

# **Wasserrechtlicher Planfeststellungsantrag für die Errichtung eines FSRU-Schiffsanlegers mit Liegewanne und Zufahrtbereich**

## **LNG Voslapper Groden Nord 2**

**Teil B - Antragsunterlagen  
13 Strömungsmessungen  
FSRU Wilhelmshaven GmbH**

19. September 2023

## Kontakt

**KERSTIN ZÜLCH**  
Senior Consultant  
Genehmigungsverfahren

M +49 173 4102391  
E [kerstin.zuelch@arcadis.com](mailto:kerstin.zuelch@arcadis.com)

Arcadis Germany GmbH  
EUREF-Campus 10  
10829 Berlin  
Deutschland

---

**WEITERE BETEILIGTE**  
Georg Fank (extern)

## Inhalt

<b>13 Strömungsmessungen</b>	<b>4</b>
13.1 Zielsetzung	4
13.2 Durchführung	4
13.3 Messwertverarbeitung Darstellung	5
13.4 Zeitplan und Standort	7
13.4.1 Ergebnisse mobile Messungen	9
13.5 Ergebnisse stationäre Messungen	10
13.6 Übersicht der Dokumente	12

## Abbildungen

Abbildung 1: Aufbau der SiltProfiler- und ADCP-Messungen	5
Abbildung 2: Messkampagne Räumliche Visualisierung der Stromverteilung über einen Querschnitt	6
Abbildung 3: Überwachungsstandorte für mobile Messungen (Transekt), stationäre Messungen (Meeresbodengestell) und Darstellung geplanter Signalbojen.	8
Abbildung 4: Strömungsgeschwindigkeit (oben) und Strömungsrichtung (unten) gemessen vom ADCP zwischen dem 06.03.2023 und dem 13.03.2023. Die maximal beobachteten Strömungsgeschwindigkeiten erreichen bis zu 1,47 m/s und treten nahe der Wasseroberfläche auf.	10
Abbildung 5: Strömungsrichtung, Wellenrichtung, signifikante ( $H_s$ ) und maximale ( $H_{max}$ ) Wellenhöhe, signifikante ( $T_s$ ) und maximale ( $T_{max}$ ) Wellenperiode, wie sie vom ADCP zwischen dem 06/03/2023 und dem 13/03/2023 gemessen wurden.	12

## Tabellen

Tabelle 1: Mobile Messungen - Koordinaten des Transekts	8
Tabelle 2: mobile Messungen - Koordinaten des SiltProfilers und der Wasserproben	8
Tabelle 3: stationäre Messungen – Koordinaten Meeresbodenrahmen und Signalisierungsbojen	9
Tabelle 4: Ergebnisse der Gezeitenmessungen bei unterschiedlichen Gezeitenbedingungen und Messungen und Wasserproben zur Bestimmung von Salzgehalt, Temperatur und Schwebstoffkonzentrationen.	9
Tabelle 5: Überblick über die Statistik der Strömungsgeschwindigkeit und der Schwebstoffkonzentration in den verschiedenen Gezeitenphasen.	11

## 13 Strömungsmessungen

### 13.1 Zielsetzung

Die TdV hat IMDC mit der Durchführung einer metozeanischen Messkampagne beauftragt. Die wesentlichen Anforderungen und Ergebnisse der metozeanischen Messkampagne sind im Dokument „13.01\_Metoccean-Kampagne\_2049.06“ beschrieben.

Das Ziel der metozeanischen Kampagne bestand darin, Daten über die Bedingungen vor Ort zu sammeln und die notwendigen Daten für die Validierung der numerischen Modellierung des Projekts zu liefern. Der zur Erreichung dieses Ziels festgelegte Überwachungsbereich umfasst folgende Punkte:

- 2 (mobile) Gezeitenverlaufsmessungen über einen Zeitraum von 13 Stunden bei wechselnden Gezeitenbedingungen entlang eines vordefinierten Transekts.
- Eine Messkampagne mit stationärem Rahmen unter wechselnden Gezeitenbedingungen: Nipp-Spring-Gezeitenzyklus (33 Tage)
- Messungen und Wasserprobenahmen zur Bestimmung von Salzgehalt, Temperatur und Schwebstoffkonzentrationen.

### 13.2 Durchführung

Die mobilen Messungen, die auch als Durchgangsmessungen (13 h) bezeichnet werden, wurden auf einem vordefinierten Transekt (Satz von Mess- bzw. Beobachtungspunkten entlang einer geraden Linie) im Projektgebiet durchgeführt. Auf diesem Transekt wurde der Tidenhub in zwei Kampagnen bei unterschiedlichen Tidenkoeffizienten untersucht. Die metozeanische Kampagne bestand aus 2 Gezeitenmessungen. Die erste Kampagne wurde bei Nipptide durchgeführt (Tidenkoeffizient  $< 1$ ) und die zweite Kampagne wurde bei Springflut (Tidenkoeffizient  $> 1$ ) durchgeführt.

Während diesen mobilen Messungen wurden die Strömungsprofile entlang des Transekts mit einem ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) überwacht. Es wurde eine räumliche Ansicht des Strömungsmusters über die Transekte erfasst. Zusätzlich wurden Trübungsprofile mit dem SiltProfiler gemessen, um Profile der suspendierten Sedimente zu erhalten.

Während der Erstellung der SiltProfiler-Profile wurden Wasserproben entnommen, so dass eine Umrechnung von Trübung in Schwebstoffkonzentration (SSK) auf der Grundlage der Standortbedingungen erfolgen konnte. Durch die Kombination der ADCP-Rückstreudaten und der SSK -Daten konnte das SSK-Verhalten auf dem Transekt erfasst werden.

Für die stationäre Messungen wurde über einen Zeitraum von 33 Tagen im Projektgebiet ein Meeresbodenrahmen eingesetzt, um Daten über den gesamten Gezeitenzyklus von Nipptide bis Spring Tide zu erhalten. Nach 18 Tagen wurden die Daten aus dem Überwachungsinstrument heruntergeladen, die Sensoren gereinigt und die Batterien ausgetauscht. Der Meeresbodenrahmen wurde mit einem ADCP zur Aufzeichnung des Strömungsprofils in der gesamten Wassersäule, mit einem Aquadopp für die Strömungen in Bodennähe, einem LISST-AOBS für die Konzentration von Schwebstoffen und einer CTD für die Messung des Salzgehalts und einem OBS-3A für Trübungsmessungen ausgestattet. Das ADCP wurde zur Erfassung von Wellendaten eingesetzt.

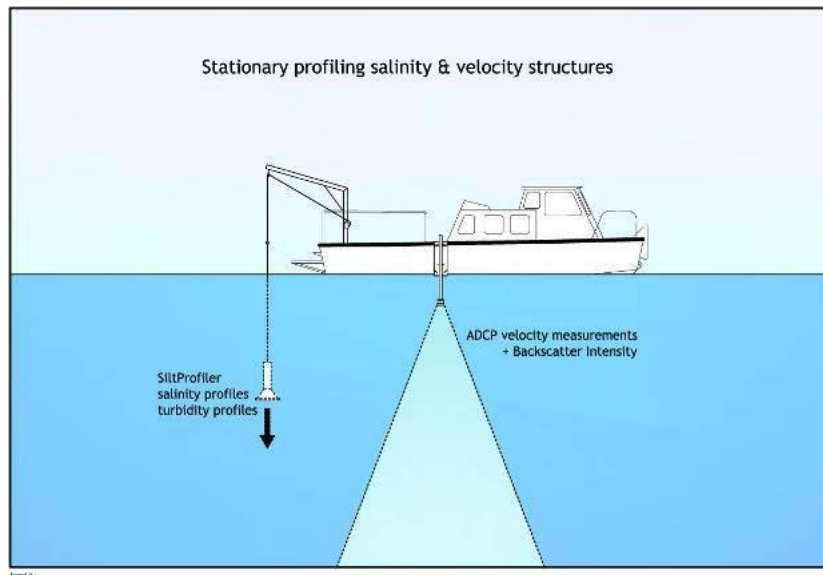


Abbildung 1: Aufbau der SiltProfiler- und ADCP-Messungen

### 13.3 Messwertverarbeitung Darstellung

Die gesammelten Daten wurden mit einem von IMDC entwickelten halbautomatischen Verarbeitungssystem verarbeitet. Der Vorteil dieses Systems ist, liegt in einer schnelleren Datenverarbeitung. Darüber hinaus wird durch die Vermeidung von Benutzerinteraktion in einem automatisierten System jede Form von Subjektivität bei der Bewertung der Daten verhindert. Die zugrunde liegenden Algorithmen basieren auf internationalen Methoden und Standards.

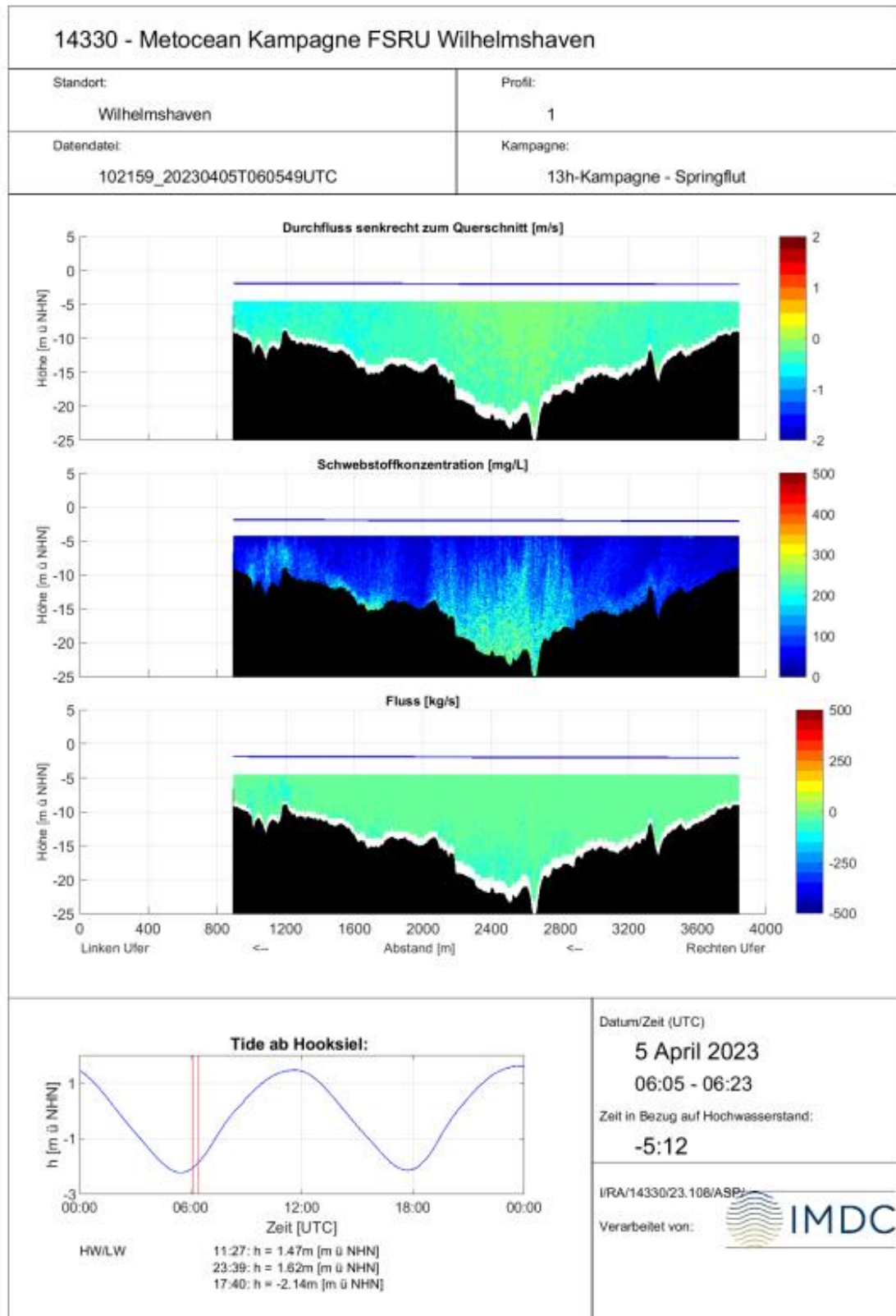


Abbildung 2: Messkampagne Räumliche Visualisierung der Stromverteilung über einen Querschnitt

## 13.4 Zeitplan und Standort

Es wurden zwei Kampagnen durchgeführt:

- Kampagne 1: Aussetzungsrahmen mit den vorgeschlagenen Geräten + Durchführung einer 13-stündigen Gezeitenkampagne ADCP bei Flut, zur Messung des gesamten Küstentranssekts + Entnahme von Proben für die SSK-Kalibrierung
- Kampagne 2: mindestens 4 Wochen später bei einem anderen Tidenhub, Wiederholung der 13-Stunden-Kampagne und Wiederherstellung des Rahmens

Der Zeitplan für die metozeanische Kampagne ist abhängig von:

- Wetterbedingungen
- Verfügbarkeit von Schiffen.

Die metozeanische Kampagne begann am 27. Februar 2023 und wurde am 5. April 2023 abgeschlossen. Die Vermessungsaktivitäten umfassen:

- 2 Gezeitenmessungen (TT) bei variablen Gezeitenbedingungen: durchgeführt am 29. März und 5. April 2023
- 33 Tage stationäre Messungen des Meeresbodens: vom 27. Februar bis 31. März 2023 mit Zwischenabfrage der Daten am 17. März 2023.

Für die mobilen Messungen wurde ein Transekt festgelegt, um das Überwachungsziel zu erreichen. Auch für die stationären Messungen wurde ein Überwachungsstandort festgelegt, der die Ergebnisse der kürzlich durchgeführten Kampfmitteluntersuchungen berücksichtigt. Für die stationären Messungen ist die Bettneigung sehr wichtig, da die Neigung des Überwachungsrahmens auf etwa 20° begrenzt ist. Daher hat der gewählte Bereich ein relativ flaches Bett.

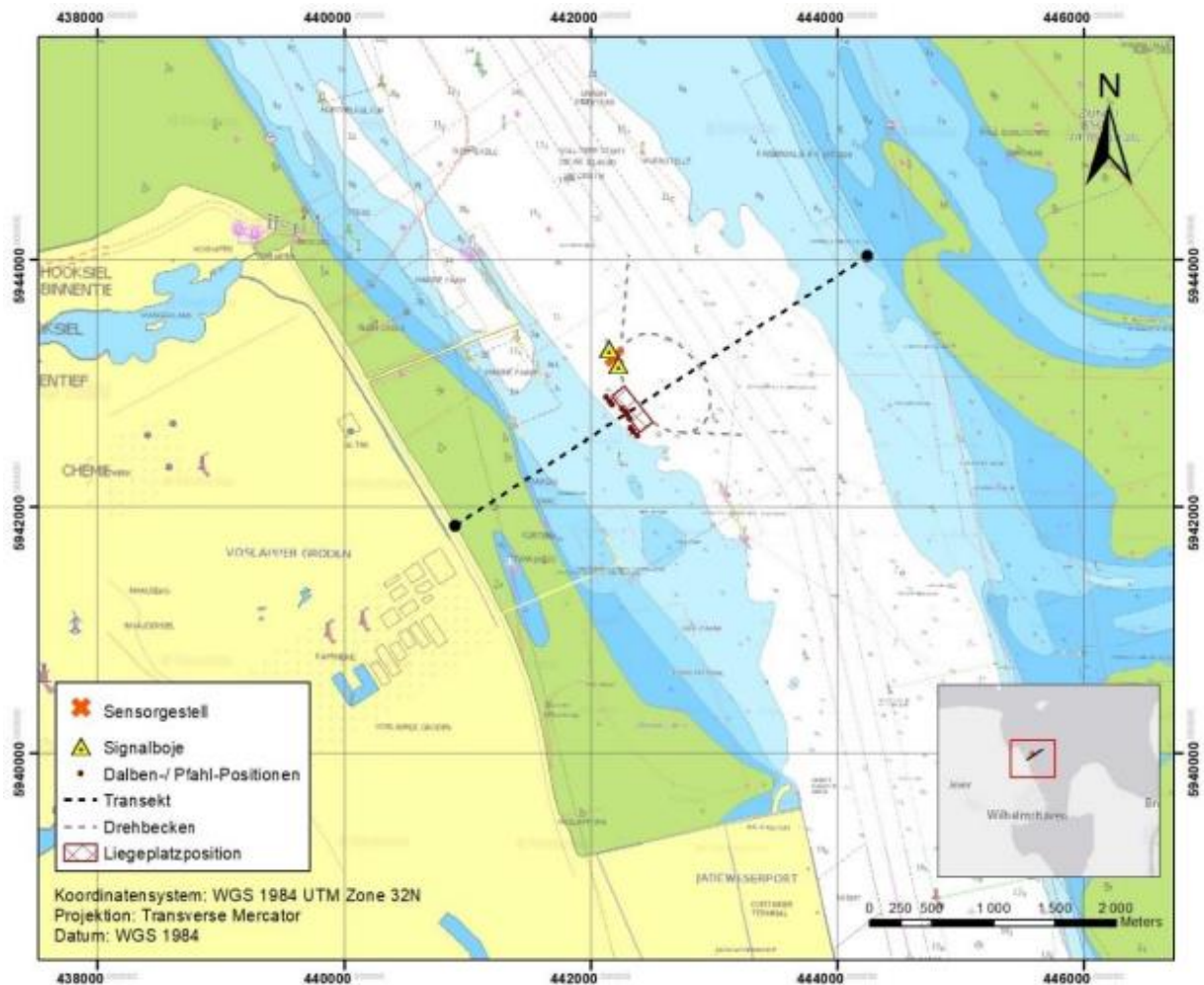


Abbildung 3: Überwachungsstandorte für mobile Messungen (Transekt), stationäre Messungen (Meeresbodengestell) und Darstellung geplanter Signalbojen.

Tabelle 1: Mobile Messungen - Koordinaten des Transekts

	O (UTM32 - WGS84)	N (UTM32 - WGS84)	LAT (ttmss - WGS84)	LÄNGE (ttmss - WGS84)
Transekt 1 (West)	440898	5941840	53° 37' 19.315" N	08° 06' 23.104" O
Transekt 1 (Ost)	444245	5944030	53° 38' 31.469" N	08° 09' 23.882" O

Tabelle 2: mobile Messungen - Koordinaten des SiltProfilers und der Wasserproben

Standort-ID	O (UTM32 - WGS84)	N (UTM32 - WGS84)	LAT (ttmss - WGS84)	LÄNGE (ttmss - WGS84)
1	442222	5942736	53° 37' 48.799" N	08° 07' 34.615" O
2	442463	5942733	53° 37' 48.803" N	08° 07' 47.730" O
3	444236	5944024	53° 38' 31.286" N	08° 09' 23.425" O



Tabelle 3: stationäre Messungen – Koordinaten Meeresbodenrahmen und Signalisierungsbojen

	O (UTM32 - WGS84)	N (UTM32 - WGS84)	LAT (ttmmss - WGS84)	LÄNGE (ttmmss - WGS84)	Tiefe (MSL)
Meeresbodengestell	442509	5942895	53°37'54.058"N	08° 07' 50.105" O	-13,96
Signalboje	442149	5943272	53° 38' 6.111" N	08° 7'30.261" O	-13,65
Signalboje	442224	5943144	53° 38'1.993" N	08° 7'34.415"O	-14,13

### 13.4.1 Ergebnisse mobile Messungen

Tabelle 4: Ergebnisse der Gezeitenmessungen bei unterschiedlichen Gezeitenbedingungen und Messungen und Wasserproben zur Bestimmung von Salzgehalt, Temperatur und Schwebstoffkonzentrationen.

	1e Messkampagne (Nipptide)		2e Messkampagne (Springtide)	
Max. Fließgeschwindigkeit	1,55 m/s	Zweimal erreicht: während der Ebbephase, 3 St. 30 Min nach dem oberen Pegelstand und während der Flutphase, 2 St. 30 Min. vor dem oberen Pegelstand. Bei beiden Kampagnen treten die höchsten Durchflussraten in der Regel nahe der Wasseroberfläche und in der Mitte des Transekts in der Nähe des Navigationskanals auf.	1,7 – 1,8 m/s	Zweimal erreicht: während der Ebbephase, 3 St. 30 Min nach dem oberen Pegelstand und während der Flutphase, 2 St. 30 Min. vor dem oberen Pegelstand. Bei beiden Kampagnen treten die höchsten Durchflussraten in der Regel nahe der Wasseroberfläche und in der Mitte des Transekts in der Nähe des Navigationskanals auf sowie bei Springtide in der Nähe des linken Ufers.
Max SSK. ADCP	300 mg/l	den ganzen Tag niedrig. Höhere Konzentrationen in der Nähe des linken Ufers und in der Nähe des Meeresbodens. Variiert mit den Gezeiten.	500 – 600 mg/l	Höchste Konzentrationen in der Nähe des Flussbetts
Max. SSK SiltProfiler	360 mg/l		615 mg/l	Mit der Tiefe zunehmende Sedimentkonzentrationen
Max. SSK Wasserproben	<327 mg/l		<400 mg/l	Diese niedrigen Konzentrationen lassen sich dadurch erklären, dass die Wasserproben einmal pro Stunde in der Wassersäule und nicht in der Nähe des Flussbetts entnommen werden.
Salinitätswerte	28 – 29,5 ppt	bleiben mit zunehmender Tiefe fast konstant. Nur geringe Schwankungen. Höchsten Werte bei Flut.	27,4 – 30 ppt	bleiben mit zunehmender Tiefe fast konstant. Salinitätswerte steigen im Laufe des Tages bis ca. 1 Stunde vor LW an, danach ist ein Rückgang zu beobachten.
Temperatur	8 – 8,5°C		8,4 – 8,7°C	

Ein Vergleich zwischen den beiden Gezeitenbedingungen zeigt mehrere Unterschiede. Während der Springflut werden höhere absolute Geschwindigkeiten gemessen, aber die maximalen Geschwindigkeiten treten in der gleichen Tidephase auf, d.h. etwa 3 Stunden vor HW und 3 Stunden vor LW. Die SSK-Konzentrationen sind bei Springflut höher, was zu erwarten ist, da die Strömungsgeschwindigkeiten höher sind und das Wasser daher mehr Sedimente transportieren kann.

## 13.5 Ergebnisse stationäre Messungen

Die höchsten beobachteten Strömungsgeschwindigkeiten liegen bei bis zu 1,47 m/s und treten nahe der Wasseroberfläche auf (Abbildung 4, oben). Die durchschnittliche Strömungsrichtung beträgt bei Ebbe ca. 132° und bei Flut 315° und ist in der gesamten Wassersäule nahezu konstant (Abbildung 4, unten).

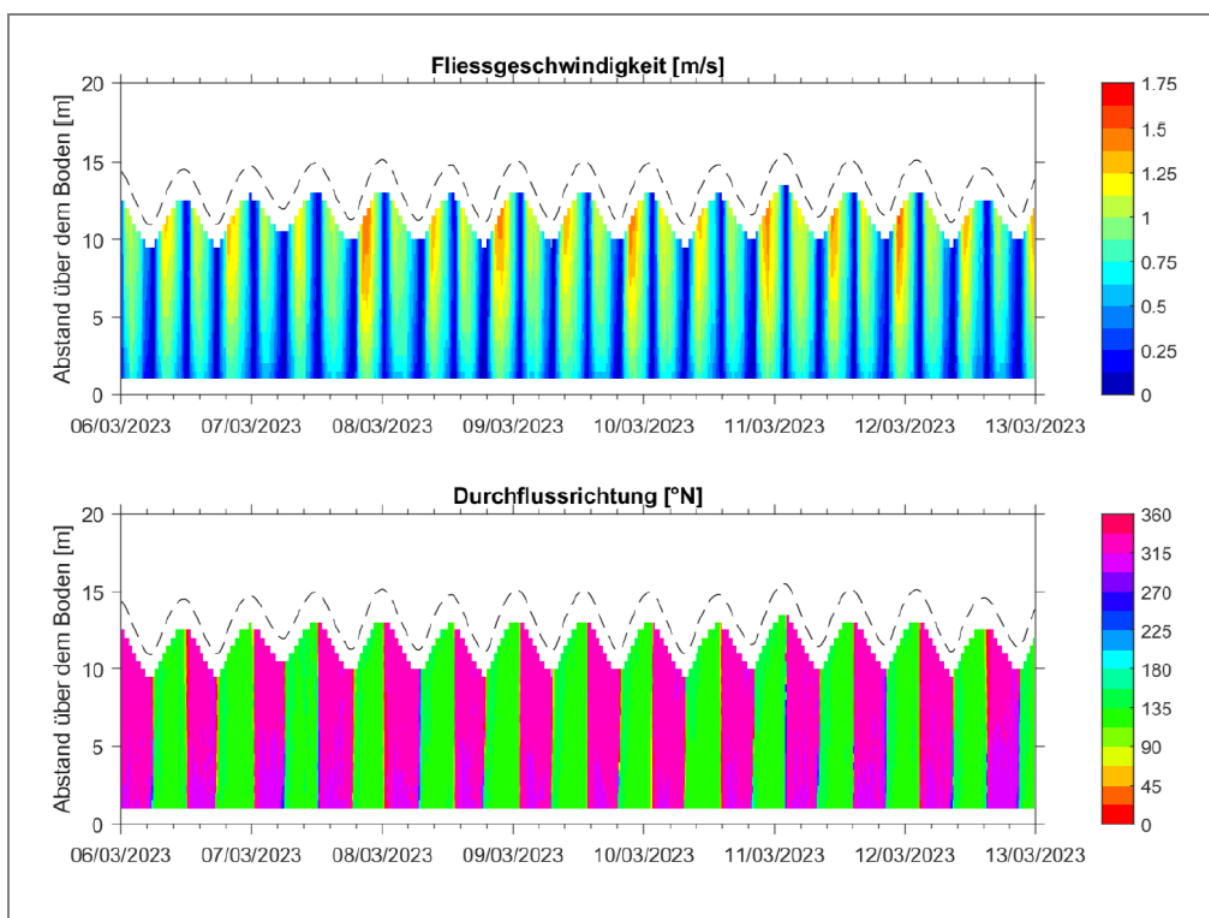


Abbildung 4: Strömungsgeschwindigkeit (oben) und Strömungsrichtung (unten) gemessen vom ADCP zwischen dem 06.03.2023 und dem 13.03.2023. Die maximal beobachteten Strömungsgeschwindigkeiten erreichen bis zu 1,47 m/s und treten nahe der Wasseroberfläche auf.

Was die Gezeitenbedingungen während der stationären Messungen angeht, sind die Ergebnisse zu Fließgeschwindigkeit und SSK in Tabelle 5 zusammengefasst. Die dargestellten Werte umfassen die maximale, vom ADCP gemessene tiefengemittelte Fließgeschwindigkeit und die maximalen, tiefengemittelten SSK-Werte, die mit dem OBS-3A (für die Schlickfraktion) und dem LISST-ABS (für die Sandfraktion) gemessen wurden.

Tabelle 5: Überblick über die Statistik der Strömungsgeschwindigkeit und der Schwebstoffkonzentration in den verschiedenen Gezeitenphasen.

	Ebbe			Flut		
	Nipp	Durchschnitt	Spring	Nipp	Durchschnitt	Spring
<b>Max. über die Tiefe gemittelte Strömungsgeschwindigkeit [m/s]</b>						
Mittelwert	0,83	0,90	0,99	0,51	1,06	1,19
	Ebbe			Flut		
	Nipp	Durchschnitt	Spring	Nipp	Durchschnitt	Spring
<b>Max. SSK [mg/l] – OBS-3A (Schlickfraktion)</b>						
Mittelwert	481	771	534	381	802	901
<b>Max. SSK [mg/l] – LISST-ABS (Sandfraktion)</b>						
Mittelwert	135	208	169	60	233	1150

Der mit dem OBS-3A gemessene maximale, tiefengemittelte SSK Wert (Schlickanteil) ist sowohl bei Ebbe als auch bei Flut positiv mit dem Gezeitenkoeffizienten auf der Hooksielplate korreliert, obwohl diese positive Korrelation während der Ebbephase weniger stark ist. Bei der Sandfraktion (gemessen mit dem LISST-ABS) ist die Korrelation zwischen SSK und dem Gezeitenkoeffizienten sehr stark. Im Gegensatz zu dieser starken Beziehung variiert die SSK (Sandfraktion) bei Ebbe nicht mit dem Gezeitenkoeffizienten. Aufgrund eines technischen Problems sind die Daten des LISST-ABS nur für den zweiten Einsatz verfügbar.

Die maximal beobachteten signifikanten Wellenhöhen ( $H_s$ ) während der Messkampagne erreichen bis zu 0,8 m. Die Wellenrichtungen folgen den vorherrschenden Strömungsrichtungen, wenn die Wellenhöhen niedrig sind (zwischen ca. 0,1 und 0,3 m). Höhere Wellen nähern sich aus dem Nordwesten ( $320^\circ$ ). Die mittlere beobachtete Wellenperiode beträgt 3,6 Sekunden. Es ist zu beachten, dass die Wellenmessungen nur über den Drucksensor verfügbar sind. Da sich das hydrodynamische Drucksignal mit der Tiefe abschwächt, ist der Teil des Wellenspektrums bei kurzen Wellenperioden (< 5s) weniger genau.

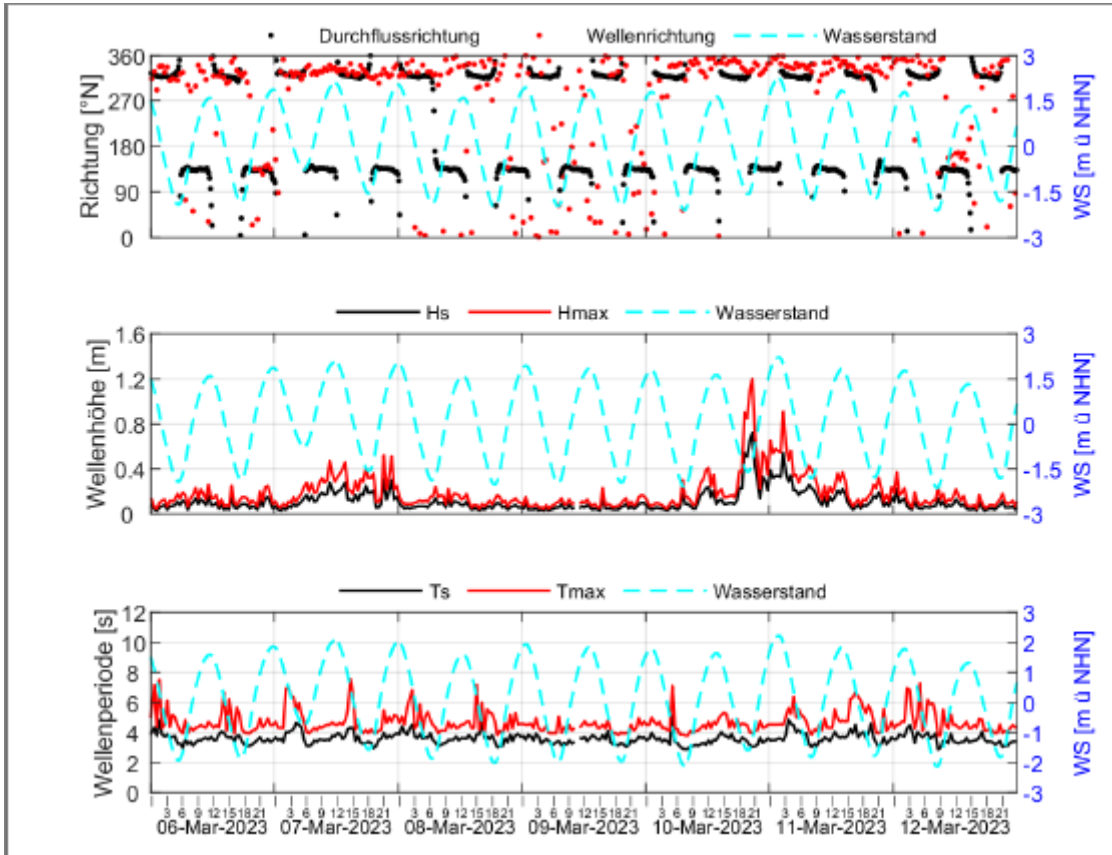


Abbildung 5: Strömungsrichtung, Wellenrichtung, signifikante ( $H_s$ ) und maximale ( $H_{max}$ ) Wellenhöhe, signifikante ( $T_s$ ) und maximale ( $T_{max}$ ) Wellenperiode, wie sie vom ADCP zwischen dem 06/03/2023 und dem 13/03/2023 gemessen wurden.

## 13.6 Übersicht der Dokumente

Kap.	Pos	Bezeichnung	Seiten
13	00	13.00_Strömungsmessungen	14
	01	13.01_Metoccean-Kampagne_2049.06	193

## Impressum

WASSERRECHTLICHER PLANFESTSTELLUNGSANTRAG  
FÜR DIE ERRICHTUNG EINES FSRU-SCHIFFSANLEGERS  
MIT LIEGEWANNE UND ZUFAHRTBEREICH  
LNG VOSSLAPPER GRODEN NORD 2  
TEIL B - ANTRAGSUNTERLAGEN  
13 STRÖMUNGSMESSUNGEN

**AUFTRAGGEBER**  
FSRU Wilhelmshaven GmbH

**AUTOR**  
Georg Fank (extern)

**DATUM**  
19. September 2023

## Über Arcadis

Arcadis ist das führende globale Planungs- und Beratungsunternehmen für die natürliche und die vom Menschen gestaltete Umwelt. Durch die weltweite Bündelung von lokalem Wissen und die Kombination unserer Expertise mit neusten digitalen Errungenschaften erzielen wir herausragende und nachhaltige Ergebnisse für unsere Kunden und deren Abnehmer. Wir sind 36.000 Menschen, die in mehr als 70 Ländern tätig sind und einen Umsatz von 4,2 Milliarden Euro erwirtschaften (basierend auf Pro-forma-Zahlen für das gesamte Jahr 2021). Wir unterstützen UN-Habitat mit Wissen und Expertise, um die Lebensqualität in schnell wachsenden Städten auf der ganzen Welt zu verbessern.

[www.arcadis.com](http://www.arcadis.com)

### **Arcadis Germany GmbH**

EUREF-Campus 10  
10829 Berlin  
Deutschland

T 030 767585900