis 05/2011 wurde von der Fa. ARGUS Gesellschaft für Umweltmesstechnik mbH, Ritterhude konzipiert, installiert und betrieben. Die IMS bedankt sich bei Herrn Jörg Gutkuhn für die hervorragende Zusammenarbeit.

Bearbeitung

Dr.-Ing. Karsten Peters	⇒	<i>Projektleitung</i>
Dipl.-Ing. Michael Karch	⇒	<i>Datenaufbereitung, Seegangs- und Datenanalysen</i>
Dipl.-Ing. Achim Schmidt	⇒	<i>Analyse Schiffsbewegungen</i>
Dr.-Ing. Peter Ruland	⇒	<i>Review</i>

öbv Sachverständiger für Wasserbau in der Küstenregion

1 Hintergrund und Veranlassung

1.1 Hintergrund

Mit Datum vom 23. Juni 2009 erteilte die Uetersener Eisenbahn AG, handelnd für den Kreis Pinneberg, der IMS Ingenieurgesellschaft mbH den Auftrag, eine Studie zu erstellen, welche die Möglichkeiten untersucht, veränderte und neue Nutzungen der Helgoländer Häfen zu realisieren. Diese Studie mit zugehörigen Ergebnissen wurde von IMS vorgestellt und Ende 2009 vorgelegt [1].

Abbildung 1-1 zeigt die Helgoländer Häfen mit deren Bezeichnungen zum Zeitpunkt der IMS-Studie. Einen Vergleich der vorhandenen und geplanten Nutzungen der Helgoländer Häfen stellt Abbildung 1-2 schematisch dar. Mittlerweile sind zwischen der Gemeinde Helgoland und der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung entsprechende Verträge zur Neuordnung geschlossen worden.



Abbildung 1-1: Helgoländer Häfen mit Bezeichnungen zum Zeitpunkt der IMS-Studie [1]

Ein Aspekt bei der Neuordnung der Helgoländer Häfen ist die geplante Verlegung des Frachtumschlages aus dem Binnenhafen an die Südkaje im Helgoländer Vorhafen (vgl. Abbildung 1-2). Der Vorhafen und insbesondere der Bereich der westlichen Südkaje sind aufgrund der baulichen Gegebenheiten sowie der Lage und Breite der Hafeneinfahrt in besonderer Weise sensitiv gegenüber Seegangseinwirkungen aus südlichen und östlichen Richtungen.

Die Durchführung des Frachtumschlages ist maßgeblich von den lokal an der Kaje herrschenden Seegangsbedingungen abhängig und darüber hinaus von dem Schiffstyp, der Schiffsgröße und der praktizierten Verladetechnik, woraus folgt, dass der Umschlag nur bis zu einem bestimmten Seegang ordnungsgemäß durchgeführt werden kann. Demgegenüber steht die Maßgabe, den Frachtumschlag auf Helgoland möglichst witterungsunabhängig und ganzjährig durchführen zu können.

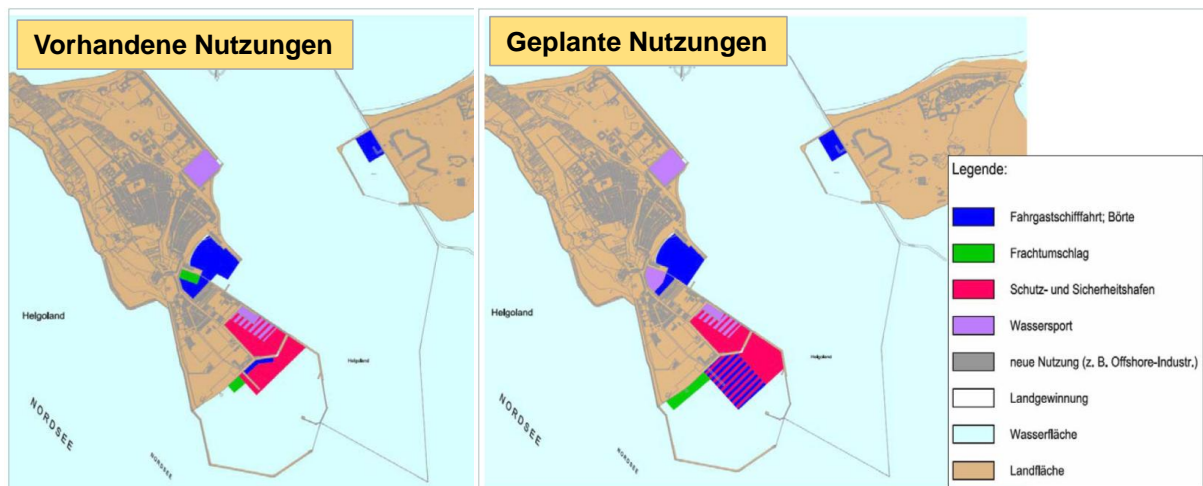


Abbildung 1-2: Schematische Darstellung vorhandener und geplanten Nutzungen der Helgoländer Häfen nach [1]

Um hinsichtlich des geplanten Frachtumschlages an der Südkaje eine Einschätzung über mögliche witterungsbedingte Nutzungseinschränkungen infolge einlaufender Seegänge und Schwell¹ abschätzen zu können, wurden Wellenmessungen im Vorhafen über einen repräsentativen Zeitraum durchgeführt.

Der vorliegende Bericht fasst die durchgeführten Wellenmessungen im Vorhafen, die Dokumentation der Messdaten und die durchgeführten Analysen zusammen, dokumentiert und bewertet die Ergebnisse.

1.2 Aufgabenstellung

Die durchgeführten Wellenmessungen im Helgoländer Vorhafen sind Teil der Planungsstudie zu neuen Nutzungskonzepten der Helgoländer Häfen [1].

Ende 2009 wurden mit allen Projektbeteiligten entsprechende Abstimmungen zur Durchführung der Messkampagne vorgenommen, z.B. bei der Festlegung der Messlokalationen an der Südkaje und an der Ostmole.

Die Aufgabenstellung von IMS besteht in der Planung, Durchführung, Auswertung und Analyse der Wellenmessungen vor dem Hintergrund der Frage, welche witterungsbedingten Nutzungseinschränkungen bei der Verlegung des Frachtumschlages vom Binnenhafen an die Südkaje zu erwarten sind.

Die zunächst auf drei Monate ausgelegte Messkampagne wurde in Abstimmung mit dem Auftraggeber um weitere neun Monate auf insgesamt ein Kalenderjahr verlängert, um einen repräsentativen Zeitraum abzudecken.

1.3 Projektorganisation

Die IMS führte die gesamten Leistungen im Rahmen der Durchführung der Wellenmessungen als Hauptauftragnehmer aus. Als Nachunternehmer wurde die ARGUS Gesellschaft für Umweltmesstechnik mbH, Ritterhude (ARGUS) eingesetzt.

¹ Als Schwell werden langperiodische Dünungswellen bezeichnet, die nicht lokal unter den aktuell vorherrschenden Windverhältnissen erzeugt werden, sondern in anderen Seegebieten generiert wurden und von dort in das Projektgebiet einlaufen.

Die interne Aufgabenverteilung sah die Leistungen der Projektleitung sowie der Datenauswertung, Analyse, Dokumentation und Präsentation durch IMS vor, während die Planung, die Installation, der Betrieb und der Service der gesamten Messtechnik bei ARGUS lag. Bei der Durchführung der Naturmessungen wurde ARGUS durch IMS fachlich und personell unterstützt.

1.4 Projektbeteiligte

Die Projektbeteiligten sind mit den zugehörigen Kontaktinformationen in der Anlage 1 aufgelistet.

1.5 Vorgehensweise und Arbeitsschritte

In Anlehnung an die Leistungsbeschreibung wurden folgende Arbeitsschritte durchgeführt:

- Planung der Messkampagne und Abstimmung mit den Projektbeteiligten (Ende 2009)
- Durchführung der Naturmessungen (26.01.2010 bis 30.05.2011) zusammen mit der Fa. ARGUS
- Abfrage und Dokumentation von zusätzlichen Messdaten beim WSA Tönning (Wasserstand), Deutschen Wetterdienst (Windstärke und -richtung) und Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (Seegangdaten)
- Zusammenstellung von eigenen Messdaten und weiteren externen Daten (Winddaten, Wasserstandsdaten, Seegangdaten) für die Auswertung
- Synchronisierung der gesammelten Messdaten
- Auswertung und Analyse der Messdaten
- Bewertung der Ergebnisse auch vor dem Hintergrund bestehender Untersuchungsergebnisse
- Berichtslegung und Dokumentation der Daten.

1.6 Abzuliefernde Unterlagen

Mit dem vorliegenden Bericht erfolgt die Dokumentation der durchgeführten Naturmessungen für den Zeitraum der Messkampagne, der Analyseergebnisse und deren Bewertung.

Im Bericht sind u. a. enthalten:

- Dokumentation der Messkampagne
- Dokumentation sämtlicher verfügbarer Messdaten
- Zeitreihendarstellungen der aufgezeichneten Messdaten
- Zeitreihendarstellungen der ausgewerteten Seegangparameter an den einzelnen Messlokalitäten
- Zeitreihendarstellungen der meteorologischen und hydrologischen Messdaten
- Dokumentation des Auswertekonzeptes und der Datenanalyse
- Statistische Auswertungen der analysierten Wellenparameter
- Auswertungen zu systematischen Abhängigkeiten
- Bereitstellung der Messdaten und ausgewerteten Daten auf Datenträger.
- Bewertung der zu erwartenden Nutzungseinschränkung bei der Verlegung des Frachtumschlages an die Südkaje des Vorhafens.

1.7 Anmerkungen zum Bericht

Der vorliegende Bericht dokumentiert die gesamte Messkampagne von 16 Monaten und fasst die Auswertungen und Ergebnisse zusammen, die für die Bearbeitung der Aufgabenstellung erforderlich wurden.

Der vorliegende Bericht liefert ein umfassendes Bild der herrschenden Revierbedingungen im Seegebiet um Helgoland und der Seegangsbedingungen im Helgoländer Vorhafen, welches in dieser Form bisher nicht vorhanden war. Die erfassten und analysierten Messdaten können auch für weitergehende Untersuchungen herangezogen werden.

In Abschnitt 2 werden eine Revierübersicht gegeben und die im Helgoländer Vorhafen ablaufenden hydraulischen Prozesse identifiziert und analysiert. Darüber hinaus werden Informationen zum derzeitigen Frachtumschlag gegeben.

Die Vorstellung der Messkampagne und der erfassten Messdaten erfolgt in Abschnitt 3.

In Abschnitt 4 wird das Auswertungskonzept der Messdaten vorgestellt. Im folgenden Abschnitt 5 werden dann die Auswertungen der Wind- und Seegangsbedingungen und deren Ergebnisse dokumentiert.

Eine Bewertung der ermittelten Ergebnisse hinsichtlich von Nutzungseinschränkungen bei dem geplanten Frachtumschlag an der Südkaje ist in Abschnitt 6 zu finden.

Da während des langen Messzeitraumes von 16 Monaten einige interessante meteorologische Ereignisse wie z.B. Stürme eingetreten sind, wird in Abschnitt 7 eine kurze Dokumentation bestimmter einzelner Ereignisse vorgenommen.

Auf die Präsentation der Ergebnisse in Anlage 17 wird ausdrücklich hingewiesen.

An dieser Stelle wird angemerkt, dass mit den vorliegenden Messdaten der durchgeführten Messkampagne ein großer „Datenschatz“ vorliegt, der noch über die vorgenommenen Auswertungen hinaus für weitere Analysen und Auswertungen genutzt werden kann.

2 Revierübersicht und Kurzbeschreibung der ablaufenden hydraulischen Prozesse im Helgoländer Vorhafen

2.1 Revierübersicht

Die Hochseeinsel Helgoland liegt in der Deutschen Bucht, wobei die Entfernungen nach Cuxhaven ca. 65 km und zur schleswig-holsteinischen Westküste ca. 50 km betragen. Neben der exponierten Lage in der Deutschen Bucht sind es insbesondere die geologischen, naturräumlichen und klimatischen Verhältnisse, die Helgoland zu etwas Besonderem werden lassen.

In diesem Zusammenhang sind insbesondere die Seegangsbedingungen zu erwähnen, die bei bestimmten Windlagen zu signifikanten Wellenhöhen von mehr als 7 m westlich von Helgoland führen. Eine ausführliche Darstellung der zu erwartenden Seegangsbedingungen im Seegebiet Helgoland erfolgt in Anlage 3.4 des Berichtes.

Eine Revierübersicht mit Kennzeichnung der Helgoländer Häfen gibt nachfolgend sowohl die Abbildung 2-1 als auch der beiliegende Plan 90144-S-Ü-03.

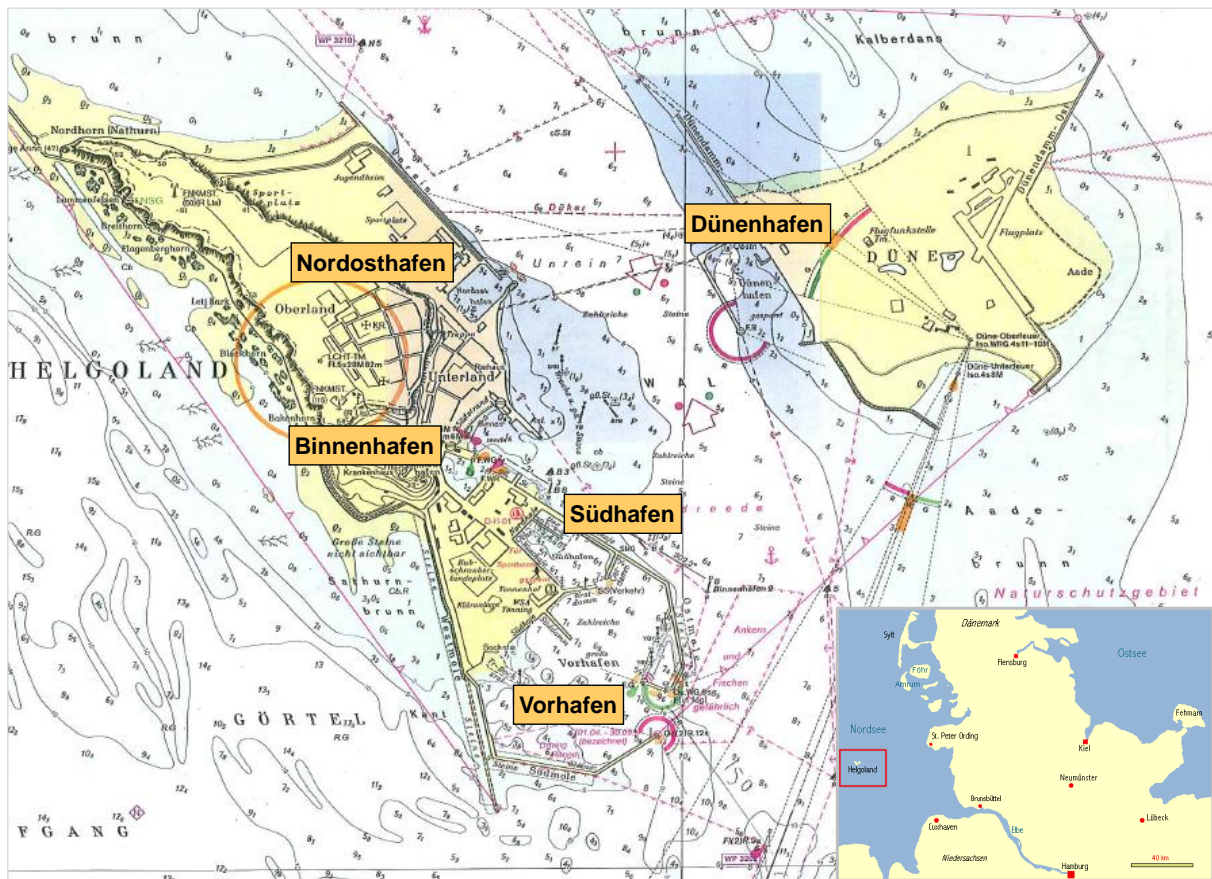


Abbildung 2-1: Ausschnitt der Seekarte Helgoland (BSH) mit Übersicht und Kennzeichnung der einzelnen Helgoländer Häfen

Nachfolgend wird in Abschnitt 2.2 zunächst eine kurze Beschreibung der Revierbedingungen gegeben, um dann in Abschnitt 2.3 auf die besonderen Verhältnisse des Helgoländer Vorhafens einzugehen. In Abschnitt 2.5 wird dann auf den derzeitigen Frachturnschlag genauer eingegangen.

2.2 Revierbedingungen

2.2.1 Geologie, Topografie und Wassertiefen

Topografie und Wassertiefen rund um Helgoland hängen eng mit der Geologie und der Entstehungsgeschichte zusammen. Diesbezüglich wird auf detaillierte Ausführungen in [12] verwiesen. Helgoland und die Düne liegen auf einem Felsrücken, der sich bogenförmig in NW-SO-Richtung erstreckt (vgl. Abbildung 2-2).

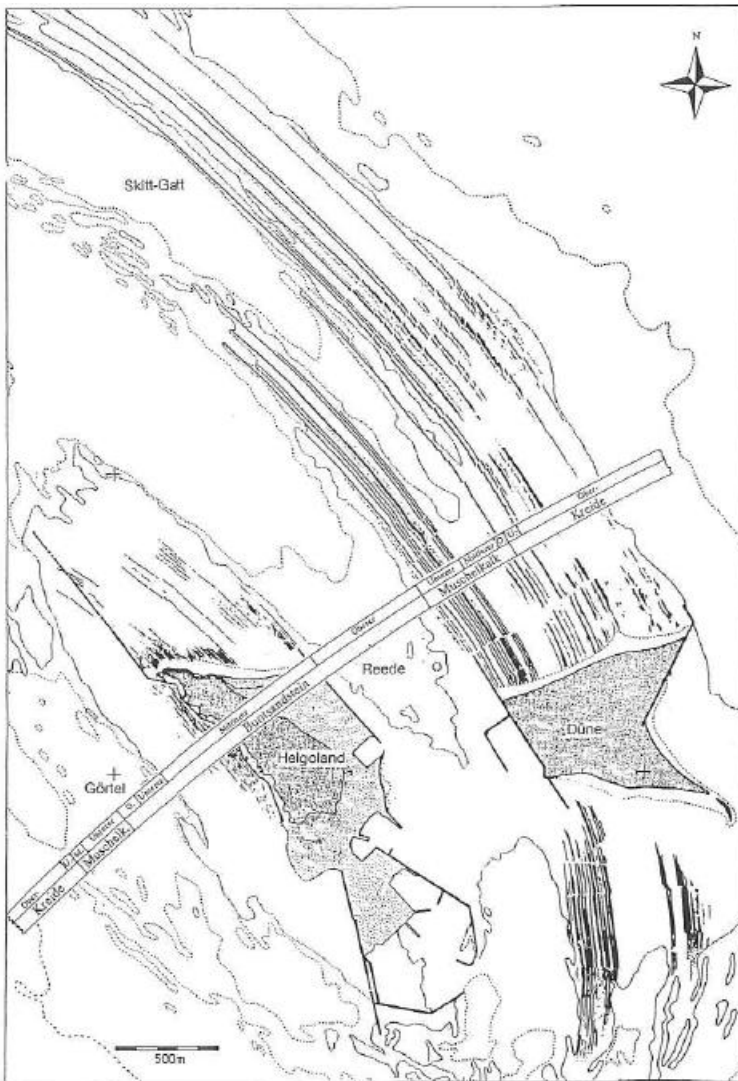


Abbildung 2-2: Übersichtskarte des Inselraumes mit Verbreitung der untermeerischen Gesteinsfolgen [12]

Die Gewässersohle fällt rund um Helgoland in alle Richtungen relativ zügig ab, so dass in relativ kurzer Entfernung vom Inselsockel Wassertiefen von 20 m und mehr erreicht werden. Westlich der Insel nimmt die Wassertiefe kontinuierlich zu, wobei die NN -2 m Tiefenlinie beginnend von dem südlichen Ende der Westmole uferparallel in einem Abstand von etwa 400 m verläuft. Dies wirkt sich begrenzend auf die Seegangsbedingungen am westlichen Inselrand aus (vgl. Abschnitt 2.2.3). Zwischen Insel und Düne liegt die Gewässersohle zwischen NN -6 m und NN -8 m. Für weitere Informationen wird auf die Seekarte Helgoland [6] sowie den beiliegenden Lageplan verwiesen, der im unmittelbaren Nahbereich die Wassertiefen darstellt.

2.2.2 Wasserstände

Aufgrund der exponierten Lage von Helgoland in der Deutschen Bucht treten gegenüber Pegeln am Festland deutlich geringere Tidewasserstände ein, d.h. der Tidehub ist geringer. Gleichzeitig ist die Tidekurve nahezu unverformt im Gegensatz zu den Tidekurven in den Tideästuaren. Die folgende Abbildung 2-3 veranschaulicht die Tidebedingungen (relative Eintrittszeiten und Tidehub) in der Deutschen Bucht in schematischer Weise. Für Helgoland ist demnach mit einem Tidehub von ca. 2,5 m zu rechnen.

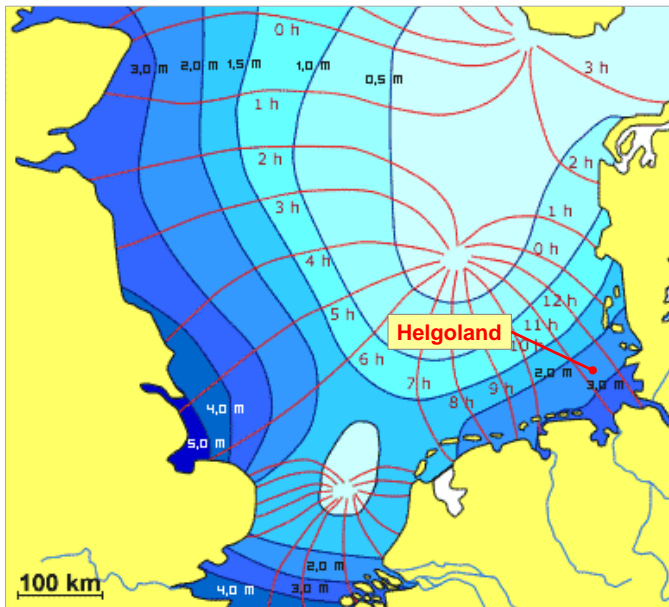


Abbildung 2-3: Relative Eintrittszeiten und Tidehübe in der Nordsee mit Kennzeichnung der Amfidromiezentren

Auf Helgoland werden an zwei Pegeln im Binnenhafen und im Südhafen (Betriebspegel) Wasserstandsdaten vom WSA Tönning aufgezeichnet. Für den Pegel Binnenhafen werden ausgewählte Tidekennwerte in Tabelle 2-1 auf Grundlage der Pegelauswertungen des WSA Tönning angegeben, die als Anlage 3.1 die Hauptwerte und die Haupttabellen für die Abflussjahre 2000 bis 2009 beinhaltet.

Tabelle 2-1: Tidehauptwerte für den Pegel Binnenhafen (vgl. Anlage 3.1)

Tidehauptwert	Wasserstand
HHThw	NN +3,87 m (16.02.1962)
MThw (2000/2009)	NN +1,16 m
MTnw (2000/2009)	NN -1,20 m
NNTnw	NN -3,42 m (15.03.1964)

Da es sich bei dem Pegel Südhafen um einen Betriebspegel handelt, wird für die Pegelmessdaten keine Tidescheitelauswertung vom WSA Tönning durchgeführt. Die Tidehauptwerte des Pegels Binnenhafen sind jedoch auf den Pegel Südhafen übertragbar.

Für die im Rahmen der Messkampagne erforderlichen Auswertungen wird davon ausgegangen, dass die Tidekennwerte des Pegels Südhafen mit den Tidekennwerten des Pegels Binnenhafen (vgl. Tabelle 2-1) übereinstimmen.

2.2.3 Seegang

Die Seegangsbedingungen im Seegebiet Helgoland hängen eng mit den Seegangsbedingungen in der Deutschen Bucht, den vorherrschenden Windverhältnissen und den topografischen Bedingungen zusammen. Windstärke und -richtung sowie die Streichlänge und die Einwirkdauer bestimmen die Seegangsbedingungen in der Deutschen Bucht.

Seegänge werden entweder lokal vom Wind erzeugt (Windwellen) oder laufen aus anderen Seegebieten als sogenannte Dünung in das Seegebiet Helgoland ein. Die Dünung zeichnet sich durch Wellen mit größeren Wellenlängen und -perioden aus. Lokal überlagern sich die verschiedenen Seegangsarten. Die Häufigkeit und Energiedichte der Wellen wird allgemein mittels Seegangsspektrum beschrieben, in dem die beiden Seegangsarten der Windwellen und der Dünungswellen auch differenziert werden können (vgl. Abbildung 2-4). Für vertiefende Recherchen wird auf das vorhandene Schrifttum im Allgemeinen und die EAK (2002) [15] im Besonderen verwiesen.

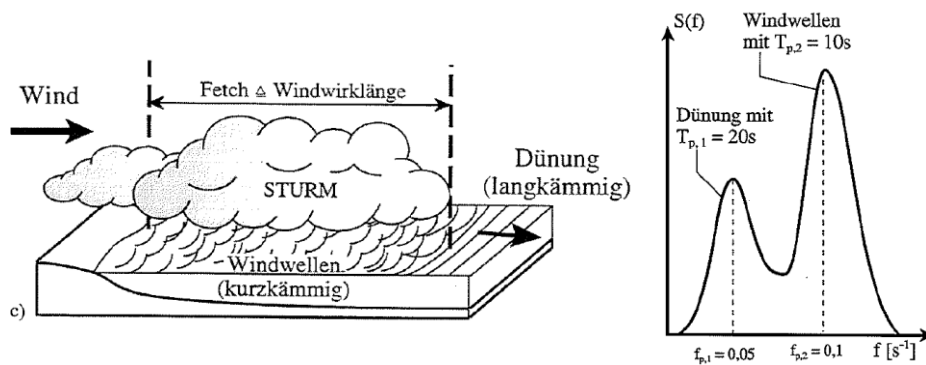


Abbildung 2-4: Entstehung und Definition von Windwellen und Dünung (links) mit beispielhafter Darstellung eines zugehörigen Seegangsspektrums (rechts) nach [16]

Seegangsmessungen und -daten vom Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH)

Das BSH betreibt verschiedene Messeinrichtungen zur Erfassung der Seegangsbedingungen in der Nord- und Ostsee. Die folgende Abbildung 2-5 gibt einen Überblick der vorhandenen Messstationen.

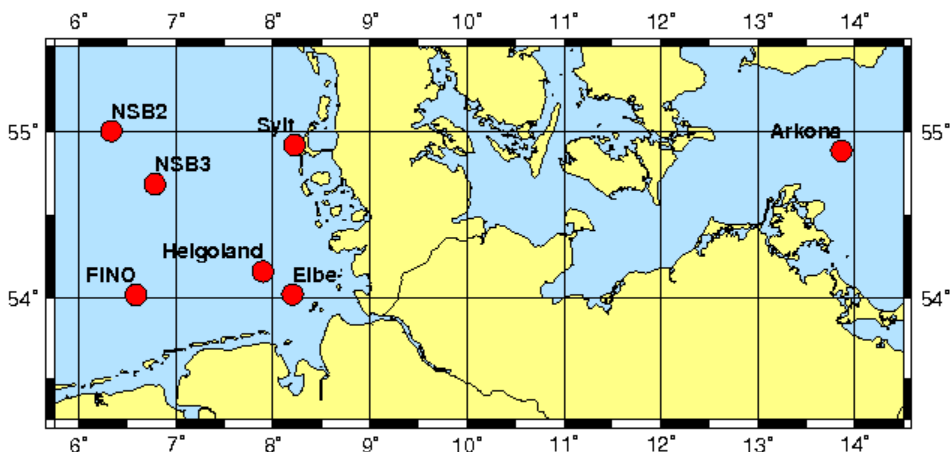


Abbildung 2-5: Seegangsmessstationen des BSH in Nord- und Ostsee [7]

g:\dat\p7\144_helgoland\08_plan-erg\82_berichte\90144-03_bericht_naturmessungen.docm, F 8-10

Einen Überblick der Wind- und Seegangsbedingungen in der Nordsee und der Deutschen Bucht wird als Auszug von [5] in der Anlage 3.2 gegeben. Neben den Eintrittswahrscheinlichkeiten bestimmter Seegangbedingungen werden vom BSH auch Anhaltswerte für die mittlere Seegangshöhe angegeben.

Zur detaillierteren Beschreibung des Seegangsklimas im Seegebiet Helgoland kann die Wellenboje bei rund 20 m Wassertiefe und ca. 5 km südwestlich vor Helgoland herangezogen werden (vgl. dazu auch beiliegenden Lageplan 90144-S-Ü-03). Die Seegangsdaten werden von der Wellenboje punktuell gemessen, analysiert und vom BSH dokumentiert. Die charakteristischen Seegangsparameter (u.a. signifikante Wellenhöhe H_s und Wellenperiode T) werden auf der Grundlage von Auswertungsfenstern definierter zeitlicher Länge ermittelt. In der Anlage 3.3 werden die ermittelten Seegangsstatistiken dieser Wellenboje für die Jahre 2006 bis 2010 in Form von Häufigkeitsverteilungen und Zeitreihen dokumentiert.

So ist aus der Statistik in Anlage 3.3 bzw. dem zugehörigen Auszug in Abbildung 2-6 für das Jahr 2010 abzulesen, dass an der Messlokation der Wellenboje

- zu 80 % signifikante Wellenhöhen kleiner 2 m gemessen wurden,
- der Seegang zu rund 80 % aus südwestlichen bis nördlichen Richtungen angelaufen ist und
- maximale Seegangsparameter mit einer Wellenhöhe H_s von rund 7 m und einer Wellenperiode T von ca. 8 s gemessen wurden.

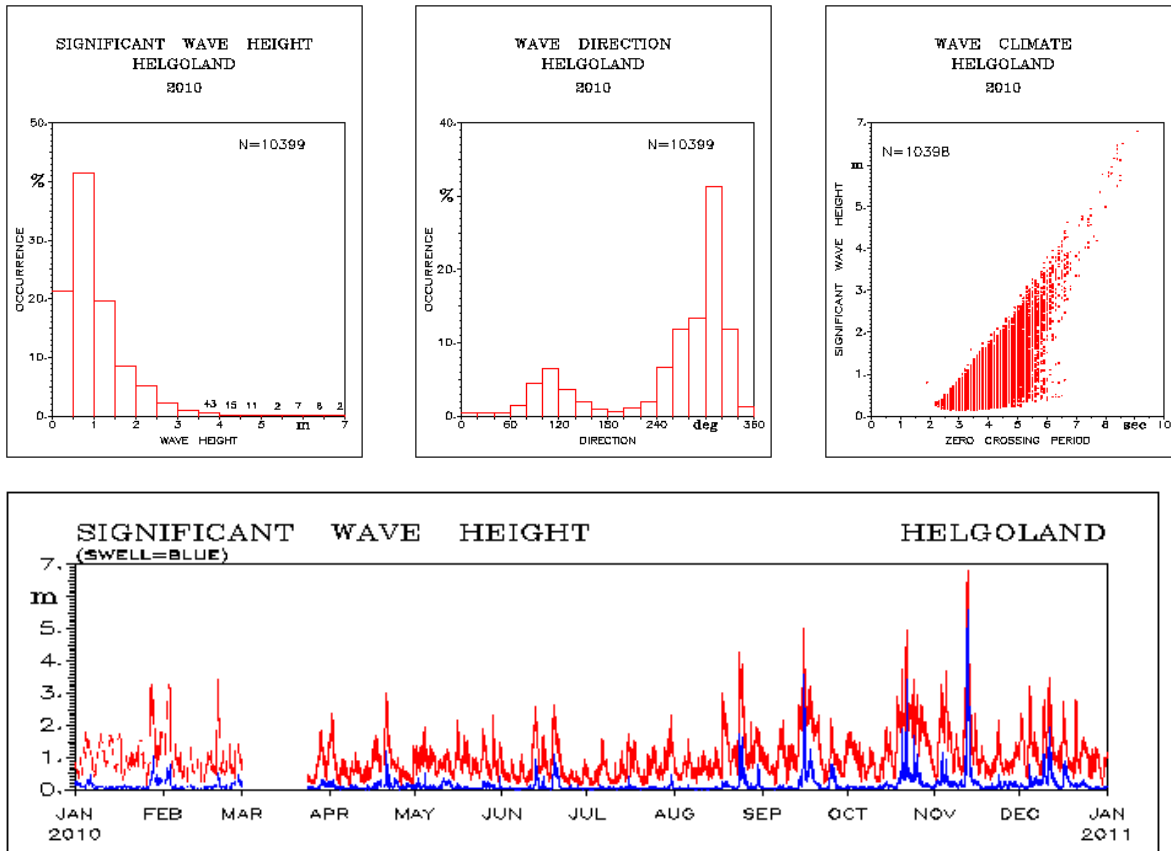


Abbildung 2-6: Auszug der Seegangsstatistik des BSH für die Wellenboje Helgoland im Jahr 2010 (vgl. Anlage 3.3)

Im Vergleich zum Jahr 2009 erhöhte sich in 2010 der Anteil der aus östlichen Richtungen einlaufenden Seegänge leicht, insbesondere aus der Richtung von 100° bis 120° (entsprechend OSO), bei der der Seegang direkt in den Vorhafen einlaufen kann. Gleichfalls ist eine vergleichsweise Konzentration der Seegänge aus der Richtung 300° (entsprechend WNW) zu verzeichnen (vgl. Abbildung 2-7). Auf weitere Diagramme und Abbildungen in der Anlage 3.3 wird verwiesen.

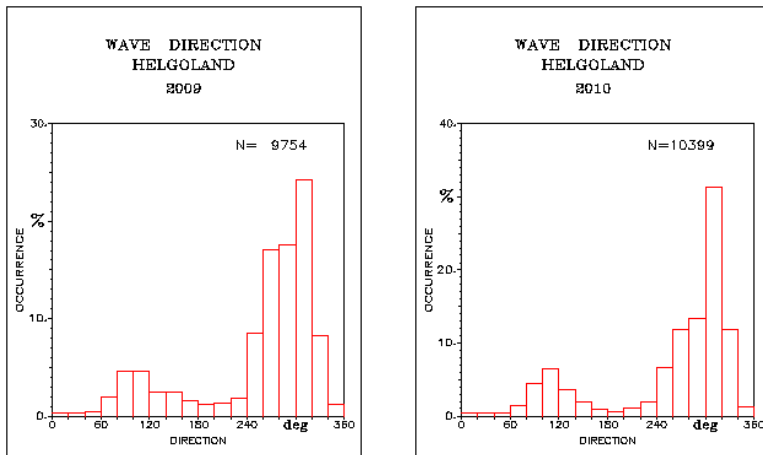


Abbildung 2-7: Vergleich der Häufigkeitsverteilungen der Wellenanlauffrichtungen für die Jahre 2009 und 2010 nach [7]

Als Hinweis sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass die Wellenboje Helgoland bei Ostwindlagen lagebedingt im Windschatten Helgolands liegt, d.h. die Wellenboje gibt in diesen Fällen nicht den tatsächlichen Seegang im Seegebiet Helgoland wieder. In diesen Fällen sollte zusätzlich auf die Wellenboje Elbe zurückgegriffen werden (vgl. Abbildung 2-5).

Seegangsatlas der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW)

Neben den vorgestellten punktuell gemessenen Seegangsinformationen an der Wellenboje Helgoland kann der sogenannte Seegangsatlas Helgoland der BAW [3] genutzt werden, um das Seegangsklima um Helgoland zu beschreiben. Dieser Seegangsatlas beinhaltet flächenhafte Darstellungen der signifikanten Wellenhöhe rund um Helgoland in Abhängigkeit der Seegangsrichtung und der jeweiligen Eintrittswahrscheinlichkeit des Seeganges (vgl. Abbildung 2-8).

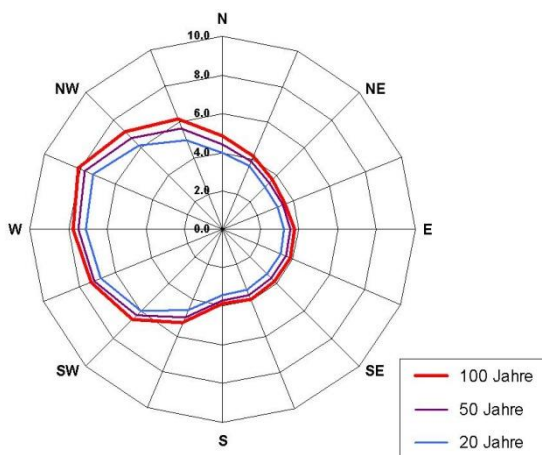


Abbildung 2-8: Wellenrose der Seegänge mit den untersuchten Eintrittswahrscheinlichkeiten [3]

In der folgenden Abbildung 2-9 wird als Auszug des o. g. Seegangs atlas [3] das Seegangsklima als räumliche Verteilung der signifikanten Wellenhöhe beispielhaft bei Angriffsrichtung aus NW, SW, NO und SO jeweils für ein Seegangereignis mit 100-jähriger Eintrittswahrscheinlichkeit dargestellt. Auf die weiteren Ausführungen und Abbildungen des Seegangs atlas [3] in der Anlage 3.4 wird verwiesen.

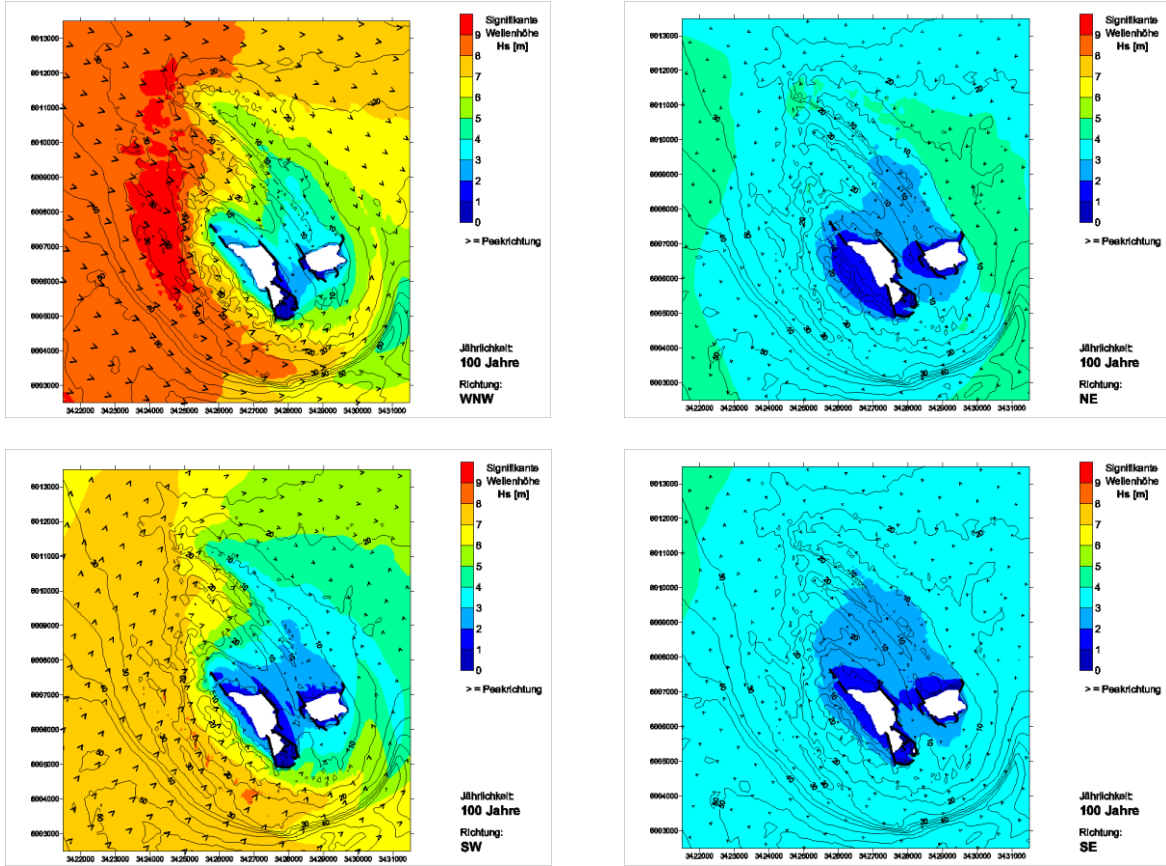


Abbildung 2-9: Seegangsbedingungen um Helgoland aus den Richtungen NW, SW, NO und SO für ein Seegangereignis mit der Eintrittswahrscheinlichkeit von 100 Jahren [3]

Wie bereits in Abbildung 2-8 erkennbar, treten aus westnordwestlicher Richtung nahezu doppelt so hohe Seegänge auf (H_s ca. 8 m) als aus südöstlicher Richtung (H_s ca. 4 m). Dies liegt in der wesentlich größeren Fetchlänge bei westlichen bis nördlichen Wellenangriffsrichtungen begründet. Die grundsätzliche Fetchlängenbegrenzung bei der Seegangsgenerierung lässt sich auch aus der folgenden Abbildung 2-10 (rechts) ablesen.

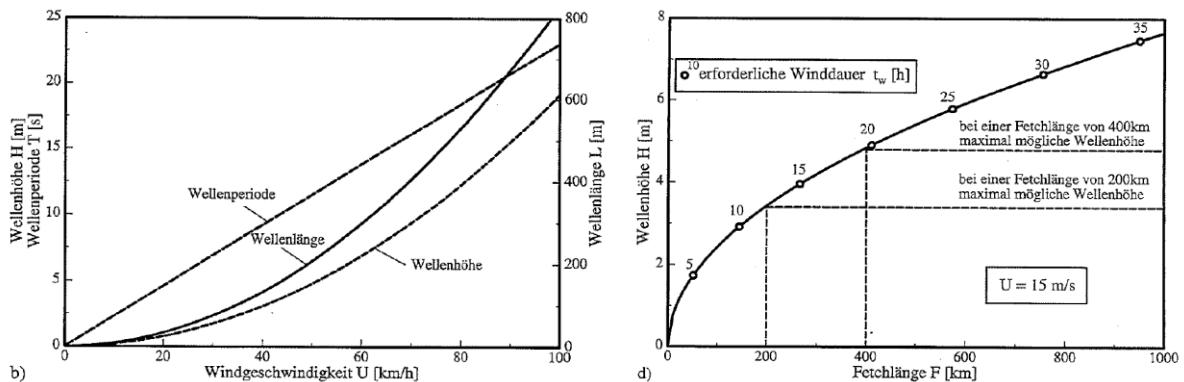


Abbildung 2-10: Ermittlung der Seegangparameter mittels Seegangsvorhersage aus [16]

2.2.4 Tideströmungen

Rund um Helgoland treten Tideströmungen infolge der halbtäglichen Tidebewegung auf, die eine Rotation in der Nordsee ausführt (vgl. Abbildung 2-3). Aus dem Fortschritt der Eintrittszeiten in Abbildung 2-3 lässt sich ableiten, dass die großräumigen oberflächennahen Tideströmungen im Seegebiet Helgoland in West-Ost-Richtung verlaufen (vgl. Abbildung 2-11, links), was auch durch Untersuchungen des BSH belegt wird [12]. Die vorherrschenden Tideströmungen zwischen Insel und Düne verlaufen bei Flutstrom in südöstlicher und bei Ebbstrom in nordwestlicher Richtung (vgl. Abbildung 2-11, rechts).

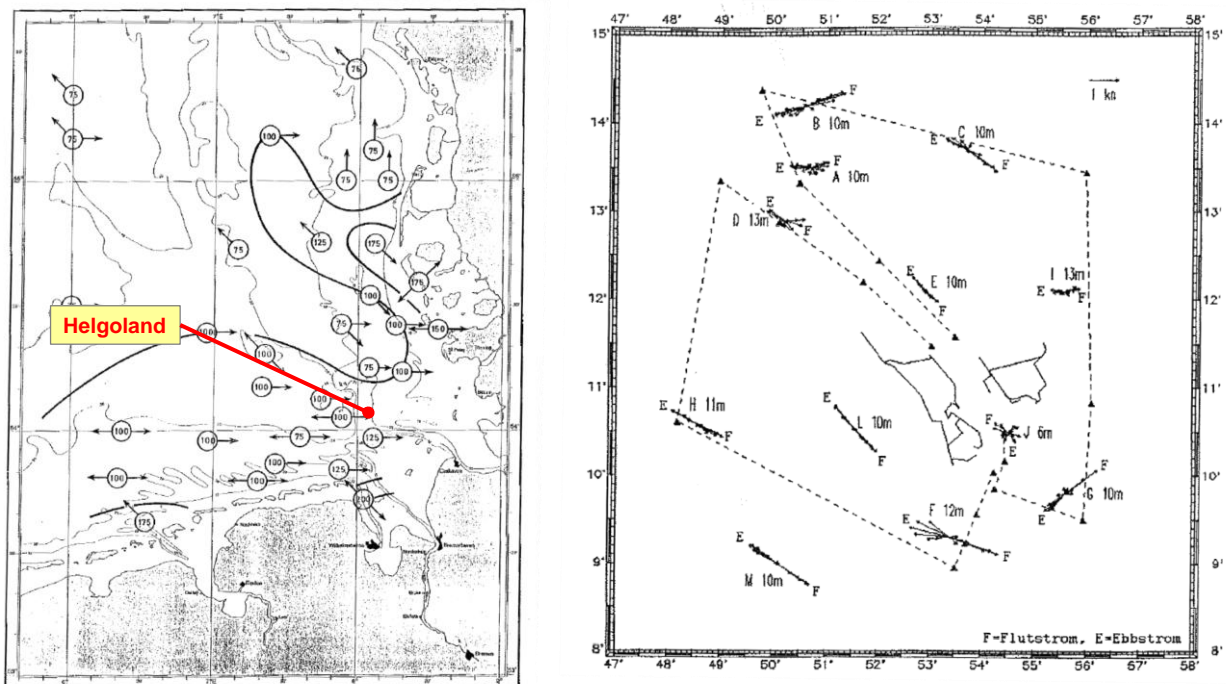


Abbildung 2-11: Maximale Tideströmungen in der Deutschen Bucht (links) in [cm/s] nach [12] und im Seegebiet Helgoland (rechts) in [kn] aus [2]

Zwischen Insel und Düne wurden folgende maximale Tideströmungen vom BSH (in [2]) gemessen:

- Flutstrom: 0,8 m/s (Richtung SO)
- Ebbstrom: 0,7 m/s (Richtung NW).

Für weitere Erläuterungen zur Tidebewegung im Seegebiet Helgoland wird auf die Ausführungen von Siefert [13] verwiesen.

2.2.5 Windverhältnisse

Der Deutsche Wetterdienst (DWD) unterhält innerhalb seines Messnetzes auch eine meteorologische Messstation auf Helgoland², auf deren Messdaten [9] im Rahmen der Messkampagne zurückgegriffen wurde. Für die Einordnung der Windverhältnisse insgesamt und während der Messkampagne wurde vom DWD eine Langzeitstatistik der Winddaten von 1985 bis 2009 von der Station Helgoland abgefragt. Die zugehörigen Daten des DWD werden in der Anlage 3.5 dokumentiert.

Die folgende Tabelle 2-2 stellt die mittleren monatlichen Windgeschwindigkeiten in Abhängigkeit der Windrichtungen dar. Darin wird deutlich, dass die höchsten mittleren monatlichen Windgeschwindigkeiten in den Herbst- und Wintermonaten aus den Richtungen zwischen 200° (SSW) und 250° (WSW) auftreten.

Tabelle 2-2: Mittlere monatliche Windgeschwindigkeiten in [m/s] in Abhängigkeit der Windrichtungen (DWD) [9]

	Sektoren in Dekagrad													UML	MITTEL (1)	MITTEL (2)
	35-01	02-04	05-07	08-10	11-13	14-16	17-19	20-22	23-25	26-28	29-31	32-34				
Januar	7,7	8,3	9,2	10,2	10,0	9,8	10,0	10,9	10,7	10,6	8,9	7,6	1,5	9,9	9,9	
Februar	7,0	8,4	8,5	9,8	9,8	8,7	8,6	9,8	10,0	9,3	8,7	7,8	1,4	9,1	9,1	
März	6,5	7,0	8,3	9,1	9,2	7,9	7,6	8,5	8,8	9,2	8,6	7,9	1,1	8,5	8,5	
April	5,8	5,8	7,5	8,1	7,1	6,2	6,7	6,7	7,0	6,5	7,0	7,2	1,3	6,9	6,9	
Mai	5,5	5,4	7,3	7,6	6,8	6,0	5,8	6,3	6,4	6,7	6,7	6,7	1,7	6,5	6,5	
Juni	4,7	4,9	5,9	6,3	6,6	5,8	5,9	6,9	6,5	7,2	7,5	6,5	0,9	6,5	6,5	
Juli	4,8	4,9	5,7	6,2	6,2	5,6	6,1	6,9	6,9	7,4	7,9	6,4	1,2	6,7	6,6	
August	5,3	4,8	5,6	6,4	7,2	6,3	6,8	8,3	7,1	7,8	7,7	6,3	1,2	7,0	7,0	
September	6,2	6,9	7,8	8,8	8,3	7,0	7,3	9,4	8,5	8,9	8,6	7,4	1,3	8,1	8,1	
Oktober	6,9	7,4	7,6	9,1	10,4	8,9	9,0	10,6	10,0	10,5	9,4	7,2	1,1	9,4	9,4	
November	8,2	7,8	8,5	8,9	10,8	9,6	9,9	11,0	9,8	10,0	9,6	8,7	1,1	9,8	9,8	
Dezember	7,8	8,1	8,4	9,8	9,9	9,3	10,1	11,2	10,4	10,1	9,2	8,1	1,6	9,7	9,7	
Jahr	6,0	6,6	7,5	8,3	8,8	7,9	8,2	9,4	8,7	8,5	8,2	7,2	1,3	8,2	8,2	

Die nachfolgende Abbildung 2-12 veranschaulicht die Eintrittshäufigkeit der Windrichtungen in den vergangenen 25 Jahren gemäß Langzeitstatistik 1985 - 2009. Darin ist ebenfalls der dominierende Einfluss der Winde aus westlichen Richtungen deutlich erkennbar.

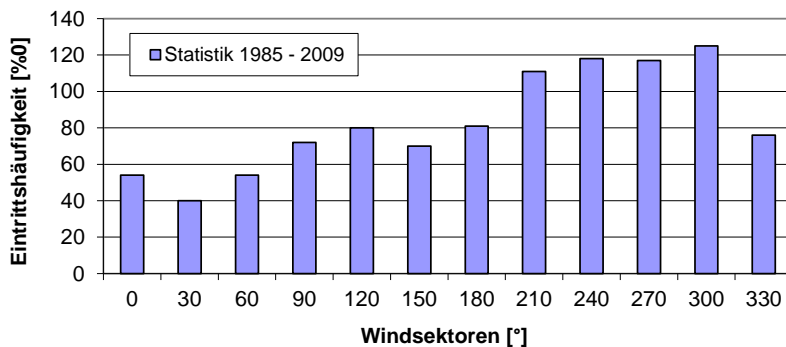


Abbildung 2-12: Eintrittshäufigkeit der Windrichtungen für einen Zeitraum von 25 Jahren für die Station Helgoland

Aus den beim DWD angeforderten Daten der Langzeitstatistik lassen sich aus den mittleren monatlichen Windgeschwindigkeiten entsprechende Darstellungen der Häufigkeit bzw. Summenhäufigkeit ableiten, die in der folgenden Abbildung 2-13 dargestellt werden. Für weitere Details wird auf die Daten in Anlage 3.5 verwiesen.

² Seit 1873 werden auf Helgoland Wetterbeobachtungen durchgeführt. 2009 wurde die Wetterwarte Helgoland als Klimareferenzstation benannt als eine von insgesamt 12 in Deutschland, um zukünftig den Klimawandel mit entsprechenden Messdaten und Analysen dokumentieren zu können.

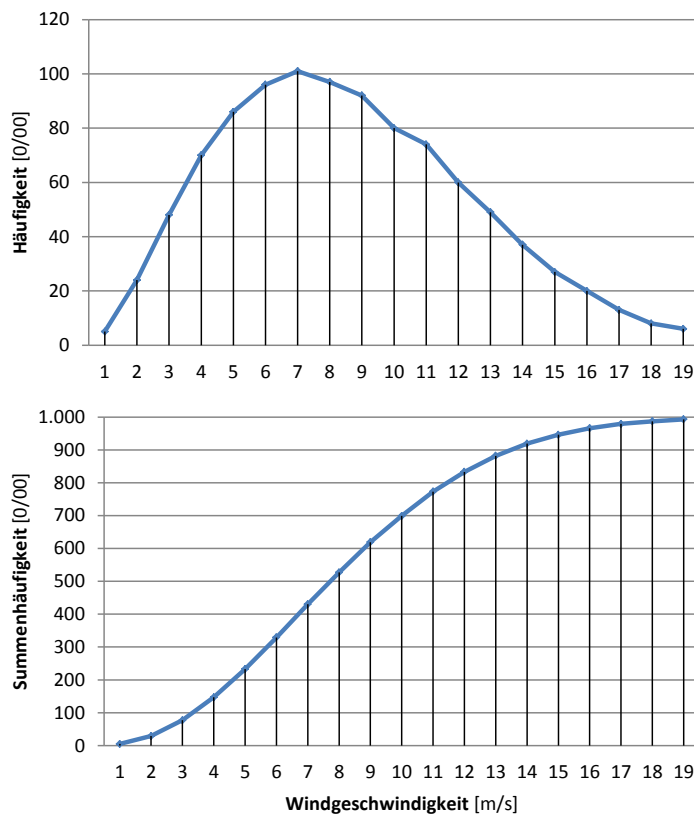


Abbildung 2-13: Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeiten in 25 Jahren (1985 – 2009) nach DWD als Einzelhäufigkeit (oben) und als Summenhäufigkeit (unten)

In der folgenden Abbildung 2-14 werden die bei [18] verfügbaren Informationen zu den mittleren Windverhältnissen auf Helgoland dargestellt.

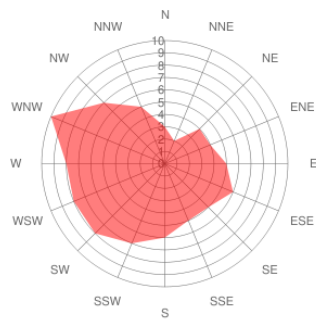
Helgoland (HELGOLD)

Statistiken basieren auf Messwerten zwischen 6/1999 - 5/2011 täglich von 7:00 bis 19:00 lokaler Zeit.

Monat des Jahres	Jan 01	Feb 02	Mär 03	Apr 04	Mai 05	Jun 06	Jul 07	Aug 08	Sep 09	Okt 10	Nov 11	Dez 12	GES 1-12
Vorherrschende <i>Windrichtung</i>	↖	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↖	↖	↖	↗
Wind-Wahrscheinlichkeit >= 4 Beaufort (%)	84	81	80	65	63	62	66	66	77	85	88	83	75
Durchschnitt <i>Windgeschwindigkeit</i> (Knots)	19	19	18	14	13	14	15	14	17	20	21	20	17
Durchschnittl. Lufttemp. (°C)	4	3	5	8	12	15	18	18	16	12	9	5	10
Wähle Monat (Hilfe)	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahre

Wind dir. distribution Helgoland all year

© windfinder.com



Wind direction Verteilung (%)

Abbildung 2-14: Windstatistik für Helgoland [18]

Für weitere Informationen zu Windbedingungen in der Nordsee und der Deutschen beucht wird auf Anlage 3.2 verwiesen.

2.2.6 Klimadaten

Auf Helgoland herrscht ein Hochseeklima.

Die Klimaparameter Temperatur und Niederschlag von Helgoland sind in der folgenden Abbildung 2-15 als Monatsmittelwerte über das Jahr dargestellt. Die exponierte Lage in der Deutschen Bucht sorgt für einen gemäßigten Temperaturverlauf. Die mittleren Jahresniederschläge auf Helgoland liegen etwas unter dem Durchschnitt von rund 750 mm.

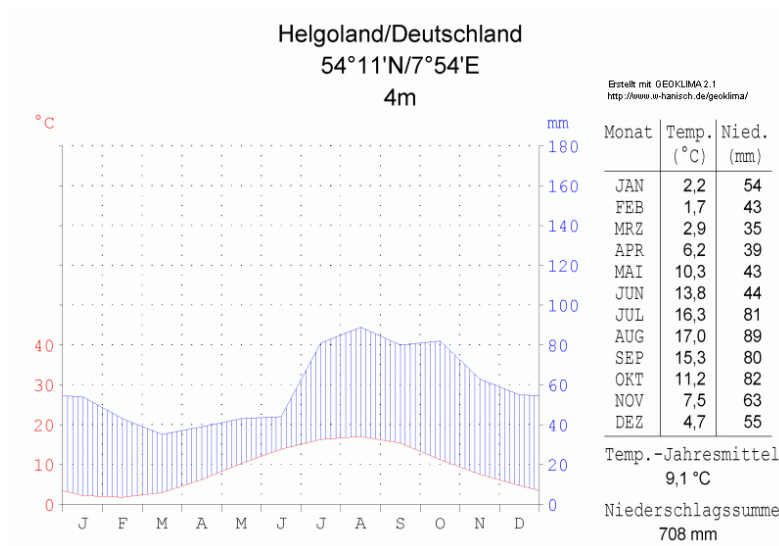


Abbildung 2-15: Klimadaten Helgoland (Quelle: NN)

Für weitere Klimadaten wird auf die beim DWD [8] frei zugänglichen Klimadaten der Station Helgoland verwiesen. Dort sind die Klimadaten im sogenannten KL-Standardformat verfügbar und können auch als Tageswerte in dem folgenden Format ab 1991 abgerufen werden:

```
STAT JJJMMDD QN  TG  TN  TM  TX  RFM  FM  FX  SO  NM  RR  PM
-----
10015 20100208 1  -6.2 -6.6 -4.3 -3.4 86.7  4.0 13.2  0.0  8.0  0.0 1016.0
10015 20100207 1  -3.4 -3.6 -1.8 -1.2 91.6  4.0 12.8  0.0  7.6  0.0 1023.7
```

Darin bedeuten:

- Stat Stationsnummer- 10015 für Helgoland sowie
- QN Qualitätsniveau der Daten
- TG Minimum der Temperatur in 5 cm über dem Erdboden [Grad C.]
- TN Minimum der Temperatur in 2 m über dem Erdboden [Grad C.]
- TM Mittel der Temperatur in 2 m über dem Erdboden [Grad C.]
- TX Maximum der Temperatur in 2 m über dem Erdboden [Grad C.]
- RFM Mittel der relativen Feuchte [%]
- FM Mittel der Windstärke [Bft]
- FX Maximum der Windgeschwindigkeit (Spitzenböe) [m/sec]
- SO Summe der Sonnenscheindauer [Stunden]
- NM Mittel des Bedeckungsgrades [Achtel]
- RR Niederschlagshöhe [mm]
- PM Mittel des Luftdruckes in Stationshöhe [hpa]

Die Tagesdaten der o.g. Parameter sind ab 1991 digital in Anlage 18 gespeichert. Für weitere Details wird auf den Internetauftritt des DWD [8] verwiesen.

2.3 Kurzer Abriss zur Entwicklung der Helgoländer Häfen

Die Geschichte Helgolands ist eng mit der Entstehung der Helgoländer Häfen verbunden. Gleichzeitig spiegelt sich in den entstehenden Hafenanlagen die Entwicklung der Hafentechnik wieder. Helgoland verfügt heute insgesamt über fünf Häfen (vgl. Abbildung 2-1) mit zugehörigen Anlagen, die alle eine unterschiedliche Geschichte, Bauweise und Nutzung besitzen. Historisch betrachtet stellen die Zerstörungen der Hafenanlagen während und nach dem 2. Weltkrieg einen großen Einschnitt dar. Für ausführliche Erläuterungen zur Geschichte der Helgoländer Häfen, der Entwicklung des Hafenaufbaus im Allgemeinen und der Bauweise der Molen und Kajen auf Helgoland im Besonderen wird auf die einzelnen Ausarbeitungen von Thiemann, Röben, Schindler und Lindemann in [14] sowie Ullrich und Wüster [2] verwiesen. Die folgende Abbildung 2-16 veranschaulicht die Entwicklung der Hafenanlagen bis 1943.

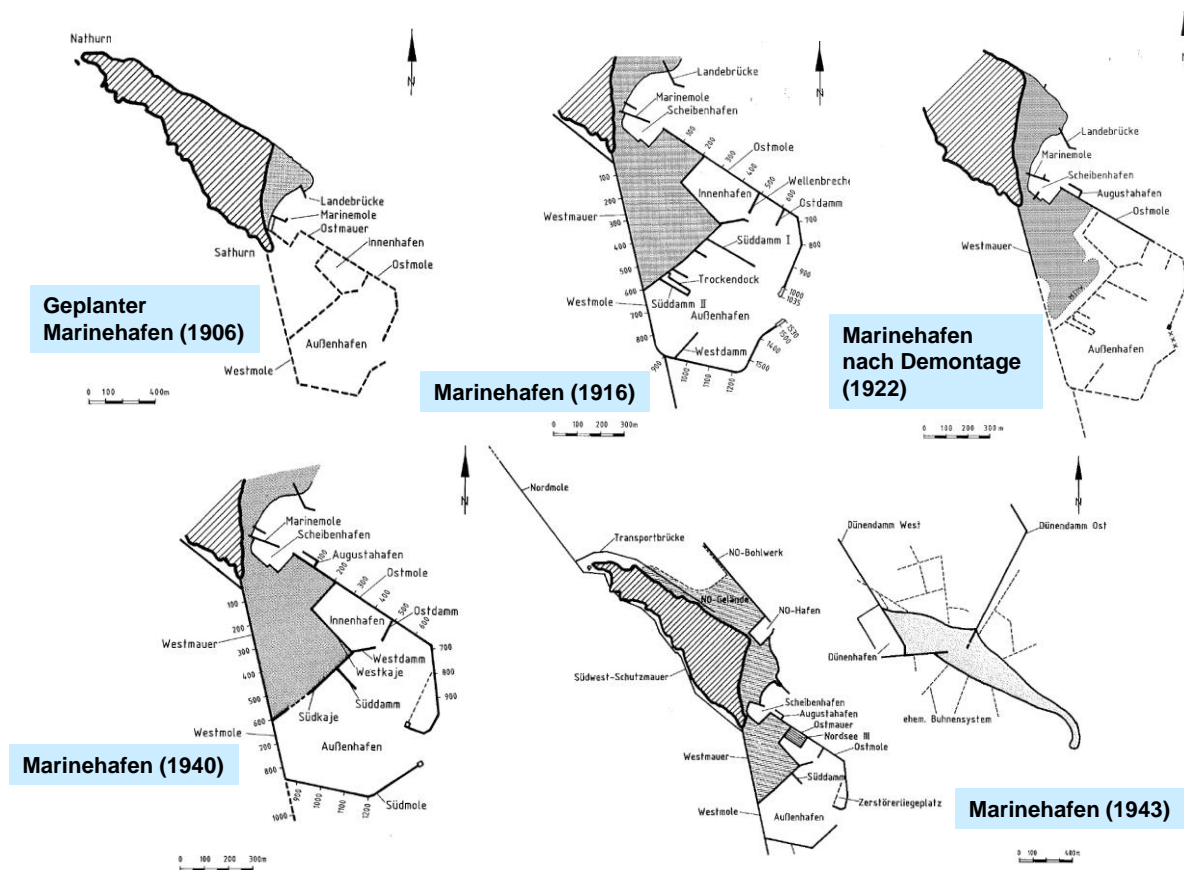


Abbildung 2-16: Entwicklung der Helgoländer Häfen bis zum 2. Weltkrieg nach [14]

Die erste Landungsbrücke entstand im Jahre 1872, die allein der Personenanlandung diente und in den Folgejahren weiter ertüchtigt und erweitert wurde. Fischerboote wurden in dieser Zeit noch auf den Südstrand gezogen. Die erste Hafenumschlagsanlage entstand 1892 als Mole (70 m lang und 6 m breit, später Marinemole genannt) nahe der südlichen Inselfspitze (Sathurn). Der erste Ausbau zum Marinehafen erfolgte in den Jahren 1906 bis 1918 (Ende des 1. Weltkrieges). Nach der teilweisen Demontage in den 1920er Jahren erfolgte der Wiederaufbau des Marinehafens vor bzw. während des 2. Weltkrieges (vgl. Abbildung 2-16). Im Zuge der Sprengung der Insel am 18.04.1947 und den nachfolgenden Bombenabwürfen bis Ende Februar 1952 wurden sämtliche Hafenanlagen auf Helgoland zerstört. Ab März 1952 erfolgte der erneute zweite Wiederaufbau der Hafenanlagen in der heute bekannten Geometrie (vgl. auch Plan 90144-S-Ü-03).

2.4 Hydraulische Prozesse und Phänomene im Helgoländer Vorhafen

2.4.1 Übersicht Vorhafen Helgoland

Der Vorhafen Helgoland besteht hinsichtlich der Geometrie und Anordnung der Molenbauwerke seit rund 90 Jahren (vgl. Abbildung 2-16). Der Bauweise der Molen geschuldet, entstand mit dem Vorhafen ein Hafenbecken mit

- überwiegend senkrechten Wänden als Berandung, was die Reflexion von lokal erzeugten und einlaufenden Wellen fördert,
- einer relativ großen Wasserfläche, was die Erzeugung lokaler Wellen zulässt, und
- einer relativ breiten Hafeneinfahrt (Breite rund 135 m), was die Möglichkeit für das Einlaufen von Seegängen in den Vorhafen erhöht.

Die folgende Abbildung 2-17 verdeutlicht die derzeitige Situation und baulichen Gegebenheiten im Helgoländer Vorhafen.



Abbildung 2-17: Vorhafen Helgoland – Übersichtsplan als Ausschnitt der Seekarte [6] (links) und Fotodarstellung (rechts, Google Earth)

Im folgenden Abschnitt wird auf die hydraulischen Prozesse näher eingegangen, die in dem Vorhafen in Abhängigkeit der hydraulischen und meteorologischen Randbedingungen auftreten.

2.4.2 Hydraulische Prozesse im Vorhafen Helgoland

Grundsätzlich sind die folgenden hydraulischen Prozesse ursächlich für Wellenbelastungen im Helgoländer Vorhafen:

- Lokal erzeugter Seegang (Windwellen)
- Seegang läuft aus der Nordsee in den Vorhafen
 Dieses Phänomen wird im Rahmen der Auswertung weiter untersucht
- Hafenresonanz verursacht zwischen der Nordsee und dem Vorhafen
- Wellenreflexionen innerhalb des Vorhafens.

In der Summe können sich alle genannten Prozesse zu einem komplexen Wellenbild überlagern, welches sich innerhalb des Vorhafens jedoch unterschiedlich zeigt. Nachfolgend werden die einzelnen Prozesse noch weiter erläutert.

Lokal erzeugter Seegang (Windwellen)

Aufgrund der relativ großen Wasserfläche des Vorhafens und der relativ langen Streichlänge von maximal 750 m erzeugen die herrschenden Windverhältnisse insbesondere aus südwestlichen Richtungen lokalen Seegang im Vorhafen. Hierbei spielt auch der Tideeinfluss eine Rolle, welcher die Streichlänge insbesondere im westlichen Vorhafen bei Tidehochwasser vergrößert und bei Tideniedrigwasser verringert.

Aufgrund der relativ kurzen maximalen Streichlänge innerhalb des Vorhafens liegt die Größenordnung der Wellenhöhe des lokal erzeugten Seegangs im Bereich weniger Dezimeter. Auf die bereits in Abschnitt 2.2.3 dargestellten Abhängigkeiten bei der Seegangsgenerierung wie in Abbildung 2-10 wird verwiesen. Eine Abschätzung des zu erwartenden Seegangs im Vorhafen mittels Seegangsvorhersageverfahren nach [19] bestätigt diese Aussage, dass der lokal erzeugte Seegang in der Größenordnung von 0,2 m bis 0,3 m liegt (vgl. Tabelle 2-3).

Tabelle 2-3: Abschätzung der Parameter des lokal erzeugten Seeganges im Vorhafen mittel Seegangsvorhersageverfahren nach dem SPM (1984) [19]

	INPUT			OUTPUT	
Fetch Length F	750,00	[m]	Wave Height Hs	0,28	[m]
Wind-stress factor UA	20,00	[m/s]	Wave Period T	1,50	[s]
Constant depth d	5,00	[m]			

Seegang läuft aus der Nordsee in den Vorhafen

Der Wind erzeugt die Windwellen an der Wasseroberfläche. Mit jeder Richtungsänderung des Windes ändern sich mit entsprechender Verzögerung auch die Wellenlaufrichtungen. Überlagernde Dünungswellen, erzeugt außerhalb des Seegebietes, können gegenüber den Windwellen unterschiedliche Wellenlaufrichtungen haben. Lokal kommt es zu Überlagerung beider Wellenarten (vgl. Ausführungen in Abschnitt 2.2.3).

Wenn die Wellen mit ihrer Anlaufrichtung schräg oder senkrecht auf die Öffnung der Hafeneinfahrt treffen, dies ist für Wellenlaufrichtungen zwischen NNO und SSW der Fall, kann der Seegang (Windwellen und Dünung) direkt durch die Hafeneinfahrt (mit begleitenden Diffraktions- und Refraktionseffekten) in den Vorhafen einlaufen. Insbe-

sondere im westlichen Teil des Vorhafens (westlich des Süddammes) besteht dann extreme Hafenukraine, die den Umschlag beeinträchtigen kann.

Aus hydraulischer Sicht kann die Hafeneinfahrt als einfache Wellenbrecheröffnung betrachtet werden. Innerhalb des Vorhafens bilden sich dann infolge Diffraktions- und Refraktionseffekten differenzierte Seegangsbedingungen ein. Das Memo 901144-05 in Anlage 4 stellt diese Diffraktionseffekte für eine einfache Wellenbrecheröffnung bei schrägem und senkrechtem Wellenangriff nach CEM (2001) [20] zusammen.

Maximale Seegangsbelastungen sind bei einem möglichst senkrechten Wellenangriff aus ost-südöstlicher Richtung (OSO) zu erwarten, wenn der Seegang genau senkrecht auf die Hafeneinfahrt trifft und in den Vorhafen einläuft. Um die Wellenukraine im Vorhafen vorabzuschätzen, wird nachfolgend zunächst die hydraulisch maßgebende relative Hafeneinfahrtsbreite für Seegangsbedingungen aus OSO abgeleitet. Dabei werden folgende Seegangsdaten berücksichtigt:

- **Wellendaten des BSH, Wellenboje Helgoland**

Gemäß Seegangsstatistik der Wellenhöhen an der Wellenboje des BSH aus den Jahren 2009 und 2010 gemäß Anlage 3.3 treten aus Richtung OSO kommend maximale signifikante Wellenhöhen zwischen 2 m und 3 m auf. Diesem Seegang zuzuordnende Wellenperioden liegen gemäß Abbildung 2-18 zwischen 4 s und 6,5 s.

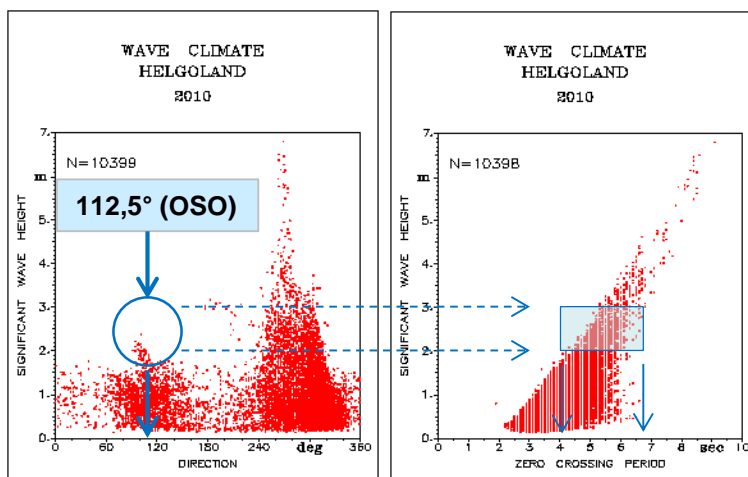


Abbildung 2-18: Abschätzung der Wellenparameter an der Hafeneinfahrt bei einer Wellenangriffsrichtung aus OSO nach Messungen des BSH aus 2010 (vgl. Anlage 3.3)

- **Modellrechnungen der BAW**

Aus den Modellrechnungen der BAW [3], vgl. Anlage 3.4, ist aus Richtung OSO ebenfalls mit einer Wellenhöhe von maximal 3 m zu rechnen, was den o. g. Messdaten entspricht.

Um die Wellenhöhenverteilung infolge Diffraction innerhalb des Vorhafens zu beschreiben, muss die relative Einfahrtsbreite B/L (Einfahrtsbreite Vorhafen von 135 m / Wellenlänge [m]) bestimmt werden. So ergibt sich in Tabelle 2-4, dass die relative Einfahrtsbreite entsprechend der recherchierten Wellenparameter zwischen $B/L = 2$ (bei Wellenhöhen H_s von 3 m) und $B/L = 5$ (bei Wellenhöhen $H_s = 2$ m) variiert.

Tabelle 2-4: Ermittlung der relativen Einfahrtsbreite B/L

Wellenhöhe H_s [m]	2,0	2,5	3,0
Wellenperiode T [s]	4 – 5	5 - 6	5,5 – 6,5
Wellenlänge L [m]	25 - 40	40 - 60	48 – 66
relative Breite der Hafeneinfahrt B/L [1]	5 - 3	3 - 2	3 - 2

In der folgenden Abbildung 2-19 werden die Diffraktionsdiagramme nach [20] verwendet, um den Seegang infolge Windwellen und Dünung im Vorhafen unter Verwendung der ermittelten Seegangparameter (vgl. Tabelle 2-4) zu beschreiben, indem die Vorhafengeometrie in die Diagramme übernommen wird. Aus den Diagrammen für Windwellen und Dünung können direkt die Übertragungsfaktoren für die Wellenperiode (links im Diagramm) und die Wellenhöhe (jeweils rechts im Diagramm) abgelesen werden.

Auf diese Weise ist aus Abbildung 2-19 zu erkennen, dass im Bereich der Südkaje

- die Dünungswellen tendenziell höher sein können als die Windwellen,
- bei Windwellen (oberen beiden Diagramme in Abbildung 2-19) zwischen 40 % und 50 % der Wellenhöhe im Bereich der Hafeneinfahrt ankommt und demnach maximale Wellenhöhen zu erwarten sind in der Größenordnung von 0,8 m ($B/L = 5: 2,0 \text{ m} \times 0,4$) bis 1,2 m ($B/L = 2: 3,0 \text{ m} \times 0,4$),
- bei Dünungswellen (unteren beiden Diagramme in Abbildung 2-19) zwischen 50 % und 60 % der Wellenhöhe im Bereich der Hafeneinfahrt ankommt und demnach maximale Wellenhöhen zu erwarten sind in der Größenordnung von 1,2 m ($B/L = 5: 2,0 \text{ m} \times 0,6$) bis 1,6 m ($B/L = 2: 3,0 \text{ m} \times 0,55$).

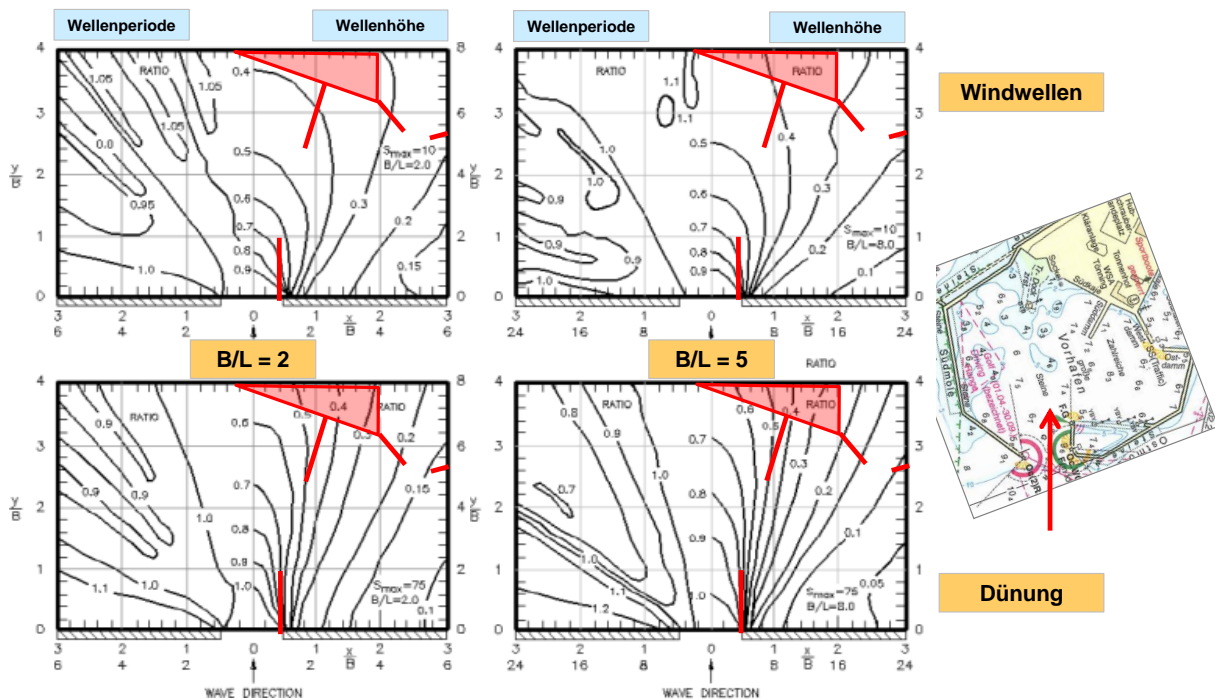


Abbildung 2-19: Diffraktionsdiagramme für $B/L = 2$ (linke Hälfte) und $B/L = 5$ (rechte Hälfte) für Windwellen (obere Hälfte) und Dünung (untere Hälfte) nach [20] mit grober Kennzeichnung der Vorhafengeometrie

Zusammenfassend ist festzustellen, dass im Bereich der Südkaje (westlich des Süddammes) infolge des einlaufenden Seegangs (Windwellen und Dünung) bei angenommenen ungünstigen Seegangsbedingungen Wellen in der Größenordnung maximal zwischen 0,8 m bis 1,6 m zu erwarten sind. Dafür ist maßgeblich die sehr breite Hafeneinfahrt verantwortlich.

Dieses Phänomen des einlaufenden Seeganges wird im Rahmen der Auswertung der Messdaten weiter untersucht.

Hafenresonanz verursacht zwischen der Nordsee und dem Vorhafen

Im Helgoländer Vorhafen treten langperiodische Schwingungen auf, die auch von dem Betriebspegel Südhafen aufgezeichnet werden. Beispielhaft werden in der folgenden Abbildung 2-20 die Minutenwerte des gemessenen Wasserstandes am Pegel Südhafen für den Tidehochwasserscheitel am 07./08.01.2011 dargestellt. Deutlich sind die Schwingungen hier mit einer Amplitude von 10 cm bis 15 cm zu erkennen. Das bloße Abzählen der stündlichen Schwingungen lässt auf eine Periode von 3,5 bis 4 Minuten (entsprechend 210 s bis 240 s) schließen.

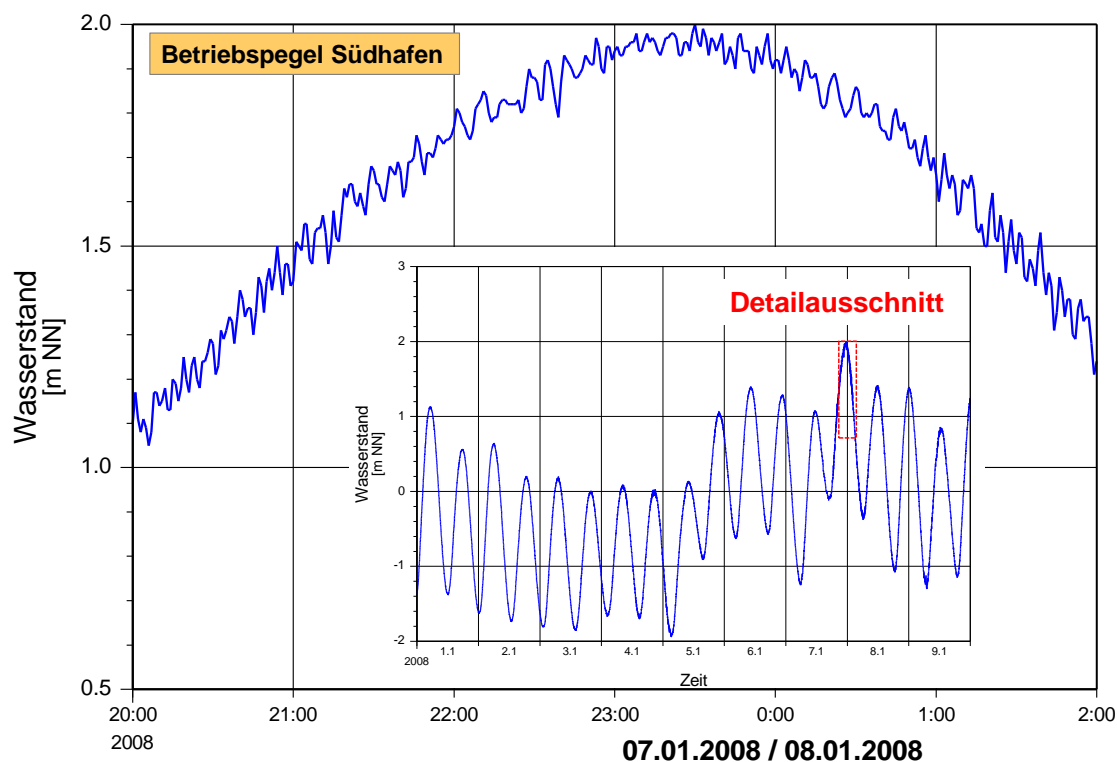


Abbildung 2-20: Beispielhafte Darstellung der langperiodischen Schwingungen anhand eines Detailausschnittes der Messdaten des Pegels Helgoland Südhafen am 07./08.01.2008 [11]

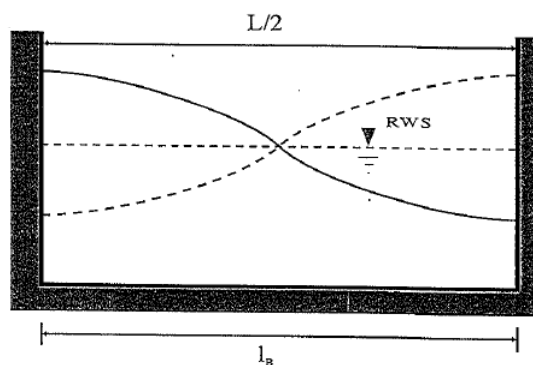
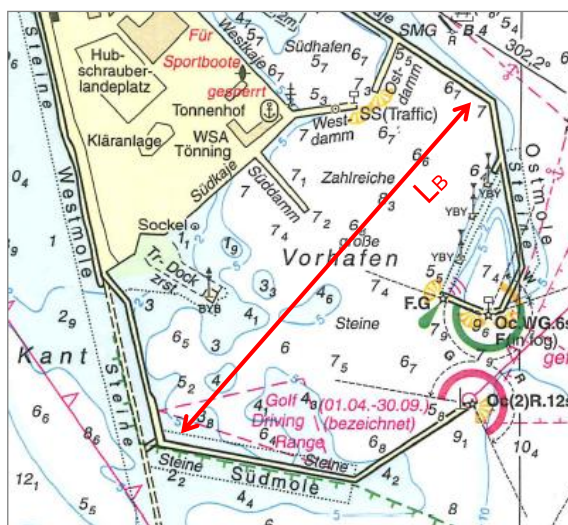
Das Auftreten derartiger langperiodischer Schwingungen ist charakteristisch für einen Hochseehafen und kommt auch in zahlreichen anderen Seehäfen vor. Neben den hydraulischen Randbedingungen sind es insbesondere die topografischen und baulichen Gegebenheiten des Vorhafens, die für diese Schwingungen als ursächlich zu bezeichnen sind.

Die BAW hat sich in [4] gutachterlich intensiv mit der Entstehung und Beschreibung dieses Phänomens der langperiodischen Schwingungen beschäftigt. Demnach sind lang-

periodische Schwingungen bis zu einer Höhe von 0,35 m und einer Periode von ca. 225 s gemessen worden. Die BAW [4] fasst die Ergebnisse dazu wie folgt zusammen:

- „Der Entstehungsmechanismus der Schwingungsbewegungen kann auf das Resonanzverhalten der Helgoländer Reede und des Vorhafens zurückgeführt werden.“
- „Die Anregung zu diesen relativ langperiodischen Resonanzschwingungen wird den Grundwellen der Gruppenbewegung der Wellen zugeordnet.“
- Die Resonanzperioden im Vorhafen variieren je nach Anlaufrichtung und Wasserstand.
- Im Vorhafen tritt eine Resonanzperiode von 226 s auf.
- Zwischen Modelsporn (östliche Seite der Einfahrt) und dem Süddamm treten schwingungsbedingte Strömungsgeschwindigkeiten von maximal 0,8 m/s auf.

Die Größenordnung der angegebenen Resonanzperiode kann rechnerisch vereinfacht nachgewiesen werden, wenn von einem geschlossenen Hafenbecken ausgegangen wird (vgl. Abbildung 2-21). Bei Annahme einer mittleren Wassertiefe h im Vorhafen von 5 m und einer Wellenfortschrittsgeschwindigkeit $c = \sqrt{g h}$ ergibt sich eine Resonanzperiode von 214 s.



geschlossenes Hafenbecken:

$$\text{Aus } l_B = \frac{L}{2} \text{ und } c = \frac{L}{T} \text{ folgt: } T_N = \frac{2 \cdot l_B}{c}$$

Abbildung 2-21: Resonanz im Helgoländer Vorhafen nach [21]

Wellenreflexionen innerhalb des Vorhafens

Die senkrechten Wände des Vorhafens reflektieren die Wellen innerhalb des Vorhafens. Einmal eingefangen verlieren die Wellen nur schwerlich ihre Energie und werden mehrfach reflektiert an den verschiedenen Bauwerksteilen.

Je nach Zusammenspiel aus hydraulischen Randbedingungen, Präsenz der o.g. Phänomene und auftretender Windverhältnisse bilden sich die Wellenreflexionen im Vorhafen unterschiedlich stark aus. Bei Niedrigwasserbedingungen besteht eher die Möglichkeit als bei Hochwasser, dass die Wellen und deren Energie aus vorhandenen Wellenreflexionen an den Molen, den Untiefen und der Morphologie zu dissipiert werden.

2.4.3 Übersicht von Untersuchungen und Empfehlungen zur Minderung der Wellenbelastungen im Vorhafen

Seegang (Windwellen und Dünung)

Erste Untersuchungen zur Minderung der Wellenbelastungen im Vorhafen wurden bereits 1954 vom Franzius Institut [12] zusammen mit kleinmaßstäblichen Modellversuchen im Maßstab 1:75 durchgeführt (vgl. [2], Abschnitt 4.2.4.4.1). Folgende Varianten sind nach [2] untersucht worden:

- Neue NO-Einfahrt in der Ostmole mit einer Einfahrtsbreite von 60 m bzw. 100 m nördlich des Knickpunktes der Ostmole und Schließung der SO-Einfahrt
- Neue NO-Einfahrt in der Ostmole mit einer Einfahrtsbreite von 60 m bzw. 100 m südlich des Knickpunktes der Ostmole und Schließung der SO-Einfahrt
- Untersuchung verschiedener Molenformen und Einfahrtsbreiten für die bestehende SO-Einfahrt
- Einschnürung des östlichen Vorhafenteils
- Untersuchung weiter Ausbauzustände unter Berücksichtigung der Schäden aus der Sturmflut vom 16.01.1954

Probleme bei den Untersuchungen bestanden in der Modelltechnik, d.h. in der Generierung realistischer Seegangbelastungen. Aus diesem Grunde zeigen die Untersuchungen qualitative Ergebnisse und Tendenzen auf, aber keine quantitativen Erkenntnisse. Die Untersuchungen des Franzius Institutes sowie deren Ergebnisse sind als Textauszug von [2] als Anlage 5 dem Bericht beigelegt.

Die Untersuchungsvarianten für eine neue NO-Einfahrt wurden wegen der damit verbundenen nicht tolerierbaren Hafenumruhe nicht weiter behandelt.

Nach [2] kommen die zahlreichen Untersuchungen des Franzius Institutes zum Ergebnis, dass der größte Effekt zur Dämpfung der in den Vorhafen einlaufenden Wellen durch den Bau von Böschungen an der West- und Südmole erreicht werden kann.

Langperiodische Schwingungen

Die BAW [4] kommt in dem Gutachten zu der Empfehlung, dass im Falle einer Einengung der Hafeneinfahrt auf ca. 93 m die auftretenden Schwingungserscheinungen im Vorhafen und Südhafen verringert werden können. Dies kann ggf. auch durch die Verlängerung des Süddammes um 157 m erreicht werden.

Darüber hinaus wird die reflexionsarme Gestaltung des Innenbereiches des Vorhafens empfohlen.

2.5 Schiffsverkehr und Frachtumschlag

2.5.1 Allgemeines

Die Insel Helgoland wird sowohl von Seebäderschiffen als auch von Frachtschiffen regelmäßig angelaufen. Beim Frachtumschlag kann zwischen dem Umschlag von Stückgütern zur Ver- und Entsorgung der Insel (Umschlag etwa zweimal die Woche im Binnenhafen) und dem Massengutumschlag an der Südkaje differenziert werden.

2.5.2 Schiffe für den Frachtumschlag

Der Frachtumschlag wird derzeit im Wesentlichen an der Binnenhafenmole im Binnenhafen durchgeführt. Die Versorgung der Insel erfolgt durch das Mehrzweckstückgutschiff *MS Helgoland*, ein typisches Küstenmotorschiff älterer Bauart. Die Entsorgung erfolgt ebenfalls durch ein Küstenmotorschiff, der *Björn m*. Die technischen Daten der Schiffe sind nachfolgender Tabelle 2-5 zu entnehmen.

Für den Umschlag von Schüttgütern und Baustoffen, der an der Südkaje im Vorhafen erfolgt, wird ebenfalls das Mehrzweckschiff *Björn m* oder die *MS Jütland* (siehe Tabelle 2-5) eingesetzt.

Tabelle 2-5: Übersicht der eingesetzten Küstenmotorschiffe für den Güterverkehr

Schiffsname	Eigner/Heimathafen	
MS Helgoland	Karl Meyer AG / Cuxhaven	
Technische Daten Tragfähigkeit: 485 t Länge: 45,5 m Breite: 7,50 m Tiefgang: 2,90 m Bedienung: ganzjährig		
MS Björn M	Karl Meyer AG / Wischhafen	
Technische Daten Tragfähigkeit: 450 t Länge: 47,6 m Breite: 8,50 m Tiefgang: 2,70 m Bedienung: ganzjährig		
MS Juetland	Karl Meyer AG	
Technische Daten Länge: 77 m Breite: 11,0 m		

g:\dat\prj\144_helgoland\08_plan-erg\82_berichte\90144-03_bericht_naturmessungen.docm, F 8-10

2.5.3 Heutige Situation der Umschlagstechnik

Der Umschlag auf Helgoland zur Ver- und Entsorgung erfolgt zurzeit als Stückgut mit dem klassischen Verfahren des *Lift-on/Lift-off*. Als Hebezeug stehen mehrere Hafenkranne zur Verfügung.



Abbildung 2-22: Kümo *Björn m* beim Frachtumschlag am 21. Juni 2009 in Helgoland

Abbildung 2-22 zeigt den Kümo *Björn m* beim Frachtumschlag Juni 2009 auf Helgoland. Die für die Versorgung der Insel notwendigen Waren werden zum Teil auf Paletten angeliefert und direkt mittels Palettengabeln in die Schiffe umgeschlagen (siehe Abbildung 2-23).



Abbildung 2-23: Palettengabel (rechts) zur Bestückung des Laderaums mit palettierten Stückgüter (links)

Kleinteiligere Stückgüter werden in sog. kleine Seecontainer (auch Cux-Container genannt) verpackt und ebenfalls mit Hebezeugen umgeschlagen, siehe Abbildung 2-24).



Abbildung 2-24: Verpackung kleinteiliger Stückgüter in Containerboxen (sogenannte „Cux-Container“ oder „Seecontainer“)

2.5.4 Problemstellung der bisherigen Umschlagstechnik

Die heute angewandte Umschlagstechnik hat folgende Nachteile:

- Sie ist relativ zeitaufwendig, personal- und kostenintensiv.
- Bei Seegang bzw. Schwell, also bei sich bewegendem Schiff, besteht erhöhte Unfallgefahr für das Personal.

Für weitere Details wird auf [1] verwiesen.

2.5.5 Vorhandene Hinweise zu Nutzungseinschränkungen

Folgende Hinweise konnten zusammengetragen werden:

- Bisher konnte der Frachtumschlag stets wie geplant durchgeführt werden.
- Einen Abbruch des Frachtumschlages im Binnenhafen oder an der Südkaje gab es nach vorliegenden Informationen bisher nicht.
- Nach Auskunft der Fa. Karl-Meyer bestehen bei Windrichtungen aus SO bis SW und Windstärken ab 4 Beaufort Seegangsbedingungen im Vorhafen, die zu Nutzungseinschränkungen beim Frachtumschlag führen können.

3 Messkampagne auf Helgoland

3.1 Konkretisierte Aufgabenstellung für die Naturmessungen

In dem Abschnitt 2 wurde eine ausführliche Revierübersicht zusammen mit einer Beschreibung der vorherrschenden Prozesse im Helgoländer Vorhafen gegeben. Letztlich sind es die Windverhältnisse, die den Seegang wasseroberflächennah erzeugen und bei Windrichtungsänderungen auch die Wellenanlaufrichtung verändern. Dieser Seegang (Windwellen und Dünung) kann dann bei entsprechender Wellenanlaufrichtung in den Vorhafen einlaufen und dort in Überlagerung mit anderen Prozessen (lokal erzeugter Seegang, Hafenresonanz und Wellenreflexion) und in Abhängigkeit der Tidebewegung für ein komplexes Wellenbild sorgen.

In Abschnitt 2 wurde bereits eine Voreinschätzung der für die Wellenunruhe im Vorhafen und an der Südkaje ursächlichen Prozesse gegeben:

- Lokal erzeugter Seegang (Windwellen)
Größenordnung: 0,2 m bis 0,3 m
- Seegang läuft aus der Nordsee in den Vorhafen
Größenordnung: 0,8 m bis 1,6 m
- Hafenresonanz verursacht zwischen der Nordsee und dem Vorhafen
Größenordnung: bis zu 0,35 m
- Wellenreflexionen innerhalb des Vorhafens:

Um belastbare Messdaten der Wellenunruhe im Vorhafen zu gewinnen, die Prozesse im Vorhafen zu verstehen und um letztlich auch die Voreinschätzung zu verifizieren, wurden Messungen der Wasserspiegelauslenkungen im Helgoländer Vorhafen durchgeführt. Diese Messungen wurden offiziell über ein Kalenderjahr von Februar 2010 bis Januar 2011 und insgesamt über 16 Monate bis Mai 2011 durchgeführt.

Auf der Grundlage der messtechnisch erfassten und analysierten Wasserspiegelauslenkungen ist dann auch die Frage nach witterungsbedingten Nutzungseinschränkungen zu beantworten, d.h. welche Schiffe und welche Umschlagstechnik unter Berücksichtigung der lokal vorherrschenden Bedingungen sinnvoll eingesetzt werden können und sollten.

In den folgenden Abschnitten wird auf die eingesetzte Messtechnik und die gewonnenen Messdaten weiter eingegangen.

3.2 Übersicht und Lage der Messlokationen

Die Messkampagne wurde gemeinsam mit der Fa. ARGUS geplant und mit dem Auftraggeber sowie dem WSA Tönning/Außenstelle Helgoland im November 2009 abgestimmt (vgl. Anlage 8). Vor dem Hintergrund der Aufgabenstellung wurde geplant, an zwei Positionen im Vorhafen Messungen der Wasserspiegelauslenkungen vorzunehmen, und zwar konkret

- an der Südkaje
zur Erfassung der Hafenumruhe in dem Bereich des geplanten Hafenumschlages und wegen der unmittelbaren Nähe und Lage zu der Einfahrt in den Vorhafen und
- an der Ostmole
zur Erfassung der Hafenumruhe im östlichen Bereich des Vorhafens.

Die folgende Abbildung 3-1 markiert die beiden Messpositionen.



Abbildung 3-1: Messpositionen an der Südkaje und an der Ostmole

Zusätzlich zu den beiden Messpositionen und zur vertraglich vereinbarten Messkampagne wurde an einer Laterne an der Südkaje eine Videokamera installiert, um in regelmäßigen Zeitabständen ein Foto des westlichen Vorhafens aufzuzeichnen. Diese Zusatzleistung hat sich im Nachhinein als hervorragende Dokumentation der Hafenumruhe aber auch der Schiffsbewegungen im westlichen Vorhafen herausgestellt, welche die Verbindung zwischen reinen Messwerten und dem optischen Eindruck der Hafenumruhe im Vorhafen herstellt und eine entsprechende Einschätzung der Situation ermöglicht.

3.3 Messkonzept und Instrumentierung

Auf Grundlage der bisher durchgeführten Messkampagnen wurde ein robustes und angepasstes Messkonzept für die Messkampagne Helgoland entwickelt, welches in Abbildung 3-2 schematisch dargestellt wird.

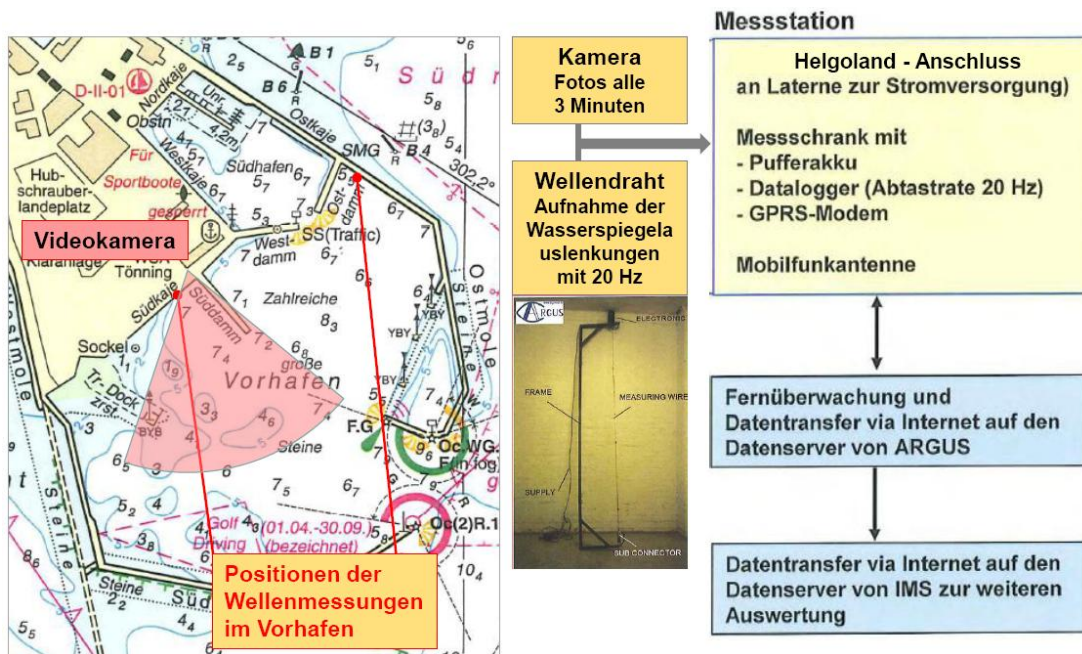


Abbildung 3-2: Messkonzept für die Messkampagne Helgoland

Die Wasserspiegelauslenkungen wurden mit Hilfe von sogenannten Wellendrähnen (kapazitives Messsystem) gemessen, die an den beiden in Abbildung 3-1 markierten Positionen an der Südkaje und an der Ostmole mit Unterstützung des WSA Tönning installiert, betrieben und wieder deinstalliert wurden. Fotos der beiden Messstationen zeigt die Abbildung 3-3. Für weitere Fotos der Messstationen bei der Installation (Januar 2010) und Demontage (Mai 2011) wird auf die Präsentation in Anlage 17 und die Dokumentation der Daten und Auswertung in Anlage 18 verwiesen.

Eine technische Beschreibung des Messsystems Wellendraht ist zusammen mit den verwendeten Kalibrierungen der beiden eingesetzten Wellendrähne als Anlage 9 beigefügt. Die Kalibrierung erfolgte im Vorwege im Südhafen Helgoland während der Installationsarbeiten.

An jeder der beiden Messstationen Südkaje und Ostmole wurden die Messdaten mit Hilfe eines Datenloggers mit einer Abtastrate von 20 Hz erfasst und gespeichert. An der Lokation Südkaje wurde zusätzlich im Takt von drei Minuten ein Foto des westlichen Vorhafens gespeichert. Mittels GPRS-Modem werden die Messdaten und die Fotos an der Südkaje zur Fa. ARGUS nach Ritterhude übertragen und dort das zweite Mal gesichert. Von dort erfolgte der Transfer zu IMS über einen eingerichteten FTP-Server für die weitere Dokumentation und Auswertung. Ein Foto des Innenlebens des Messschrankes zeigt ein Foto in Abbildung 3-3.

Neben der Datenübertragung wurde der Status der Messeinrichtung fernüberwacht, um den Betrieb der Messstation entsprechend zu kontrollieren und zu gewährleisten.

Zur Gewährleistung der Stromversorgung wurde eine elektrische Verbindung zur Laterne hergestellt. Ein Laderegler sorgte dafür, dass die installierte Pufferbatterie nachts wieder aufgeladen wurde.



Abbildung 3-3: Fotos der Messlokationen an der Südkaje (oben) und an der Ostmole (unten)

3.4 Projektablauf und Übersicht verfügbarer Messdaten

Der Projektablauf wird separat mit der Anlage 2 dokumentiert. Dort werden sämtliche projektrelevanten Ereignisse und Hinweise chronologisch aufgelistet.

Mit dem Auftraggeber wurde insgesamt ein Messzeitraum von einem Jahr vereinbart. Auch in der Zeit nach dem offiziellen Messkampagnenende (ab 02/2011) wurden die Messdaten bis zum selbst bestimmten Rückbaudatum der Messgeräte Ende Mai 2011 weiter von Fa. ARGUS erfasst. Auf diese Weise wurden Messdaten über einen Gesamtzeitraum von rund 16 Monaten (480 Tage) aufgezeichnet, die allesamt in diesem vorliegenden Bericht dokumentiert werden.

Insgesamt wurden die Messdaten und Fotos über den Zeitraum der Messkampagne mit dem folgenden Umfang erfasst:

- Messdaten je Wellendraht
Datenvolumen: 80 MB/Tag
gesamter Speicherbedarf: 36 GByte
- Fotos der Kamera an der Südkaje
Datenvolumen: 480 Fotos /Tag
insgesamt ca. 230.000 Fotos
gesamter Speicherbedarf: 6 GByte

Insgesamt nehmen die erfassten Messdaten und Fotos ein Speichervolumen von rund 78 GByte ein.

Neben den gemessenen Wasserspiegelauslenkungen an den beiden Messstationen an der Südkaje und an der Ostmole und den aufgezeichneten Fotos des westlichen Vorhafens wurden folgende hydrologische und meteorologische Messdaten von den jeweiligen Instituten abgefordert und parallel zu Messkampagne aufgezeichnet:

WSA Tönning

- Zeitreihe der Pegeldata Südhafen
- Tidekennwerte vom Pegel Binnenhafen (Anlage 3.1)
- Dokumentation einzelner Seegangereignisse im Vorhafen (Anlage 10).

Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie

- Seegangsdaten Wellenboje Helgoland

Deutscher Wetterdienst

- Zeitreihe der stündlichen Windgeschwindigkeiten und –richtungen für die Station Helgoland
- Langzeitstatistik 1985 – 2009 der Station Helgoland (Anlage 3.5)

3.5 Dokumentation und Darstellung der Messdaten

3.5.1 Allgemeine Hinweise

Nachfolgend wird die Dokumentation der Messdaten vorgenommen. Eine grafische Dokumentation der Messdaten erfolgt aufgrund des Datenumfangs nur auszugsweise.

Die an den Messstationen Südkaje und Ostmole erfassten Messdaten (Wasserspiegelauslenkungen) sind als ASCII-Datensätze in der Anlage 19 – *DVD – Messdaten* tageweise und stationsweise abgelegt.

Alle weiteren Messdaten (Wasserstände, Windmessdaten, Windstatistik etc.) sind in den jeweiligen Formaten in der Anlage 18 – *DVD Daten und Auswertungen* abgelegt.

3.5.2 Zeitreihen der Messdaten

Um einen optimalen Überblick über die Daten der Messkampagne herzustellen, wurden die Messdaten als Zeitreihen

- der Windgeschwindigkeit der Station Helgoland,
- der Windrichtung der Station Helgoland und Wellenanlaufriktion an der Boje Helgolandverhältnisse,
- der Wellenhöhen (Windwellen und Dünung) an der Boje Helgoland zusammen mit dem Tidewasserstand am Pegel Südhafen,
- die Wellenperiode an der Wellenboje,

- mit den analysierten Wellenhöhen an der Messstation Südkaje und Ostmole differenziert entsprechend der erwarteten hydraulischen Prozesse nach
 - Windwellen ($T < 10$ s), bezeichnet als Seegang,
 - Dünung/Schwell (10 s $< T < 50$ s) und
 - langperiodischen Schwingungen (50 s $< T < 300$ s).

systematisch dargestellt. Die folgende Abbildung 3-4 stellt diese Systematik der grafischen Darstellung der Messdaten vor. Sämtliche Messdaten werden kalenderwochenweise in der Anlage 12 von der 1. KW 2010 bis zur 21. KW 2011 dokumentiert. Die synchronisierten Messdaten sind in Anlage 18 als EXCEL-Dateien gespeichert. Auf diese Weise können die Messdaten systematisch analysiert werden.

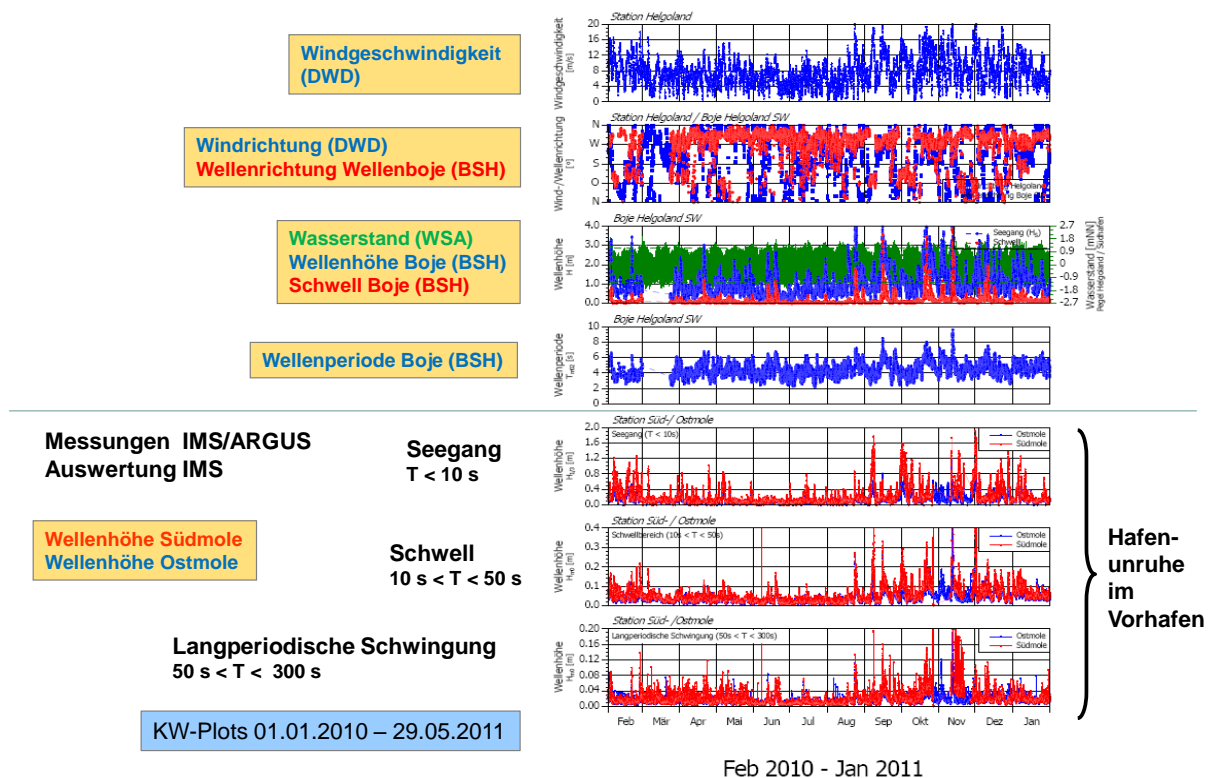


Abbildung 3-4: Systematik in der Darstellung der Messdaten der Messkampagne

3.5.3 Frachtschlag während der Messkampagne

Es ist nicht bekannt, dass im Rahmen der Messkampagne durchgeführte Frachtschläge weder im Binnenhafen noch an der Südkaje zeitlich verschoben oder aufgrund der örtlichen Seegangs- oder Windbedingungen in einen anderen Hafen verlegt werden mussten.

Eine Dokumentation des Frachtschlages erfolgte jedoch nicht.

Aus der Zeitreihe der aufgezeichneten Fotos konnte u.a. für den 07.09.2010 festgestellt werden, dass das Schiff MS Helgoland aufgrund der stürmischen Bedingungen nicht an der westlichen Seite des Süddamms festmachen konnte. Detaillierte Auswertungen zum Schiffsverkehr wurden anhand der aufgezeichneten Fotos jedoch nicht durchgeführt.

3.6 Datenformate

Die mit dem vorliegenden Bericht dokumentierten Daten liegen in unterschiedlichen Formaten vor, wie z.B.

Messdaten

- Messdaten der Messstationen – ASCII-Format
- Fotos der Kamera an der Südkaje – jpg-Dateien.

WSA Tönning

- Zeitreihe der Pegeldata Südhafen – ASCII-Format
- Tidekennwerte vom Pegel Binnenhafen – pdf-Datei (vgl. Anlage 3.1)
- Dokumentation einzelner Seegangsereignisse im Vorhafen – pdf-Datei (vgl. Anlage 10).

Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie

- Seegangsdaten Wellenboje Helgoland – ASCII-Format

Deutscher Wetterdienst

- Zeitreihe der stündlichen Windgeschwindigkeiten und –richtungen für die Station Helgoland – ASCII-Format
- Langzeitstatistik 1985 – 2009 der Station Helgoland – pdf-/EXCEL-Datei (vgl. Anlage 3.5).

3.7 Datenablage

Die Daten in der Anlage 18 und Anlage 19 sind wie folgt abgelegt:

Anlage 18

- Pläne
- Messdaten
- Bilder-Zeitreihen
- Auswertung
- Auswertung-Zeitreihen
- Fotodokumentation.

Anlage 19

- Messdaten/Rohdaten der Messstationen Südkaje und Ostmole sowie Fotos der Kamera

4 Auswertung der Messdaten

4.1 Auswertungskonzept

Die analysierten Wellenhöhen im Vorhafen werden zusammen mit den gesammelten Messdaten Dritter (DWD, BSH und WSA) zeitlich synchronisiert, damit ein synoptischer Datensatz entsteht, der weiter ausgewertet werden kann. Auf diese Weise können die Seegangsbedingungen an den Messstationen systematisch in Beziehung gesetzt und die Einflussparameter statistisch weiter analysiert werden (vgl. Abbildung 4-1). Bei dieser systematischen Analyse der Messdaten wird angelehnt an die Windrose genau untersucht, welche der identifizierten hydraulischen Prozesse für die Beschreibung der Seegangsbedingungen an den beiden Messstationen bei Winden aus verschiedenen Sektoren maßgebend sind.

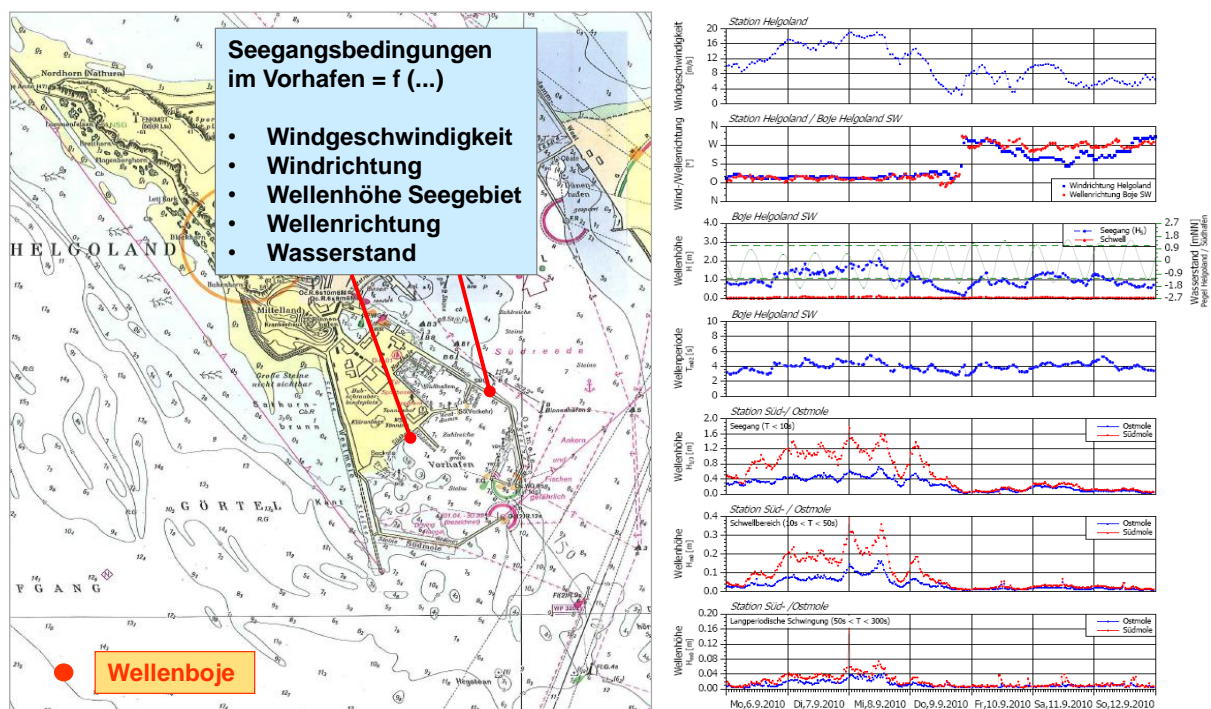


Abbildung 4-1: Schematische Darstellung des Auswertungskonzeptes

4.2 Seegangsauswertung

Die Seegangsauswertung erfolgt in Zeitfenstern von 30 Minuten differenziert entsprechend der erwarteten hydraulischen Prozesse (vgl. Erläuterungen in Abschnitt 2.4.2) nach

- Windwellen ($T < 10$ s), bezeichnet als Seegang,
- Dünung/Schwell ($10 \text{ s} < T < 50$ s) und
- langperiodischen Schwingungen ($50 \text{ s} < T < 300$ s).

Die genaue Vorgehensweise wird in dem Memo 90144-06, welches als Anlage 6 beiliegt, weiter erläutert.

5 Analyse der Messdaten und Darstellung der Ergebnisse

5.1 Windverhältnisse

Die Windverhältnisse (Windstärke und -richtung) stellen die maßgebenden Randbedingungen bei der systematischen Beschreibung der Seegangsbedingungen an den beiden Messstationen Südkaje und Ostmole dar.

Nachfolgend werden zunächst die Windmessdaten in dem festgelegten Auswertefenster von 02/2010 bis 01/2011 eingeordnet, um daraus abzuleiten, ob es sich bei der Messkampagne hinsichtlich der Windverhältnisse statistisch betrachtet um einen repräsentativen Zeitraum gehandelt hat.

Windgeschwindigkeiten

Bei Betrachtung der Windgeschwindigkeiten innerhalb des Messzeitraumes kann im Vergleich zur Langzeitstatistik anhand der Häufigkeitsdarstellungen in Abbildung 5-1 festgestellt werden, dass im Messzeitraum

- Windgeschwindigkeiten zwischen 5 m/s und 9 m/s vergleichsweise häufiger und
- Höhere Windgeschwindigkeiten größer 9 m/s vergleichsweise seltener

aufgezeichnet wurden.

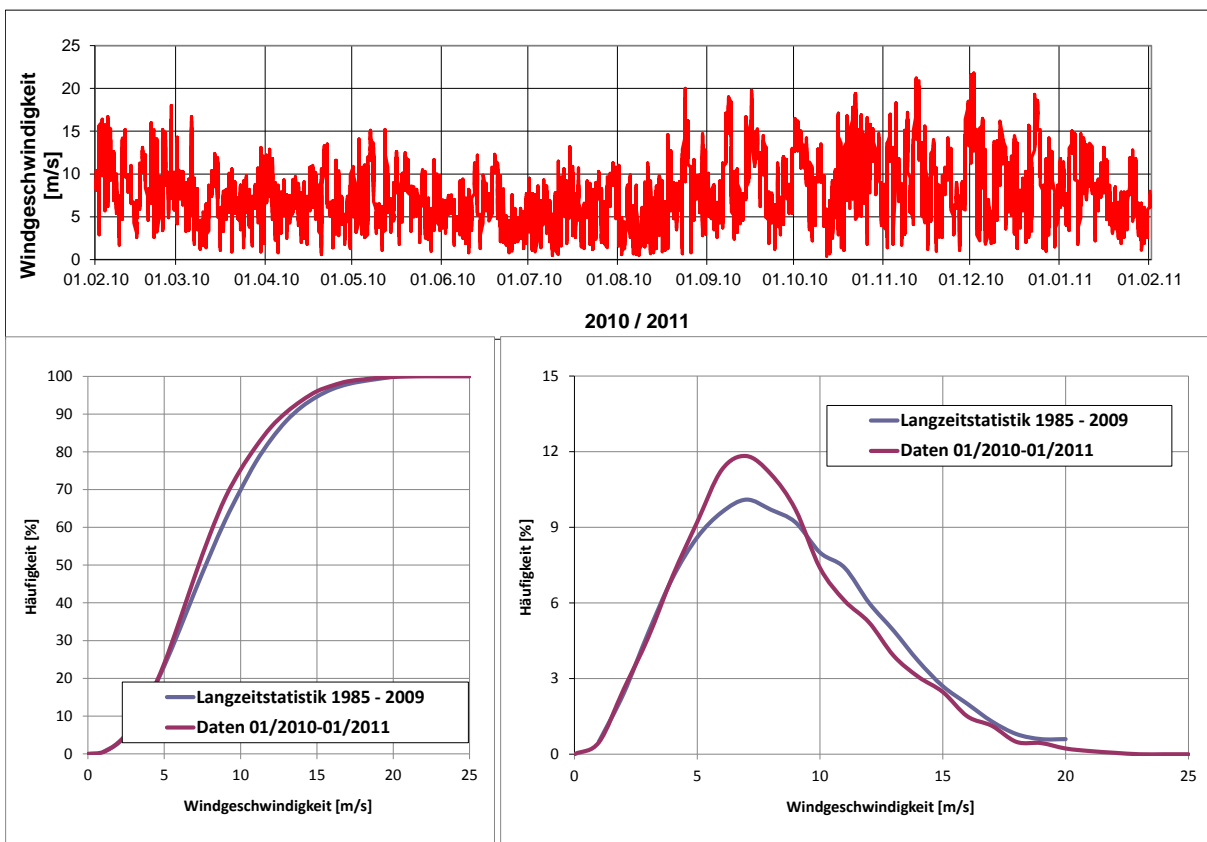


Abbildung 5-1: Vergleich der Windgeschwindigkeiten im Messzeitraum und gemäß Langzeitstatistik als Summenhäufigkeit/Unterschreitungshäufigkeit (links) und Einzelhäufigkeit (rechts)

Windrichtungen

In der folgenden Abbildung 5-2 wird die Häufigkeit der aufgetretenen Windrichtungen über den Zeitraum des offiziellen Messzeitraumes (Auswertefenster von 02/2010 bis 01/2011) in Blau verglichen mit den Angaben der der Langzeitstatistik von 1985 bis 2009 des DWD (vgl. Anlage 3.5) in Rot. Dabei ist deutlich erkennbar, dass im Auswertungszeitraum vergleichsweise

- Winde aus den Richtungen S bis W seltener und
- Winde aus den Richtungen NW, NNW, N, NNO und NO häufiger

auftraten als in der Langzeitstatistik.

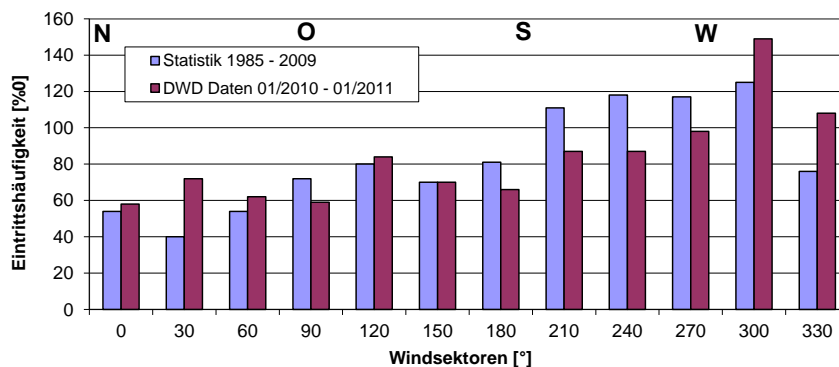


Abbildung 5-2: Vergleich der Häufigkeiten der Windrichtungen mit der Langzeitstatistik

Windgeschwindigkeiten und -richtungen

Bei genauerer Betrachtung der Windverhältnisse im Messzeitraum 02/201 bis 01/2011 ist aus der Darstellung der Häufigkeiten der Windrichtungen und der zugehörigen minimalen, mittleren und maximalen Windgeschwindigkeiten in Abbildung 5-3 ersichtlich, dass

- Winde aus 300°/310° (WNW/NW) zwar am häufigsten eingetreten sind mit insgesamt rund 11 %, jedoch in diesem Sektor nicht die maximalen Windgeschwindigkeiten aufgetreten sind,
- maximale stundengemittelte Windgeschwindigkeiten aus Richtung 80° (~O) mit rund 22 m/s (entspricht 9 Beaufort – Sturm) verzeichnet wurden,
- Winde aus SO (120° bis 140°) zwar vergleichsweise häufiger auftreten, jedoch zugehörige maximale Windgeschwindigkeiten zwischen 16 m/s und 18 m/s auftreten.

In der Abbildung 5-4 werden die Häufigkeiten der gemessenen stundengemittelten Windgeschwindigkeiten des DWD [9] zweidimensional in Abhängigkeit der Windrichtung absolut in [h] und in [%] für den Messzeitraum (366 Tage x 24 Werte/Tag = 8.784 h) dargestellt und farbig hinterlegt. Diese Darstellung ist ebenfalls als Anlage 14 dem vorliegenden Bericht beigelegt. Aus dieser zweidimensionalen Darstellung kann für beliebige Sektoren und Windgeschwindigkeitsbereiche die Eintrittswahrscheinlichkeit abgegriffen werden, insbesondere wenn es um die Einordnung von möglichen Nutzungseinschränkungen geht. Auf die Ausführungen in Abschnitt 6.1 wird verwiesen.

5.2 Seegangsbedingungen im Vorhafen

5.2.1 Vorgehensweise

Im Zuge der Auswertung wurden die an den Messstationen Südkaje und Ostmole gemessenen Zeitreihen der Wasserspiegelauslenkungen unter Berücksichtigung der als maßgebend identifizierten hydraulischen Prozesse (vgl. Abschnitt 2.4.2) in die drei Periodenbereiche Seegang, Schwell und langperiodische Schwingung mittels Fourier-Transformation aufgeteilt, wodurch drei einzelne Zeitreihen erzeugt wurden, die wiederum separat ausgewertet werden konnten (vgl. Abbildung 5-5).

Jede dieser extrahierten Zeitreihen für die drei Periodenbereiche Seegang, Schwell und langperiodische Schwingung wurde anschließend einer eigenen Wellenanalyse unterzogen, bei die jeweiligen Wellenparameter im Zeit- und Frequenzbereich ermittelt wurden. Dabei wurden Auswertefenster von 30 Minuten Länge gewählt. Die detaillierte Beschreibung des Auswerteverfahrens findet sich in Anlage 6.

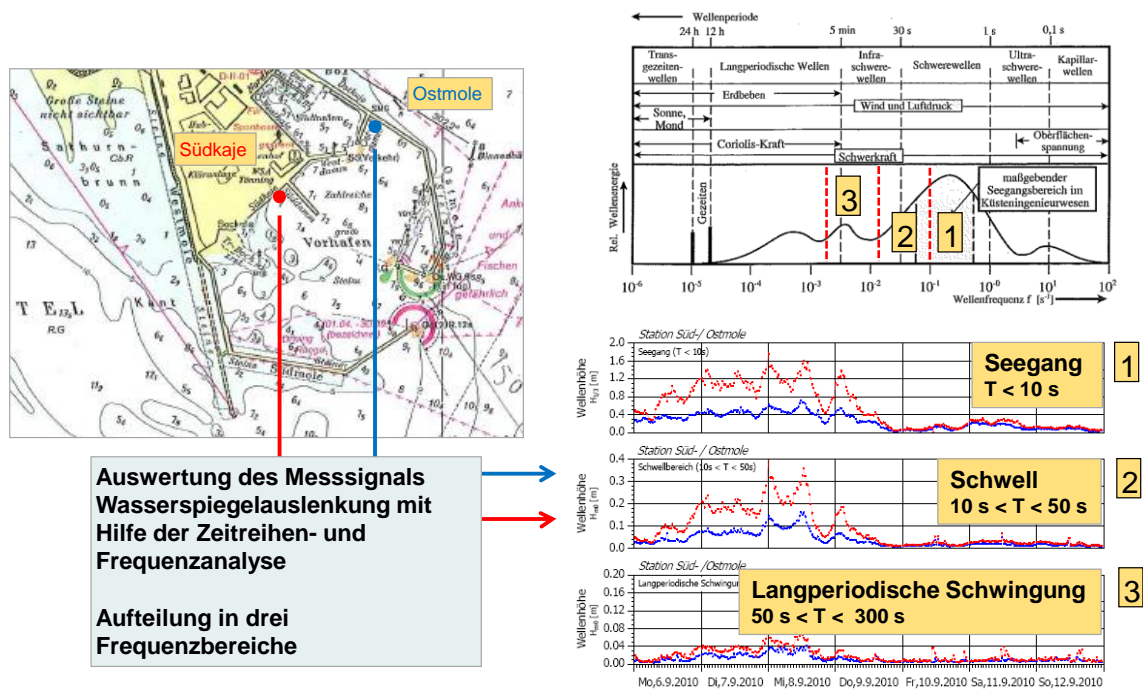


Abbildung 5-5: Vorgehensweise bei der Auswertung der gemessenen Wasserspiegelauslenkungen

Die ermittelten Wellenparameter für die drei Periodenbereiche Seegang, Schwell und langperiodische Schwingung können sodann wieder als eigene Zeitreihe dargestellt (vgl. Abbildung 5-6) und weiter analysiert werden. Auf die Darstellungen der Wochenplots in Anlage 13 wird an dieser Stelle verwiesen.

5.2.2 Übersicht der analysierten Wellenhöhen

Die Zeitreihen der analysierten Wellenhöhen für die drei Periodenbereiche Seegang, Schwell und langperiodische Schwingung werden in der folgenden Abbildung 5-6 als Auszug der Anlage 12 dargestellt. Es ist deutlich erkennbar, dass sich diese Wellenhöhen qualitativ betrachtet in unterschiedlichen Größenordnungen bewegen:

- Windwellen ($T < 10$ s), bezeichnet als Seegang, Größenordnung [Meter] maximale Wellenhöhe bis ca. 1,9 m an der Südkaje
- Dünung/Schwell ($10 \text{ s} < T < 50$ s), bezeichnet als Schwellbereich, Größenordnung [Dezimeter] maximale Wellenhöhe bis ca. 0,4 m
- langperiodischen Schwingungen ($50 \text{ s} < T < 300$ s) Größenordnung [Zentimeter] maximale Wellenhöhe bis ca. 0,2 m

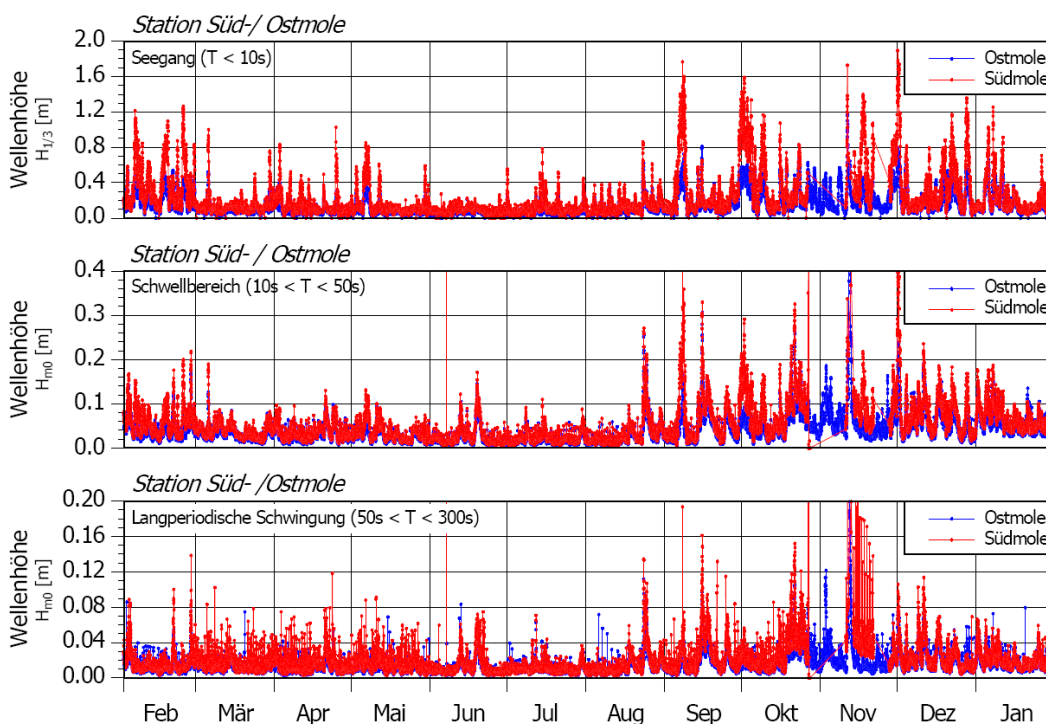


Abbildung 5-6: Zeitreihe der analysierten Wellenhöhen an Südkaje und Ostmole differenziert nach Seegang, Schwell und langperiodischen Wellen (vgl. Anlage 12)

Aus den in Abbildung 5-6 dargestellten Zeitreihen der analysierten Wellenhöhen im Vorhafen für Seegang, Schwell und langperiodische Schwingungen wird ebenfalls deutlich, dass diese mit den in Abschnitt 2.4.2 abgeleiteten Wellenhöhen an der Südkaje infolge Windwellen, Dünungswellen und Hafenresonanz in derselben Größenordnung liegen. D.h. die Voreinschätzung der zu erwartenden Wellenhöhen stimmt mit den Messungen überein.

5.2.3 Eintrittshäufigkeiten von Seegang, Schwell und langperiodischen Schwingungen

Für den Messzeitraum 02/2010 bis 01/2011 wurden die ermittelten Wellenhöhen in den drei definierten Periodenbereichen weitergehend analysiert, in dem die Summenhäufigkeiten und absoluten Häufigkeiten vergleichend für die Messstationen Südkaje und Ostmole ermittelt wurden. Die zugehörigen Darstellungen sind in der folgenden Abbildung 5-7 zu finden.

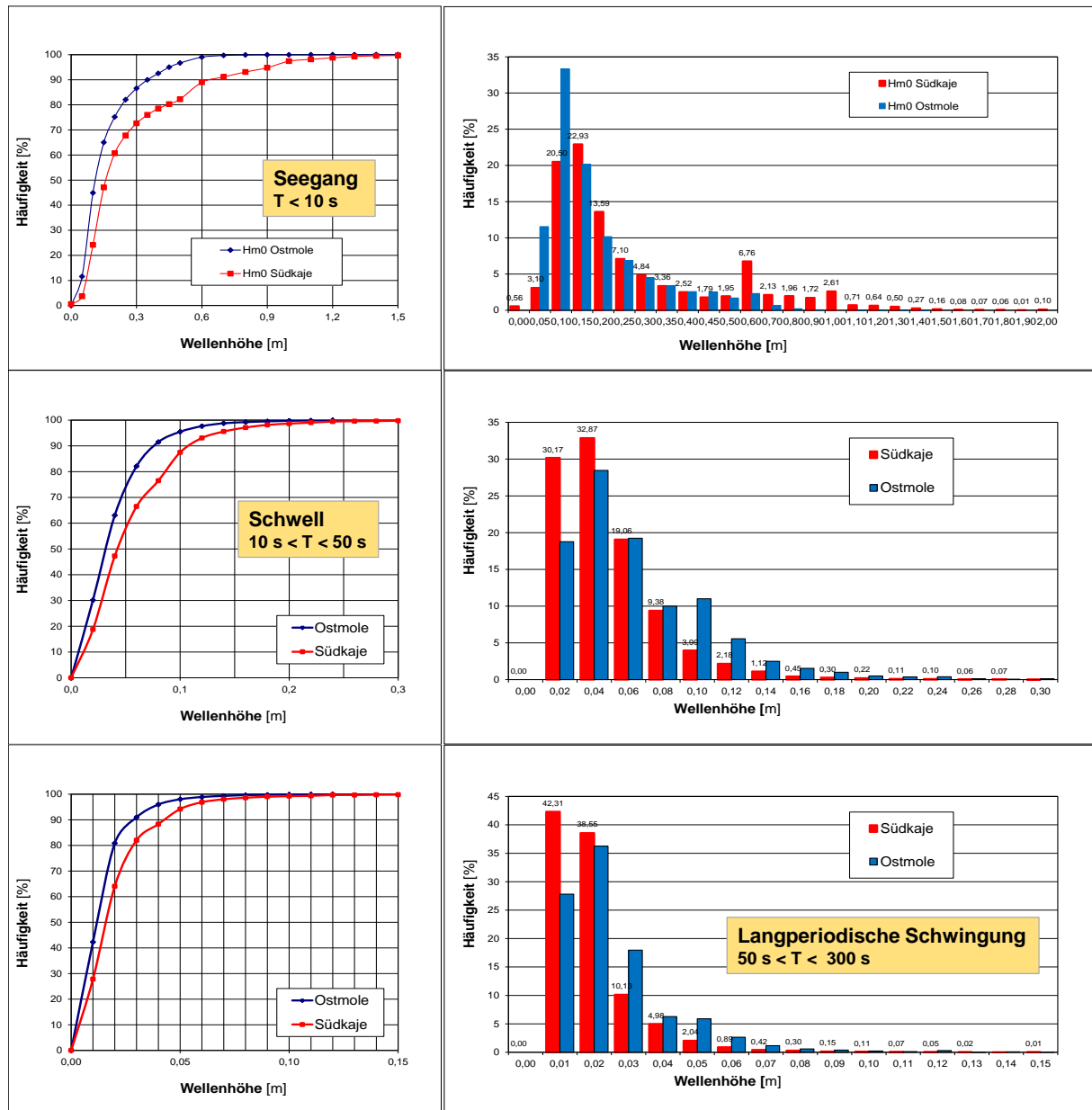


Abbildung 5-7: Summenhäufigkeit/Unterschreitungshäufigkeitsverteilung (links) und absolute Häufigkeitsverteilung (rechts) der analysierten Wellenhöhen im offiziellen Messzeitraum für die Periodenbereiche Seegang (oben), Schwell (Mitte) und langperiodische Schwingung (unten)

Diese Darstellungen in Abbildung 5-7 zeigen vergleichend, dass

- der Seegang die größten und maßgebenden Wellenhöhen an beiden Messstationen beinhaltet. An der Südkaje deutlich höhere Wellenhöhen (H_s bis 1,8 m) infolge Seegang auftreten als an der Ostmole (H_s bis 0,7 m),
- die Unterschreitungshäufigkeit für den Seegang an der Südkaje ist größer als an der Ostmole,
- Wellenhöhen des Schwell liegen in einer anderen Größenordnung als die Wellenhöhen des Seegang, d.h. ca. 10 % bis 15 % des Seegangs;
- an der Südkaje ist die Unterschreitungshäufigkeit für Schwell größer und eher mit Schwell zu rechnen als an der Ostmole, und
- Wellenhöhen langperiodischer Schwingungen liegen im Zentimeterbereich; Wellenhöhen an der Südkaje sind geringfügig größer als an der Ostmole.

5.2.4 Richtungsbezogene Häufigkeit des Seegangs an der Südkaje

Wind-Seegangs-Interaktion

Der Wind erzeugt Wellen an der Meeresoberfläche, die sich als Folge der Dauer und Stärke des Windes sowie der Einwirklänge (Fetch) zu einem Seegang entwickeln (vgl. Abschnitt 2.2.3). In den nachfolgenden Untersuchungen wird vor dem Hintergrund der Messdaten begründet davon ausgegangen, dass Richtungsänderungen des Windes auch zu einer zeitnah nachfolgenden Richtungsänderung des anlaufenden Seeganges führen. Dies kann anhand der in Anlage 13 dokumentierten Zeitreihen vielfach beobachtet und nachvollzogen werden. Entsprechende Hinweise gibt auch das BSH (vgl. Anlage 3.2).

Beispielhaft wird dafür in Abbildung 5-8 die Zeitreihe der Windrichtung für die Station Helgoland (in Blau) und die Zeitreihe der Wellenanlaufrichtung an der Wellenboje (in Rot) für den Zeitraum der 36. KW 2010 dargestellt. Deutlich ist die Anpassung von Wind- und Wellenanlaufrichtung erkennbar. Auf die dokumentierten Zeitreihen in Anlage 13 wird verwiesen.

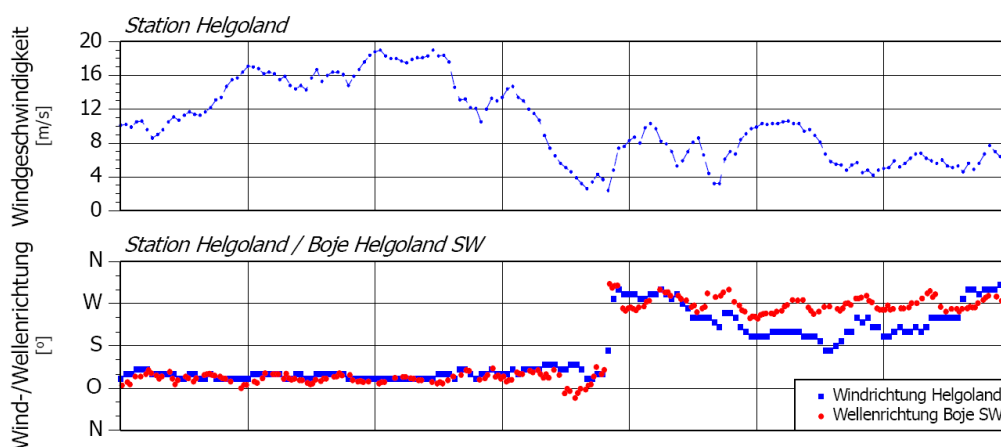


Abbildung 5-8: Beispiel für die Anpassung der Richtungsänderungen von Wind (Station Helgoland) und Seegang an der Wellenboje Helgoland in der 36. KW 2010

Richtungsbezogene Häufigkeit des Seeganges an der Südkaje

Bezug nehmend auf die Erläuterungen zu den ablaufenden hydraulischen Prozessen im Helgoländer Vorhafen in Abschnitt 2.4.2 verdeutlicht die folgende Abbildung 5-9 die windrichtungsbezogene Abhängigkeit der Wellenhöhen des Seeganges an der Südkaje.

Wellen- höhe [m]	Windrichtung [°]																																				Summe														
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	310	320	330	340	350	360															
0,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	4	18	8	33	33	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100												
0,10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	2	1	2	1	2	3	2	2	3	3	4	4	5	5	7	9	6	4	2	3	2	100							
0,20	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	4	4	4	4	5	5	7	9	6	4	2	3	2	3	2	2	3	2	100							
0,30	2	2	3	3	3	2	2	2	2	2	2	3	3	2	2	2	3	2	3	4	6	3	5	4	2	2	2	3	2	2	3	3	3	3	2	3	3	3	2	2	3	2	3	100							
0,40	2	5	6	9	4	4	3	3	1	4	3	4	6	4	3	3	3	2	2	4	8	6	4	2	2	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	100							
0,50	1	6	4	8	5	2	3	6	4	3	2	5	8	6	4	4	3	1	3	2	6	5	3	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100						
0,60	1	1	3	6	5	4	4	4	2	3	5	3	4	2	2	3	2	1	6	5	5	6	3	3	3	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	1	0	0	0	100						
0,70	0	1	4	4	5	7	5	8	6	6	11	8	4	8	1	2	2	3	3	4	5	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100					
0,80	0	0	3	1	3	9	8	6	5	6	9	8	5	5	5	1	6	4	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100				
0,90	0	0	1	2	6	5	7	5	4	7	8	13	10	13	7	3	3	1	1	5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100				
1,00	4	12	9	3	6	4	3	3	2	3	4	7	3	8	5	1	2	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	6	100	
1,10	0	0	0	0	2	2	8	5	3	5	18	18	11	18	5	2	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	
1,20	0	0	0	2	0	0	5	2	4	5	16	34	18	11	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	
1,30	0	0	0	0	0	0	5	2	5	2	32	16	16	20	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	
1,40	0	0	0	0	0	0	0	13	13	4	13	21	21	13	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	
1,50	0	0	0	0	0	0	0	43	7	0	21	21	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	
1,60	0	0	0	0	0	0	0	29	0	0	29	0	0	29	0	0	0	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	
1,70	0	0	0	0	0	0	0	50	0	17	0	17	0	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	
1,80	0	0	0	0	0	0	0	80	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	
1,90	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
2,00	0	0	0	0	0	0	0	0	11	0	0	0	0	0	0	0	0	22	0	11	22	0	22	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100

Abbildung 5-9: Richtungsbezogene Häufigkeitsverteilung des Seegangs an der Südkaje

Aus Abbildung 5-9 wird deutlich, dass

- es eine windrichtungsbezogene Häufigkeitsverteilung der Wellenhöhen des Seegangs gibt,
- Wellenhöhen > 0,7 m bei Winden zwischen NO und SW auftreten,
- die Wellenhöhenverteilung für größere Wellenhöhen > 1,0 m zunehmend auf den Windrichtungssektor OSO bis SW zuläuft und
- maximale Wellenhöhen im Messzeitraum bei Windrichtungen aus Richtung OSO auftraten.

5.2.5 Beschreibung der Seegangsbedingungen im Vorhafen anhand von Wind-/Seegangsszenarien

Wie bereits in Abschnitt 2.4.2 erläutert und im vorangegangenen Abschnitt 5.2.4 bestätigt, treten bei verschiedenen Windrichtungen (näherungsweise Wellenrichtungen) unterschiedliche hydraulische Prozesse im Helgoländer Vorhafen auf:

1. Lokal im Vorhafen erzeugter Seegang (Windwellen)
2. Seegang (Windwellen und Dünung) läuft aus dem Seegebiet in den Vorhafen
3. Hafenresonanz
4. Wellenreflexionen innerhalb des Vorhafens.

Je nach Windrichtung und Windgeschwindigkeit sind diese hydraulischen Prozesse unterschiedlich stark ausgeprägt, wenn sich diese gemeinsam überlagern zu einem komplexen Wellenbild im Vorhafen.

Um die aufgezeigte Abhängigkeit zur Windrichtung noch einmal zu verdeutlichen, wurden aus den dokumentierten Zeitreihen der Messdaten (vgl. Anlage 13) Szenarien mit bestimmten Windrichtungen herausgesucht und in der Anlage 15 zusammengestellt.

Dabei wurde darauf geachtet, dass der Wind bereits über einen längeren Zeitraum aus der entsprechenden Richtung gleichmäßig weht, um somit bei der Auswertung stabile Wetterlagen sicherzustellen.

Tabelle 5-1 gibt auf Grundlage der dokumentierten Szenarien in Anlage 15 eine qualitative Zusammenstellung der auftretenden hydraulischen Prozesse an der Südkaje. Folgende Zusammenhänge sind erkennbar und ableitbar:

- Lokale Windwellen treten an der Südkaje vorwiegend bei Windrichtungen zwischen OSO und SW auf.
- Wellen laufen immer dann durch die Hafeneinfahrt in den Vorhafen ein und treffen dann auf die Südkaje, wenn die Windrichtungen zwischen S und NO liegen. Am direktesten können die Wellen bei Windrichtungen aus SO bis OSO in den Vorhafen einlaufen und auf die Südkaje treffen. Je weiter die Anlaufrichtung von der Richtung OSO abweicht, desto schräger laufen die Wellen in die Hafeneinfahrt ein. Auf die Erläuterungen zu den ablaufenden Diffraktionseffekten in Abschnitt 2.4.2 sowie Anlage 4 wird verwiesen.
- Informationen zur Hafenresonanz sind schwer aus den Zeitreihen erkennbar. Effekte sind sichtbar bei Windrichtungen zwischen SW und ONO. Maximale Einflussnahme wurde bei einer Wind- und Wellenlaufrichtung aus O deutlich.
- Wellenreflexionen treten grundsätzlich bei allen Arten von Wellen auf. Reflexionen seeseitig einlaufenden Wellen werden bei Windrichtungen aus SO deutlich sichtbar. Reflexionen lokaler Windwellen sind an der Südkaje und dem Süddamm insbesondere bei Winden aus SW erkennbar. In diesen Fällen bildet sich ein stehendes Wellenfeld. Weiterhin sind bei Windrichtungen aus SW tideabhängige Variationen der Wellenhöhen erkennbar, was auf die Veränderung der Fetchlänge zurückzuführen ist.

Tabelle 5-1: Qualitative Zusammenstellung der auftretenden hydraulischen Prozesse an der Südkaje auf Grundlage definierter Szenarien (Anlage 15)

Windrichtung	Hydraulische Prozesse an der Südkaje			
	lokale Windwellen (1)	Wellen laufen in den Vorhafen (2)	Hafenresonanz (3)	Wellenreflexion (4)
NO	-	+	-	o
ONO	-	+	o	o
O	o	++	+	+
OSO	+	++	o	+
SO	+	++	o	+
S	+	o	o	+
SW	++	-	o	++
W	-	-	-	o
NW	-	-	-	-
WNW	-	-	-	-

- (-) Prozess tritt nicht auf, kein Einfluss auf Wellenunruhe an der Südkaje
(o) Prozess tritt auf, kein signifikanter Einfluss auf Wellenunruhe an der Südkaje
(+) Prozess tritt auf, großer Einfluss auf Wellenunruhe an der Südkaje
(+++) Prozess tritt auf, sehr großer Einfluss auf Wellenunruhe an der Südkaje

Werden die in Anlage 15 dokumentierten Szenarien hinsichtlich der gemessenen und analysierten Wellenhöhen an der Südkaje und an der Ostmole weiter ausgewertet, so ergeben sich die in Abbildung 5-10 dargestellten Abhängigkeiten der Wellenhöhen zur Windgeschwindigkeit.

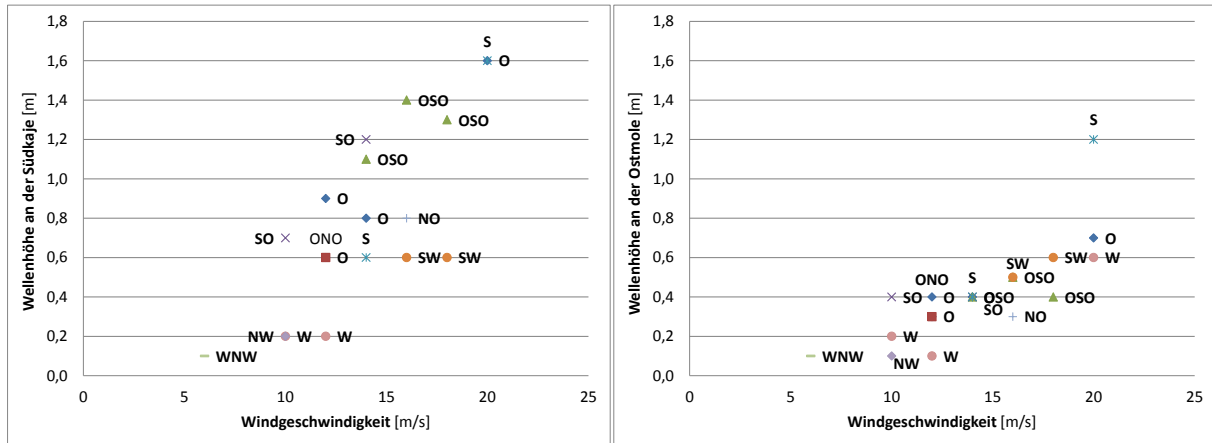


Abbildung 5-10: Zusammenstellung der Wellenhöhen an der Südkaje (links) und an der Ostmole (rechts) als Funktion der Windgeschwindigkeiten aus und mit Kennzeichnung der untersuchten Szenarien in Anlage 15

Folgende Abhängigkeiten können aus Abbildung 5-10 abgeleitet werden:

Südkaje

- Wenn der anlaufende Seegang in den Vorhafen einlaufen kann (Sektor S bis ONO), dann steigt die Wellenhöhe an der Südkaje mit zunehmender Windgeschwindigkeit deutlich an. Dabei können an der Südkaje maximale Wellenhöhe von 1,6 m auftreten (vgl. Anlage 15, Szenario O/OSO).
- Bei Winden aus anderen Richtungen als Sektor S bis ONO kommt es nur bedingt bzw. gar nicht zu einem Einlaufen von Wellen aus der Nordsee in den Vorhafen. Dementsprechend treten dann überwiegend lokal im Vorhafen generierte und tideabhängig Wellen auf, die z.B. bei südwestlicher Windrichtung von Süddamm und Südkaje reflektiert werden (vgl. Anlage 15, Szenario SW).

Ostmole

- Für die Messlokation Ostmole wurden vergleichsweise deutlich geringere Wellenhöhen ermittelt. Dies ist auf die geschütztere Lage auch bezogen auf die Hafeneinfahrt zu erklären.
- Die ermittelten Wellenhöhen an der Ostmole stellen eine Mischung aus lokal erzeugten Wellen, einlaufender Wellen infolge Diffraktion und Reflexion dar. Die Wellenhöhen zu den in Anlage 15 dokumentierten Szenarien zeigen, dass die Wellenhöhe mit ansteigender Windgeschwindigkeit vergleichsweise nur leicht ansteigt bis auf 0,6 m. Eine ausgeprägte Richtungsabhängigkeit der Wellenhöhen ist nicht eindeutig erkennbar.

5.2.6 Beschreibung der Seegangsbedingungen für ausgewählte Sektoren

Auf Grundlage des vorliegenden synoptischen Messdatensatzes können die Seegangparameter gleichwohl für die in [22] definierten Sektoren (vgl. Abbildung 5-11) für die Messstationen Südkaje und Ostmole als Funktion der Windgeschwindigkeit dargestellt und ermittelt werden. Der Sektor 1 und Teilbereiche des Sektors 4 stellen dabei die maßgebenden Sektoren dar, aus denen die größten Wellenhöhen die Südkaje erreichen.

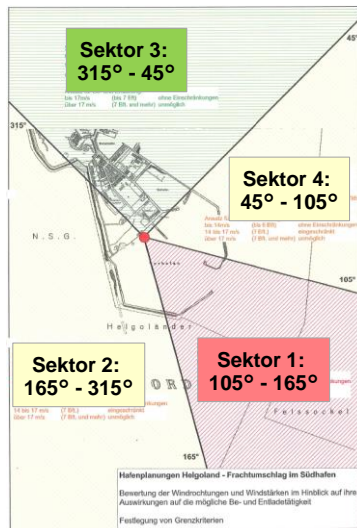


Abbildung 5-11: Einteilung der Seegangsbedingungen in vier Sektoren hinsichtlich möglicher Nutzungseinschränkungen für die Südkaje [22] (vgl. Anlage 7)

Im Folgenden wird für die definierten Sektoren die analysierte signifikante Wellenhöhe an der Südkaje (Abbildung 5-12) und an der Ostmole (Abbildung 5-13) als Funktion der Windgeschwindigkeit dargestellt. Die einzelnen Ereignisse sind jeweils als Punkte dargestellt. Als Orientierungshilfe markiert die rote Linie jeweils eine Trendlinie des Datenkollektives. Daraus sind folgende Ergebnisse ableitbar:

Südkaje

- Im Sektor 1 steigt die Wellenhöhe direkt und am schnellsten mit der Windgeschwindigkeit an, z.B. $H_s = 1,2$ m bei 15 m/s Windgeschwindigkeit. Für den Sektor 4 werden Wellenhöhen ausgewiesen, die bei gleicher Windgeschwindigkeit tendenziell zwei Dezimeter unter denen des Sektors 1 liegen.
- Winde aus den Sektoren 2 und 3 sind für die Beschreibung des Seeganges an der Südkaje nicht relevant.

Ostmole

- An die Ostmole gelangen vorwiegend lokal erzeugte Seegänge als Folge von Winden aus dem Sektor 2 und weniger seeseitig durch die Hafeneinfahrt einlaufende Wellen.
- Gegenüber der Südkaje zeigt sich für die Seegänge an der Ostmole in Abbildung 5-13 ein vergleichsweise geringer Anstieg der Wellenhöhe mit der Windgeschwindigkeit. Mit Ausnahme des Sektor 3 ist in allen anderen Sektoren auch infolge Reflexion mit einer maximalen Wellenhöhe an der Ostmole von 0,6 m zu rechnen. Für den Sektor 2 ist der direkte Anstieg der Wellenhöhe mit der Windgeschwindigkeit sichtbar.

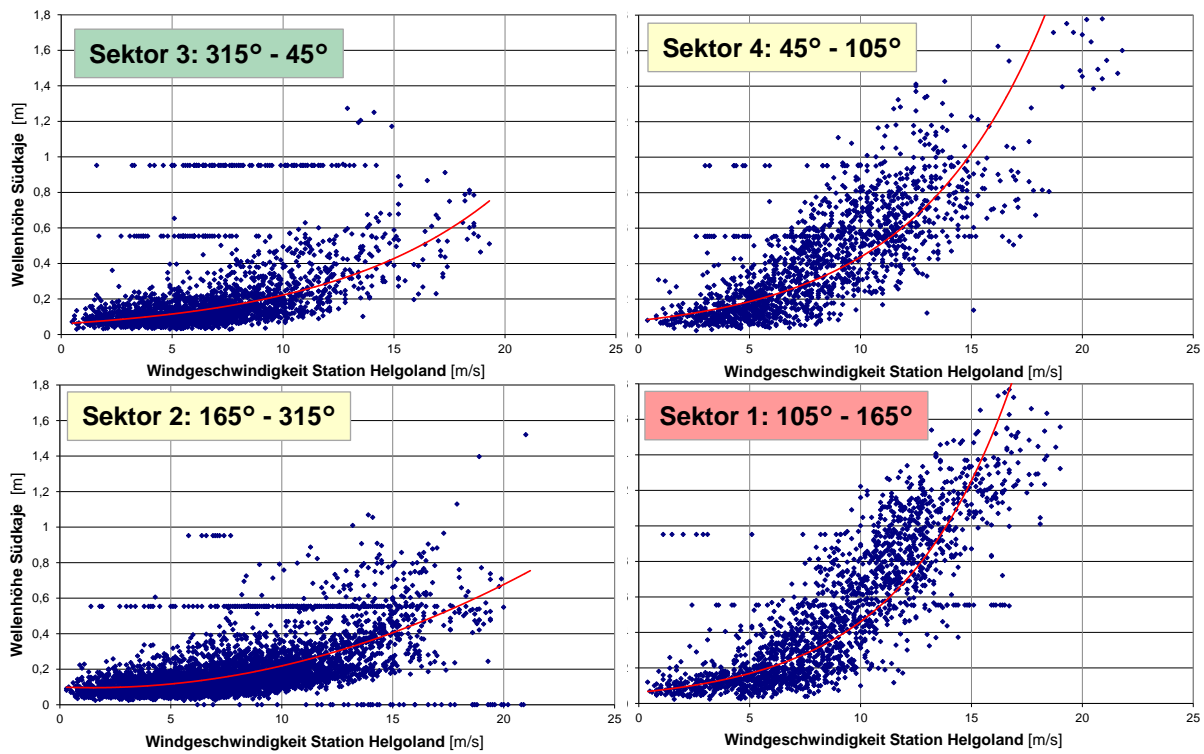


Abbildung 5-12: Wellenhöhe des Seeganges an der Südkaie in Abhängigkeit der in Abbildung 5-11 definierten Sektoren als Funktion der Windgeschwindigkeit

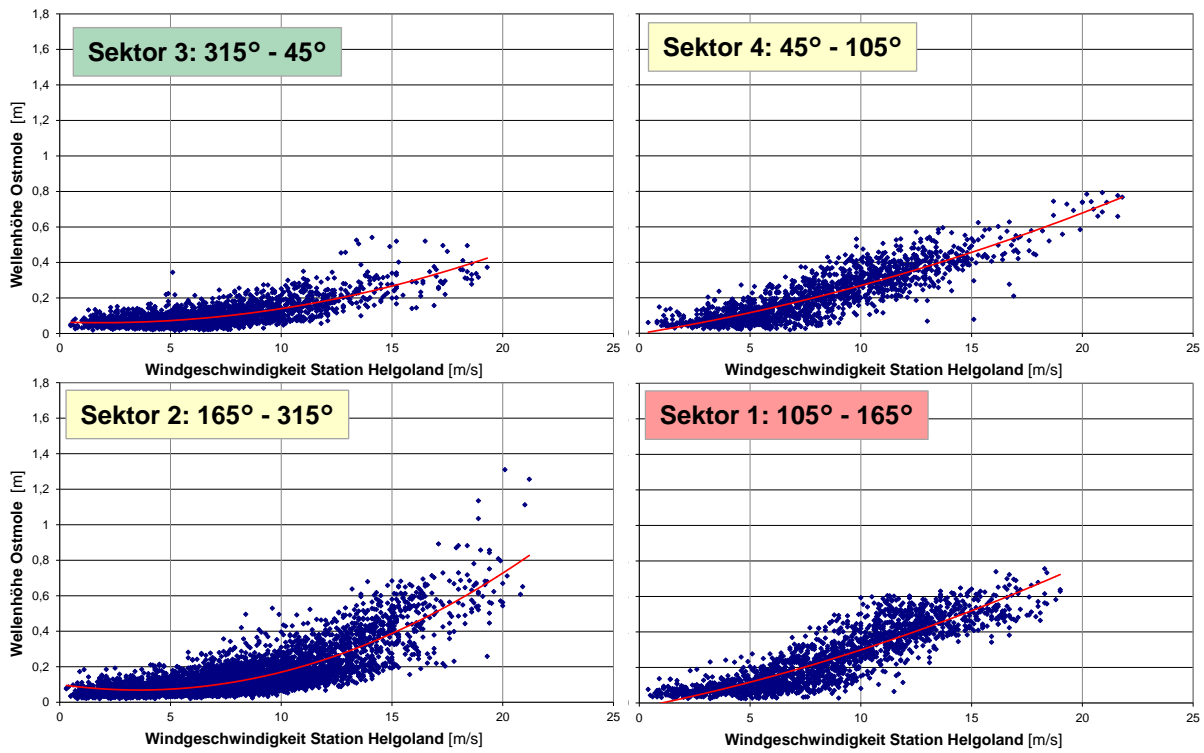


Abbildung 5-13: Wellenhöhe des Seeganges an der Ostmole in Abhängigkeit der in Abbildung 5-11 definierten Sektoren als Funktion der Windgeschwindigkeit

g:\dat\prj\144_helgoland\08_plan-erg\82_berichte\90144-03_bericht_naturmessungen.docm, F 8-10

6 Bewertung der Ergebnisse

6.1 Allgemeine Bewertung

Mit den vorliegenden Messungen und Ergebnissen liegt eine umfangreiche Datengrundlage von meteorologischen, hydraulischen und hydrologischen Parametern zur Beurteilung der Seegangsbedingungen bzw. der Hafenunrue im Vorhafen Helgoland vor. Weitere Auswertungen und Analysen auf dieser Datengrundlage sind denkbar und möglich.

Die analysierten Seegangsbedingungen im Helgoländer Vorhafen spiegeln die erwarteten hydraulischen Bedingungen und Prozesse wieder, die im Vorwege identifiziert wurden. Die folgende Tabelle 6-1 gibt eine Zusammenstellung der voreingeschätzten und analysierten Seegangsbedingungen in Abhängigkeit der identifizierten hydraulischen Prozesse.

Tabelle 6-1: Vergleich von voreingeschätzten und analysierten Wellenhöhen an der Südkaje infolge der identifizierten Prozesse im Helgoländer Vorhafen

Prozess im Helgoländer Vorhafen	Voreinschätzung der Wellenhöhe an der Südkaje (vgl. Abschnitt 2.4.2)	Ergebnis der Datenanalyse der Wellenhöhen an der Südkaje (vgl. Abschnitt 5.2)
Lokal erzeugter Seegang	Größenordnung Dezimeter Voreinschätzung: maximale Wellenhöhe $H_s = 0,3$ m	Bei der durchgeführten Analyse wurden die Wellenhöhen aus verschiedenen Periodenbereichen analysiert. Eine Differenzierung zwischen lokalem und „externem“ Seegang erfolgte nicht.
Seegang läuft aus der Nordsee in den Vorhafen	Größenordnung: Meter Voreinschätzung: – Windwellen $H_s = 0,8$ m bis $1,2$ m – Dünungswellen $H_s = 1,2$ m bis $1,6$ m	– Windwellen ($T < 10$ s) maximale Wellenhöhe $H_s = 1,9$ m – Schwell (10 s $< T < 50$ s) maximale Wellenhöhe $H_s = 0,4$ m
Hafenresonanz / langperiodische Schwingung	Größenordnung: Zentimeter Voreinschätzung: Amplitude $\sim 0,1$ bis $0,15$ m	Maximale Wellenhöhe bis $0,2$ m
Wellenreflexion	Die Wellenreflexion ist lokationsspezifisch und abhängig von der Wellenanlaufriichtung.	Die Wellenreflexion ist lokationsspezifisch und abhängig von der Wind- und Wellenanlaufriichtung. Eine Reflexionsanalyse ist nicht möglich.

Die Datenanalyse hat gezeigt, dass sich die Wellenhöhen an den Messstationen als Folge der relevanten Prozesse im Helgoländer Vorhafen in den vorher skizzierten Größenordnungen bewegen. Das Auftreten und die jeweilige Intensität dieser sich überlagernden Prozesse und damit die Größe der Wellenhöhe ist abhängig von den Windverhältnissen, explizit von der Windgeschwindigkeit und –richtung. In Abschnitt 5.2.5 wurde diesbezüglich eine qualitative Bewertung vorgenommen (vgl. Tabelle 5-1). Die Summe aller Prozesse ergibt letztlich das Bild der Hafenunrue im Helgoländer Vorhafen.

6.2 Nutzungseinschränkungen für einen Frachumschlag an der Südkaje

6.2.1 Allgemeines

Gemäß Aufgabenstellung (vgl. Abschnitt 1.2) ist vor dem Hintergrund der durchgeführten Messungen und Auswertungen zu den Seegangsbedingungen im Helgoländer Vorhafen die Frage der Nutzungseinschränkungen für einen Frachumschlag an der Südkaje zu untersuchen und einzuschätzen.

Die Nutzungseinschränkung ist dabei grundsätzlich vor dem Hintergrund der lokationsbezogenen Seegangsbedingungen und der Seegangsempfindlichkeit des eingesetzten Schiffes sowie der Verladetechnik zu beurteilen. Die folgende Abbildung 6-1 stellt diesen Zusammenhang schematisch dar. Eine Nutzungseinschränkung kann demzufolge nur dann vorliegen, wenn entweder

- die herrschenden Seegangs- und ggf. Windbedingungen keinen Ladebetrieb zulassen, oder auch
- das eingesetzte Schiff und die Verladetechnik nicht geeignet sind, unter den gegebenen Seegangs- und Windbedingungen den Verladebetrieb durchzuführen.



Abbildung 6-1: Abhängigkeiten der Nutzungseinschränkungen beim Frachtumschlag

Im folgenden Abschnitt 6.2.2 wird zunächst der bisherige Kenntnisstand bzw. die bisherige Einschätzung möglicher Nutzungseinschränkungen wiedergegeben. Darauf aufbauend erfolgt dann eine aktualisierte Einschätzung möglicher Nutzungseinschränkungen in Abschnitt 6.2.3.

6.2.2 Bisherige Annahmen und Erkenntnisse

Der Kreis Pinneberg in Vertretung der SVG Südholstein Verkehrsgesellschaft mbH geht von den nachfolgend in Tabelle 6-2 gezeigten Nutzungseinschränkungen bei einem Frachtumschlag an der Südkaje aus. Auf Grundlage der Sektoreinteilung in Abbildung 5-11 bzw. Anlage 7 werden von [22] drei Betriebszustände für den Ladebetrieb differenziert und zugehörige Klassifizierungen für die dabei tolerierbaren Seegangsbedingungen und Windgeschwindigkeiten in den vier Sektoren 1 bis 4 vorgenommen (vgl. Anlage 7).

Im Ergebnis von [22] kann der Frachtumschlag an der Südkaje zu

- 88,2 % als uneingeschränkter Ladebetrieb und
- 7,3 % als eingeschränkter Ladebetrieb

erfolgen.

In 4,5 % der Zeit ist demzufolge von einem sogenannten unmöglichen Ladebetrieb auszugehen, d.h. konkret an 16 Tagen im Jahr.

Tabelle 6-2: Einschätzung der Nutzungseinschränkungen bei einem Frachtschlag an der Südkaje von [22] (vgl. Anlage 7)

Hafenplanungen Helgoland - Frachtschlag im Südhafen

Sektor	Windrichtung [°]		Windgeschwindigkeit [m/s]		Häufigkeit	Bewertung
	von	bis	von	bis	[%]	
1	105	165	0	11	11,9	uneingeschränkter Ladebetrieb
			11	14	2,6	eingeschränkter Ladebetrieb
			14	>19	2,1	Ladebetrieb unmöglich
2	165	315	0	14	49,4	uneingeschränkter Ladebetrieb
			14	17	3,9	eingeschränkter Ladebetrieb
			17	>19	1,4	Ladebetrieb unmöglich
3	315	45	0	17	15,9	uneingeschränkter Ladebetrieb
			17	>19	0,7	Ladebetrieb unmöglich
			17	>19	0,3	Ladebetrieb unmöglich
4	45	105	0	14	11	uneingeschränkter Ladebetrieb
			14	17	0,8	eingeschränkter Ladebetrieb
			17	>19	0,3	Ladebetrieb unmöglich
100						

Summe der Häufigkeiten für uneingeschränkten Ladebetrieb 88,2

Summe der Häufigkeiten für eingeschränkten Ladebetrieb 7,3

Summe der Häufigkeiten für unmöglichen Ladebetrieb 4,5

6.2.3 Ergebnisse aus den durchgeführten Messungen und Auswertungen

Die gemessenen Winddaten und analysierten Seegangdaten können vor dem Hintergrund der Sektoreinteilung weiter untersucht werden. So stellt die nachfolgende Abbildung 6-2 die Windhäufigkeitsverteilung unter Berücksichtigung der Sektoreinteilung von [22] und der definierten Ladebetriebszustände dar (vgl. Anlage 7).

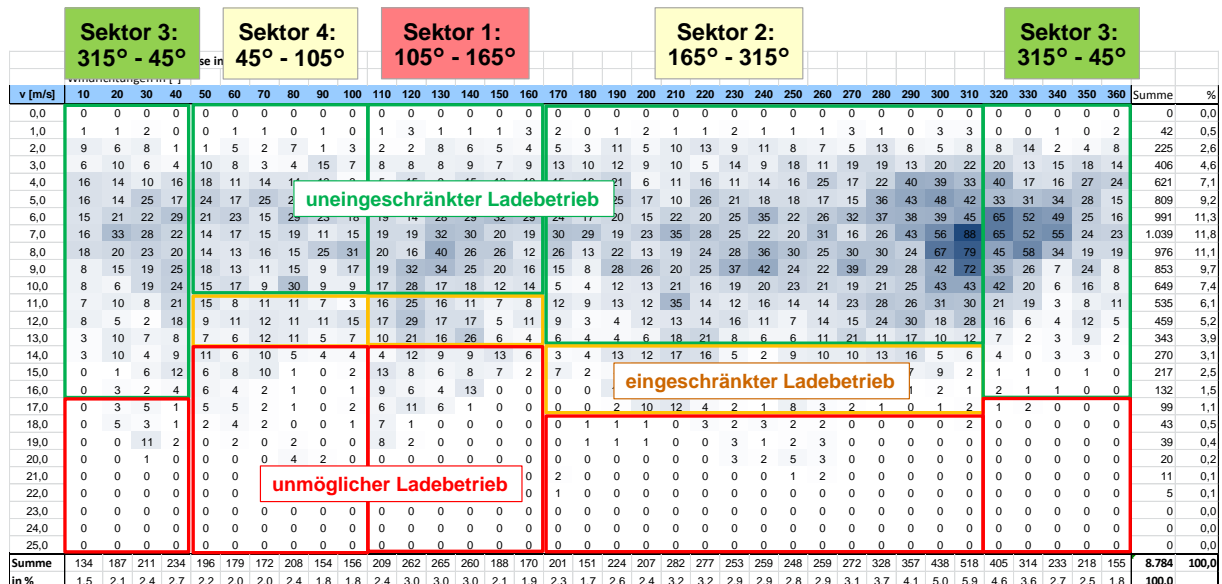


Abbildung 6-2: Auswertung der Windhäufigkeitsverteilung entsprechend der definierten Sektoren (vgl. Tabelle 6-2)

Die Ergebnisse der Auswertung der Windeintrittshäufigkeiten aus Abbildung 6-2 werden in der folgenden Tabelle 6-3 mit den bisher bekannten Häufigkeiten von [22] zusammengestellt. Der Vergleich zeigt, dass die bisherigen Häufigkeiten im Wesentlichen bestätigt werden.

Tabelle 6-3: Zusammenstellung und Vergleich der Eintrittshäufigkeiten und zugehöriger Wellenhöhen an der Südkaje

Sektor	Windrichtung [°]		Windgeschwindigkeit [m/s]		Häufigkeit [%] aus [22]	Häufigkeit [%] gem. Abbildung 6-2	max. Wellenhöhe H_s an der Südkaje		
	von	bis	von	bis			Seegang H [m]	Schwell H [m]	Langperiod. Schwingung H [m]
1	105	165	0	11	11,9	10,5	1,22	0,17	0,18
			11	14	2,6	3,0	1,39	0,21	0,05
			14		2,1	1,9	1,65	0,36	0,08
2	165	315	0	11	49,4	43,7	1,07	0,41	0,20
			11	14	3,9	4,4	1,06	0,42	0,24
			14	>19	1,4	0,5	1,90	0,34	0,26
3	215	45	0	17	15,9	23,4	-	-	-
			17		0,7	0,5	-	-	-
4	45	105	0	11	11,0	8,7	1,42	0,22	0,23
			11	14	0,8	2,0	1,62	0,29	0,09
			14		0,3	1,4	1,90	0,44	0,10

Im Ergebnis der durchgeführten Messkampagne kann der Frachturnschlag an der Südkaje zu

- 86,3 % (88,2 % gem. [22]) als uneingeschränkter Ladebetrieb und
- 9,4 % (7,3 % gem. [22]) als eingeschränkter Ladebetrieb

erfolgen. Die Häufigkeit für den Fall „unmöglicher Ladebetrieb“ wird zu 4,3 % (4,5 % gem. [22]), d.h. rund 16 Tage pro Jahr, ermittelt.

Zusätzlich wurde der synoptische Messdatensatz in der Weise ausgewertet, dass neben den Eintrittshäufigkeiten für die Windgeschwindigkeiten in den definierten Sektoren und Windgeschwindigkeitsklassen für die Beurteilung des Ladebetriebes auch die zugehörigen maximalen Wellenhöhen an der Südkaje angegeben werden. Dabei ist auffallend, dass

- die maximalen Wellenhöhen für den Seegang ($T < 10s$) mit den Windgeschwindigkeitsklassen tendenziell ansteigen; gleiches gilt auch für den Schwell ($10 s > T < 50 s$).
- bereits in der untersten Windgeschwindigkeitsklasse zugehörige maximale Wellenhöhen für den Seegang ausgewiesen werden, die größer als 1 m sind.
- das absolute Maximum des Seegangs an der Südkaje mit einer Wellenhöhe von $H_s = 1,9$ m (aufgetreten während des Sturmtiefs Carmen im November 2010) den Sektoren 2 bzw. 4 zugeordnet ist, und nicht dem Sektor 1.
- die Größenordnung der maximalen Wellenhöhe des Schwell zwischen 0,2 m und 0,4 m liegt, und
- die Größenordnung der maximalen Wellenhöhe der langperiodischen Schwingungen (Hafenresonanz) zwischen 0,05 m und 0,26 m variiert.

6.2.4 Zusätzliche Betrachtungen zur Seegangsempfindlichkeit des derzeitigen Frachtschiffes

Zur Untersetzung des Thema Nutzungseinschränkung wurde in einer zusätzlichen Betrachtung die Seegangsempfindlichkeit des Frachtschiffes Helgoland weitergehend untersucht, wenn dieses an der Südkaje liegt.

Aus den in Memo 90144-04 (s. Anlage 16) dokumentierten Untersuchungen geht hervor, dass der Fall Tauchen für das Frachtschiff maßgebend ist. Die folgende Abbildung 6-3 stellt die relative Tauchbewegung als Funktion der Anregung infolge Seegang dar.

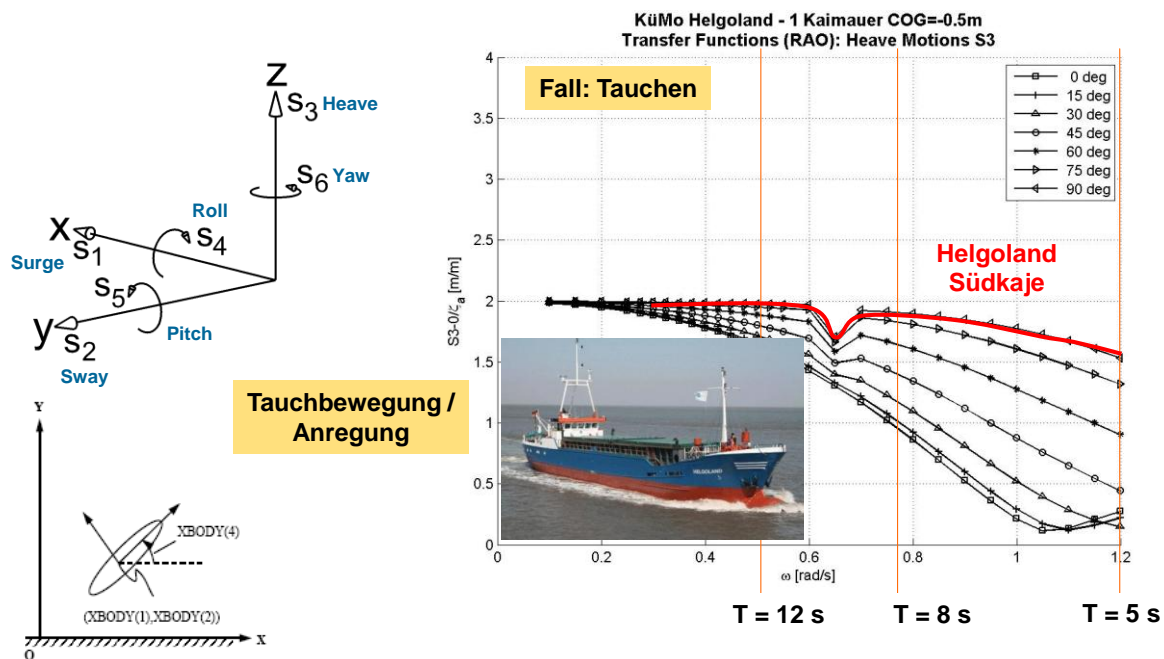


Abbildung 6-3: Untersuchungsergebnis zum Fall Tauchen (vgl. Anlage 16)

Dadurch dass das an der Südkaje liegende Frachtschiff seitlich von den in den Vorhafen einlaufenden Wellen angeregt wird, d.h. die Wellenkämme sind parallel zum Schiff, erfolgt eine entsprechend starke vertikale Bewegung des Schiffes als Funktion der Seegangparameter. Diese Anregung des Schiffes zur Tauchbewegung intensiviert sich mit zunehmender Wellenperiode (vgl. Abbildung 6-3).

Der Lastfall Tauchbewegung definiert somit alle Vorgänge, die mit der Be- und Entladung des Schiffes zusammenhängen. So kann aus diesen Ausführungen z.B. die erforderliche Krangeschwindigkeit abgeleitet werden.

Vor dem Hintergrund der derzeitigen Verladetechnik wird im Falle der Verlegung des Frachtumschlages an die Südkaje empfohlen, die Verladetechnik an die dort vorherrschenden Bedingungen anzupassen.

7 Dokumentation besonderer Ereignisse

7.1 Allgemeines

Im Rahmen der Messkampagne sind nicht nur Messdaten und Fotos des Vorhafens aufgezeichnet worden, sondern auch besondere Ereignisse aufgezeichnet worden, wie z.B.

- Sturmtief Xynthia am 27./28.02.2010,
- Sturmtief Norina am 12.07.2010,
- Sturmereignis am 08.09.2010,
- Sturmtief Carmen am 11./12.11.2010, oder
- Sturmflutereignis am 04./05.02.2011.

Alle Ereignisse sind auch im Projektprotokoll in Anlage 2 verzeichnet. Die jeweiligen Witterungsbedingungen zu diesen Ereignissen werden in der Anlage 11 mit weiteren verfügbaren Informationen (Wetterkarte etc.) zusammengestellt. Nachfolgend werden diesbezüglich ergänzende Hinweise gegeben.

7.2 Sturmtief Xynthia am 27./28.02.2010

Das Sturmtief Xynthia war das erste Sturmtief nach Installation der Messgeräte im Januar 2010. Dieser vom DWD als Orkansturm eingestufte Sturm wirkte sich vorwiegend in Südwesteuropa mit schweren Schäden aus (vgl. Erläuterungen des DWD in Anlage 11.1). Das Sturmtief zog jedoch auch über Frankreich, die Benelux-Staaten nach Deutschland. Auf Helgoland wurden jedoch keine außergewöhnlich hohen Windgeschwindigkeiten gemessen (vgl. Zeitreihe in Anlage 11.1).

7.3 Sturmtief Norina am 12.07.2010

Außergewöhnlich war der Durchzug des Sturmtiefs Norina am 12.07.2010 (vgl. Anlage 11.2), welches auf Helgoland und insbesondere auf der Düne schwere Schäden anrichtete (vgl. Zeitungsausschnitt in Anlage 2). Abbildung 7-1 zeigt das Wetterphänomen.



Abbildung 7-1: Wetterphänomen während des Durchzuges von Sturmtief Norina am 12.07.2010 (Quelle unbekannt)

Die installierte Kamera hat das Wetterphänomen ebenfalls aufgezeichnet, was aus der nachfolgenden Abbildung 7-2 ersichtlich wird. Die vom DWD gelieferten Windgeschwindigkeiten (vgl. Zeitreihe in Anlage 11.2) zeigen lediglich eine geringfügige Erhöhung der mittleren Windgeschwindigkeiten auf ca. 10 m/s zum Zeitpunkt des Durchzuges des Sturmes.

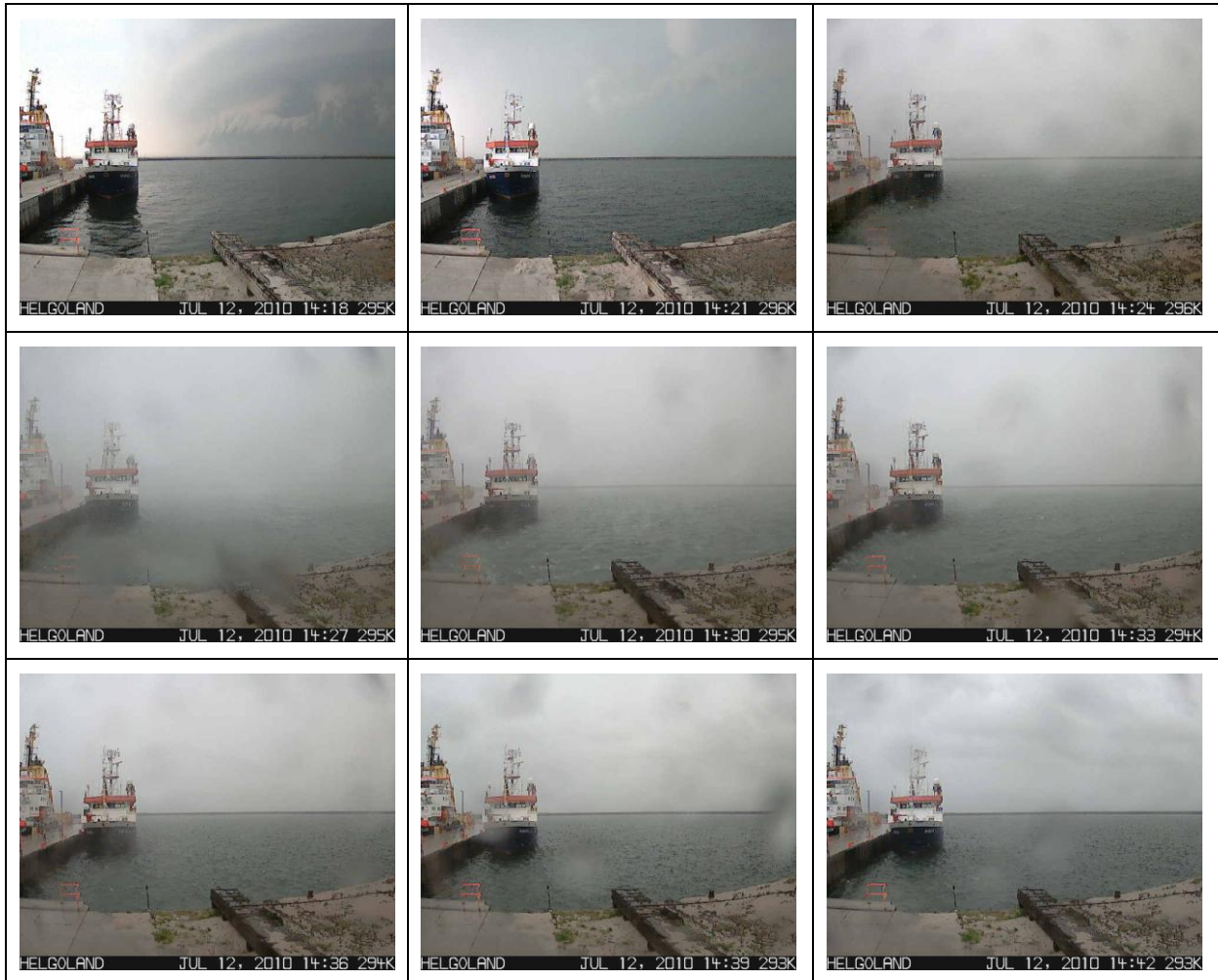


Abbildung 7-2: Aufgezeichnete Bilderserie bei Durchzug des Sturmtiefs Norina am 12.07.2010

7.4 Sturmereignis am 08.09.2010

Anfang September 2010 zog ein kräftiges Sturmtief durch, bei dem stundengemittelte Windgeschwindigkeiten von rund 20 m/s erreicht wurden. Dieses Sturmtief ist insofern besonders, weil der Wind und damit auch der Seegang (Windwellen und Dünung) aus Richtung OSO, also direkt in den Vorhafen einlaufen konnten (vgl. Anlage 11.3). Diese Wetterlage war über mehrere Tage (seit dem 05.09.2010) stabil.

Während des Sturmmaximums am 08.09.2010 traten an der Südkaje signifikante Wellenhöhen des Seeganges ($T < 10$ s) zwischen 0,8 m und 1,6 m auf. Gleichzeitig traten relativ hohe Wellenhöhen für den Schwell auf, der sich aufgrund der sehr stabilen Wetterlage aufbauen konnte und ebenfalls in den Vorhafen eingelaufen ist. Die signifikanten Wellenhöhen des Schwell lagen zwischen 0,2 m und 0,4 m. Langperiodische Schwingungen blieben lediglich im Zentimeterbereich.

In Summe trafen am 08.09.2010 relativ hoher Seegang aus Windwellen und Schwell zusammen an der Südkaje auf. Auf die Zeitreihendarstellungen in Anlage 11.3 wird verwiesen.

7.5 Sturmtief Carmen am 11./12.11.2010

Im November 2010 passierte das Sturmtief Carmen das Seegebiet Helgoland (vgl. Unterlagen in Anlage 11.4).

Das Sturmtief Carmen zeichnete sich durch einen schnellen Anstieg der mittleren Windgeschwindigkeiten auf über 20 m/s aus. Mit steigender Windgeschwindigkeit drehte der Wind zunehmend auf südliche Richtung, so dass am Nachmittag des 11.11.2010 bei maximaler Windgeschwindigkeit der erzeugte Seegang direkt in den Vorhafen einlaufen konnte. Die Wellenboje registrierte zu dem Zeitpunkt eine signifikante Wellenhöhe von rund 3 m. An der Südkaje wurden signifikante Wellenhöhen des Seeganges in der Größenordnung von 1,9 m erreicht; der Schwell lag lediglich in der Größenordnung von 0,2 m.

Am Abend des 11.11.2010 drehte der Wind auf West und nahm nach einer kurzzeitigen Verringerung wieder an Stärke zu, so dass im Verlauf des 12.11.2010 die an der Wellenboje registrierte signifikante Wellenhöhe auf über 6 m anstieg.

Während der an der Südkaje und Ostmole analysierte Seegang sich gegenüber dem Vortag deutlich reduzierte auf rund 0,6 m bis 0,8 m, stieg der Schwell deutlich an. Leider sind für die Südkaje keine Messdaten auswertbar gewesen; an der Ostmole wurde eine Wellenhöhe des Schwell von ca. 0,8 m analysiert, von der angenommen werden darf, dass diese Wellenhöhe ebenfalls an der Südkaje mindestens erreicht worden ist.

7.6 Sturmflutereignis am 04./05.02.2011

Während des Sturmflutereignisses am 04./05.02.2011 hatte sich aus einer stabilen Westwindlage die Windgeschwindigkeit stetig erhöht. Für Helgoland wurden stundegemittelte Windgeschwindigkeiten zwischen 16 m/s und 19 m/s gemessen. An der deutschen Nordseeküste liefen die Wasserstände zwischen 1 m und 2,5 m höher auf (s. Unterlagen in Anlage 11.5).

Aus der Perspektive der Messkampagne ist interessant zu beobachten, dass aufgrund der westsüdwestlichen Windrichtung verhältnismäßig geringer Seegang an der Südkaje im Helgoländer Vorhafen auftrat (vgl. Analyse der Szenarien in Abschnitt 5.2), da dieser nur eingeschränkt in den Vorhafen einlaufen konnte.

Gleichwohl wurden jedoch relativ große Wellenhöhen für den Schwell (0,2 m bis 0,4 m) und die langperiodische Schwingung (0,08 m bis 0,16 m) ermittelt. Die Zeitreihendarstellungen in Anlage 11.5 zeigen für die Südkaje und die Ostmole einen identischen Verlauf der analysierten Wellenhöhen.

8 Zusammenfassung

Im Rahmen der IMS-Studie *Entwicklung eines Nutzungskonzeptes für die Helgoländer Häfen* wurden Naturmessungen im Helgoländer Vorhafen über die Gesamtdauer von 16 Monaten ausgeführt, um anhand derer für den geplanten Frachtumschlag an der Südkaje eine fundierte und abgesicherte Einschätzung über witterungsbedingte Nutzungseinschränkungen infolge Seegang und Schwell geben zu können. Dafür wurden zwei Messstationen eingerichtet und betrieben, die zeitsynchrone Messdaten der Wasserspiegelauslenkungen sowie zugehörige Fotos lieferten.

Zusammen mit Winddaten der Station Helgoland vom DWD, Seegangsdaten der Boje Helgoland SW vom BSH sowie Wasserstandsdaten des Südhafens vom WSA Tönning wurden die analysierten Wellenhöhen entsprechend der differenzierten Periodenbereiche Seegang ($T < 10$ s), Schwell ($10 \text{ s} < T < 50$ s) und langperiodische Schwingungen ($50 \text{ s} < T < 300$ s) als synoptischer Datensatz zusammengeführt.

Dieser synoptische Messdatensatz wurde auf vielfältige Weise hinsichtlich der vorhandenen einwirkenden hydraulischen Prozesse im Vorhafen analysiert, um der Frage möglicher Nutzungseinschränkungen eines geplanten Frachtumschlages an der Südkaje nachzugehen. Dabei spielen die Häufigkeit des Eintretens bestimmter Windbedingungen ebenso eine Rolle wie die Empfindlichkeit der eingesetzten Schiffe und der Verladetechnik gegenüber den herrschenden Seegangsbedingungen an der Kaikante.

Zusammenfassend können folgende Ergebnisse formuliert werden:

- Aufgrund der baulichen Gegebenheiten des Vorhafens und der Lage der Südkaje zur Einfahrt in den Vorhafen ist ein Frachtumschlag an der Südkaje im Besonderen abhängig von den in den Vorhafen einlaufenden Seegängen, d.h. die aus östlichen bis südlichen Richtungen anlaufenden Wellen können trotz Diffraktionseffekten direkt auf den Liegeplatz an der Südkaje zulaufen.
- Wellen mit einer Anlaufrichtung aus OSO (senkrecht zur Ausrichtung der Vorhafeneinfahrt) erreichen an der Südkaje maximale Größenordnungen.
- An der Südkaje konnten für den Zeitraum der Messkampagne folgende maximale signifikante Wellenhöhen für die folgenden Periodenbereiche analysiert werden:
 - Windwellen ($T < 10$ s), bezeichnet als Seegang, Größenordnung [Meter] maximale Wellenhöhe bis ca. 1,9 m an der Südkaje
 - Dünung/Schwell ($10 \text{ s} < T < 50$ s), bezeichnet als Schwellbereich, Größenordnung [Dezimeter] maximale Wellenhöhe bis ca. 0,4 m
 - langperiodischen Schwingungen ($50 \text{ s} < T < 300$ s) Größenordnung [Zentimeter] maximale Wellenhöhe bis ca. 0,2 m.

Bei welchen Seegangsbedingungen ein Frachtumschlag an der Südkaje noch schadensfrei und reibungslos durchgeführt werden kann, ist sowohl von den Seegangsbedingungen selbst, aber auch von der Seegangsempfindlichkeit der eingesetzten Schiffe und der praktizierten Verladetechnik abhängig. Diesbezüglich ist festzuhalten, dass die in den Vorhafen einlaufenden Wellen senkrecht auf das an der Südkaje festliegende Schiff

treffen, was zu dazu führt, dass die Tauchbewegung des Schiffes für den Frachtschlag maßgebend wird.

Bei welchen Bedingungen der Frachtschlag an der Südkaje durchgeführt werden kann, war explizit nicht Gegenstand der Untersuchungen. Den Kriterien des Kreises Pinneberg für die Durchführbarkeit des Ladebetriebes [22] folgend, kann der Frachtschlag an der Südkaje zu

- 86,3 % als uneingeschränkter Ladebetrieb, d.h. rund 315 Tage pro Jahr,
- 9,4 % als eingeschränkter Ladebetrieb, d.h. rund 34 Tage pro Jahr, und
- 4,3 % als unmöglicher Ladebetrieb, d.h. rund 16 Tage pro Jahr,

eingestuft werden.

Zur Minimierung möglicher Nutzungseinschränkungen sollte grundsätzlich darüber nachgedacht werden, inwieweit eine Anpassung der eingesetzten Schiffseinheiten und/oder der derzeitigen Verladetechnik denkbar und möglich ist, um die Zeiträume für uneingeschränkten oder auch eingeschränkten Ladebetrieb zu vergrößern.

Der vorliegende Bericht liefert ein umfassendes Bild der herrschenden Revierbedingungen und der Seegangsbedingungen im Helgoländer Vorhafen. Die erfassten und analysierten Messdaten können auch für weitergehende Untersuchungen herangezogen werden.

Hamburg, 19. Juli 2011

IMS Ingenieurgesellschaft mbH

gez. Peters

gez. Ruland

Übersichtslageplan

Zeichnungs-Nr. 90144-S-Ü-03,
Maßstab 1 : 7.500 / 1 : 5.000

Anlagen

- Anlage 1** Projektbeteiligte
- Anlage 2** Projektprotokoll
- Anlage 3** Revierbedingungen
- Anlage 3.1** Tidekennwerte Pegel Binnenhafen (WSA Tönning)
- Anlage 3.2** Informationen des BSH zu Wind- und Seegangsbedingungen in der Deutschen Bucht (Auszug aus [5])
- Anlage 3.3** Seegangsstatistiken für die Boje Helgoland SW (BSH)
- Anlage 3.4** Seegangsbedingungen im Seegebiet um Helgoland (Auszug des Seegangsatlas der BAW)
- Anlage 3.5** Windstatistik 25 Jahre (DWD)
- Anlage 4** Memo 90144-05 zu Diffraktionseffekten bei Hafeneinfahrten
- Anlage 5** Zusammenfassung der „Modellversuche zur Dämpfung des Schwells im Helgoländer Vorhafen“ des Franzius Institutes (1954) [17] als Textauszug aus [2]
- Anlage 6** Memo 90144-06 – Vorgehensweise Seegangsanalyse
- Anlage 7** Nutzungseinschränkungen bei einem Frachtumschlag an der Südkaje nach [22]

Anlagen zur Dokumentation der Messungen

- Anlage 8** Messkonzept
– Unterlage für das WSA Tönning vom 05.11.2009
- Anlage 9** Unterlagen zu Messtechnik und Messgeräten
- Anlage 10** Dokumentation einzelner Seegangs- und Schwellereignisse im Helgoländer Vorhafen (WSA Tönning)
- Anlage 11** Dokumentation besonderer Ereignisse
- Anlage 11.1** Sturmtief Xynthia am 27./28.02.2010
- Anlage 11.2** Sturmtief Norina am 12.07.2010
- Anlage 11.3** Sturmereignis am 08.09.2010
- Anlage 11.4** Sturmtief Carmen am 11./12.11.2010
- Anlage 11.5** Sturmflut am 04./05.02.2011

Anlagen zur Darstellung der Ergebnisse

**Anlage 12 Gesamtübersicht Messzeiträume
02/2010 – 01/2011 und 02/2011 – 05/2011**

**Anlage 13 Wochenplots der Messergebnisse
von 01/2010 bis 05/2011**

**Anlage 14 Windstatistik für den Messzeitraum
02/2010 – 01/2011**

**Anlage 15 Dokumentation von Seegangsszenarien im
Helgoländer Vorhafen**

**Anlage 16 Memo 90144-04
- Schiffsbewegungen am Liegeplatz**

Anlage 17 Präsentation der Ergebnisse vom 17.06.2011

Digitale Anlagen der Messdaten und Auswertungen

Anlage 18 DVD – Daten und Auswertungen

Anlage 19 DVD – Messdaten der Messlokationen

Anlage 1

Projektbeteiligte

Anlage 2

Projektprotokoll

Anlage 3

Revierbedingungen

Anlage 3.1

Tidekennwerte Pegel Binnenhafen (WSA Tönning)

Anlage 3.2

Informationen des BSH zu Wind- und Seegangsbedingungen in der Deutschen Bucht (Auszug aus [5])

Anlage 3.3

Seegangsstatistiken für die Boje Helgoland SW (BSH)

Anlage 3.4

Seegangsbedingungen im Seegebiet um Helgoland

(Auszug des Seegangsatlas der BAW)

Anlage 3.5

Windstatistik 25 Jahre (DWD)

Anlage 4

Memo 90144-05 zu Diffraktionseffekten bei Hafeneinfahrten

Anlage 5

Zusammenfassung der „Modellversuche zur Dämpfung des Schwells im Helgoländer Vorhafen“ des Franzius Institutes (1954) [17] als Textauszug aus [2]

Anlage 6

Memo 90144-06 – Vorgehensweise Seegangsanalyse

Anlage 7

Nutzungseinschränkungen bei einem Frachtumschlag an der Südkaje nach [22]

Anlage 8

Messkonzept

– Unterlage für das WSA Tönning vom 05.11.2009

Anlage 9

Unterlagen zu Messtechnik und Messgeräten

Anlage 10

Dokumentation einzelner Seegangs- und Schwellereignisse im Helgoländer Vorhafen (WSA Tönning)

Anlage 11

Dokumentation besonderer Ereignisse

Anlage 11.1

Sturmtief Xynthia am 27./28.02.2010

Anlage 11.2

Sturmtief Norina am 12.07.2010

Anlage 11.3

Sturmereignis am 08.09.2010

Anlage 11.4

Sturmtief Carmen am 11./12.11.2010

Anlage 11.5

Sturmflut am 04./05.02.2011

Anlage 12

Gesamtübersicht Messzeiträume 02/2010 – 01/2011 und 02/2011 – 05/2011

Anlage 13

Wochenplots der Messergebnisse von 01/2010 bis 05/2011

Anlage 14

Windstatistik
für den Messzeitraum 02/2010 – 01/2011

Anlage 15

Dokumentation von Seegangsszenarien im Helgoländer Vorhafen

Anlage 16

Memo 90144-04 - Schiffsbewegungen am Liegeplatz

Anlage 17

Präsentation der Ergebnisse vom 17.06.2011

Anlage 18

DVD – Daten und Auswertungen

Anlage 19

DVD – Messdaten der Messlokationen



Ingenieurgesellschaft mbH

IMS Ingenieurgesellschaft mbH

Stadtdeich 7
20097 Hamburg

Tel. 040 32818-0
Fax 040 32818-139
info@ims-ing.de
www.ims-ing.de

