JAHRESKENNBLATT 2009

Kurzfassung der Validierung

UnTRIM2 - SediMorph - UnK



R. Hagen
J. Freund
A. Plüß
R. Ihde

easygsh@baw.de

EasyGSH

BAW
Bundesanstalt für Wasserbau

Bundesministerium
für Verkehr und
digitale Infrastruktur

mFUND
Das Startkapital für die Mobilität 4.0

Bundesanstalt für Wasserbau (BAW), im Eigenverlag
Wedeler Landstraße 157
22559 Hamburg
Telefon: +49 (0) 721 9726-0
Telefax: +49 (0) 721 9726-4540
E-Mail: info@baw.de, www.baw.de

Urheberrecht
Alle Inhalte aus EasyGSH-DB sind urheberrechtlich geschützt. Sofern nicht anders ausgewiesen, stehen die Inhalte dieser Seiten unter einer CC BY 4.0 Lizenz (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) zur Verfügung. Soweit nicht anders angegeben liegen alle Bildrechte bei der BAW.

Hamburg, 16. Juli 2019

Vorwort

Dieses Dokument ist eine Kurzform der ausführlichen Modellvalidierung (Bundesanstalt für Wasserbau u. a., 2019) im Rahmen des F&E Projekts EasyGSH-DB. Entsprechend sind alle Darstellungen und Darlegungen im Zusammenhang mit den Modelleigenschaften, dem Modellaufbau und den Annahmen aus dem Hauptdokument zu verstehen. Vertiefte Informationen sind daher dem ausführlichen Validierungsdokument zu entnehmen.
Der Begriff „Jahreskennblatt“ umfasst validierungstechnisch relevante Darlegungen für jedes Simulationsjahr in EasyGSH-DB. Dies ist notwendig, um einen Überblick über die Modellgüte in dem betreffenden Jahr gewinnen zu können, falls eine Aussage auf Grundlage der Daten getroffen wird. In einem solchen Fall sind das jeweilige Jahreskennblatt sowie das zugehörige Hauptdokument zu referenzieren.
Bei Nachfragen und Anmerkungen richten Sie sich bitte an `easygsh@baw.de` oder besuchen Sie uns online auf `https://mdi-de.baw.de/easygsh/`.

Inhaltsverzeichnis

1 Pegelkarte **1**

2 Eingangsdaten **2**
2.1 Bathymetrie 2
2.2 Oberwasser 2
2.3 Wind 3
2.4 Fernwelle 3

3 Wasserstand **4**
3.1 Charakterisierung 4
3.2 Partialtiden 4
3.3 Charakteristische Pegelganglinien 6
3.4 Fehler 8
3.5 Tidekennwerte des Wasserstandes (TDKW) 8

4 Strömung **10**

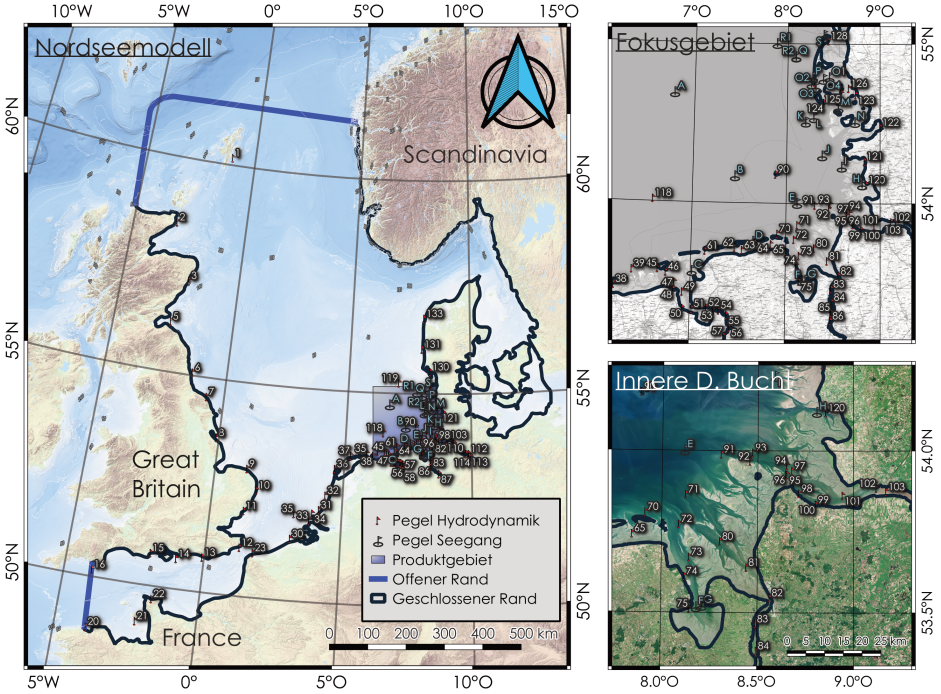
5 Salzgehalt **12**

6 Seegang **14**

Abkürzungsverzeichnis

BAW	Bundesanstalt für Wasserbau
EasyGSH-DB	Erstellung anwendungsorientierter synoptischer Referenzdaten zur Geomorphologie, Sedimentologie und Hydrodynamik in der Deutschen Bucht
hsig	signifikante Wellenhöhe
MAE	mean absolute error
max. Thb	maximaler Tidehub
max. Thw	maximales Tidehochwasser
max. Tnw	maximales Tideniedrigwasser
min. Thb	minimaler Tidehub
mittl. Thb	mittlerer Tidehub
mittl. Thw	mittleres Tidehochwasser
mittl. Tmw	mittleres Tidemittelwasser
mittl. Tnw	mittleres Tideniedrigwasser
RMSE	root mean square error
TDKW	Tidekennwerte des Wasserstandes

1 Pegelkarte



ID	Nat	Kurzname	Langname
1	UK	LER_UK	Lerwick
2	UK	WIK_UK	Wick
3	UK	ABD_UK	Aberdeen
5	UK	LEI	Leith
6	UK	NSH_UK	North Shields
7	UK	WTB_UK	Whitby
8	UK	IMM_UK	Immingham
9	UK	CRO_UK	Cromer
10	UK	LOW_UK	Lowestoft
11	UK	FEL_UK	Felixstowe
12	UK	DOV_UK	Dover
13	UK	NHA_UK	Newhaven
14	UK	PTM_UK	Portsmouth
15	UK	BOU_UK	Bournemouth
16	UK	DEV_UK	Devonport
20	F	ROS_FR	Roscoff
21	UK	JER_UK	St. Helier Jersey
22	F	CHE_FR	Cherbourg
23	F	CAL_FR	Calais
30	NL	VLS_NL	Vlissingen
31	NL	SVN_NL	Scheveningen
32	NL	IJB_NL	Ijmuiden
33	NL	HVL_NL	Haringvliet
34	NL	HVH_NL	Hoek van Holland
35	NL	EUP_NL	Euro Platform
35	NL	WRG_NL	Wierumergronden
36	NL	TXN_NL	Texel
37	NL	TSN_NL	Terschelling
38	NL	SMK_NL	Schiermonnikoog
39	NL	HUL_NL	Hubertgat
45	D	BOS	Borkum Suedstrand
46	D	BOF	Borkum Fischerbalje
47	D	EMS	Emshoern
48	NL	EEM	Eemshaven
49	D	DUK	Dukegat
50	NL	DEL	Delfzijl
51	D	KNO	Knock
52	D	EMD	Emden Neue Seeschleuse
53	D	POG	Pogum
54	D	GAN	Gandersum
55	D	TER	Terborg
56	D	LEEO	Leer Ort
57	D	WEE	Weener
58	D	PAP	Papenburg
61	D	NOY	Norderney Riffgat
62	D	LAN	Langeoog
63	D	BEN	Bensersiel
64	D	SPI	Spiekeroog
65	D	HARS	Harlesiel
70	D	WAN	Wangerooge_N
71	D	ALW	Leuchtturm Alte Weser
72	D	MPL	Mellumplate
73	D	HOO	Hooksielplate
74	D	VLP	Voslapp
75	D	WAV	Wilhelmshaven
80	D	DWG	Dwarsgat
81	D	RSS	Robbensuedsteert
82	D	BAL	Bremerhaven Alter Leuchtturm
83	D	NUF	Nordenham Unterfeuer
84	D	RFL	Rechtenfleth
85	D	BRA	Brake
86	D	EFL	Elsfleth
87	D	WBR	Weserbruecke
90	D	HEL	Helgoland Binnenhafen
91	D	BKA	Bake A
92	D	LZ5	Elbe_LZ5
93	D	VOG	Grosser Vogelsand
94	D	ZEH	Zehnerloch
95	D	LZ4b	Elbe_LZ4b
96	D	LZ4a	Elbe_LZ4a
97	D	LZ4	Elbe_LZ4
98	D	CUX	Cuxhaven
99	D	LZ3a	Elbe_LZ3a
100	D	LZ3	Elbe_LZ3
101	D	LZ2	Elbe_LZ2
102	D	BRUN	Brunsbuettel
103	D	LZ1	Elbe_LZ1
104	D	D4	Elbe_D4
105	D	GLUE	Glueckstadt
106	D	D3	Elbe_D3
107	D	GRAU	Grauerort
110	D	BLAN	Blankenese Unterfeuer
111	D	SEEM	Seemannshoeft
112	D	STP	St_Pauli
113	D	HAR	Harburg
114	D	BUNT	Bunthaus
118	D	FIN1	FINO-I
119	D	FIN3	FINO-III
120	D	BUS	Buesum
121	D	EISP	Eidersperrwerk
122	D	HUS	Husum
123	D	SSL	Schluettsiel
124	D	WIT	Wittduen
125	D	WYK	Wyk_Foehr
126	D	DAG	Dagebuell
127	D	HOH	Hoernum_Hafen
128	D	LIH	List
130	DK	ESB_DK	Esbjerk
131	DK	HVI_DK	Hvidesande
133	DK	THY_DK	Thyboron
A		NSB-III	Nordseeboje-III
B		DB	Deutsche Bucht
C		BAN	Bantsbalje
D		OTZ	Otzum-I
E		ELBE	Elbe
F		JAD-II	Jade-I
G		JAD-II	Jade-II
H		BUE	Buesum-I
I		SUP	Suederpiep
J		SUH	Suederhever
K		RUE	Ruetgerat
L		AMR	Amrum-I
M		SUA	Suederaue
N		NOH	Norderhever
O1		HOR4	Hoernum-I
O2		HOR3	Hoernum Loch-I
O3		HOR1	Hoernum Tief-I
O4		HOR2	Hoernum Tief-II
P		BUN	Bunkerhill
Q		SYLT	Sylt
R1		WES	Westerland
R2		WES-II	Westerland-II
S		LST	List-I

Abbildung 1: Übersichtskarte der Nordsee mit dem offenen Rand (blau), dem geschlossenen Rand (grau) und den Pegelstationen. Hintergrund (oben links) von EMODnet (EMODnet Bathymetry Consortium, 2016), Hintergrund (oben rechts, mitte rechts, unten) von ©Bundesamt für Kartographie und Geodäsie 2019 (`http://www.bkg.bund.de`, enthält geänderte Copernicus Sentinel Daten ab 2018).

2 Eingangsdaten

2.1 Bathymetrie

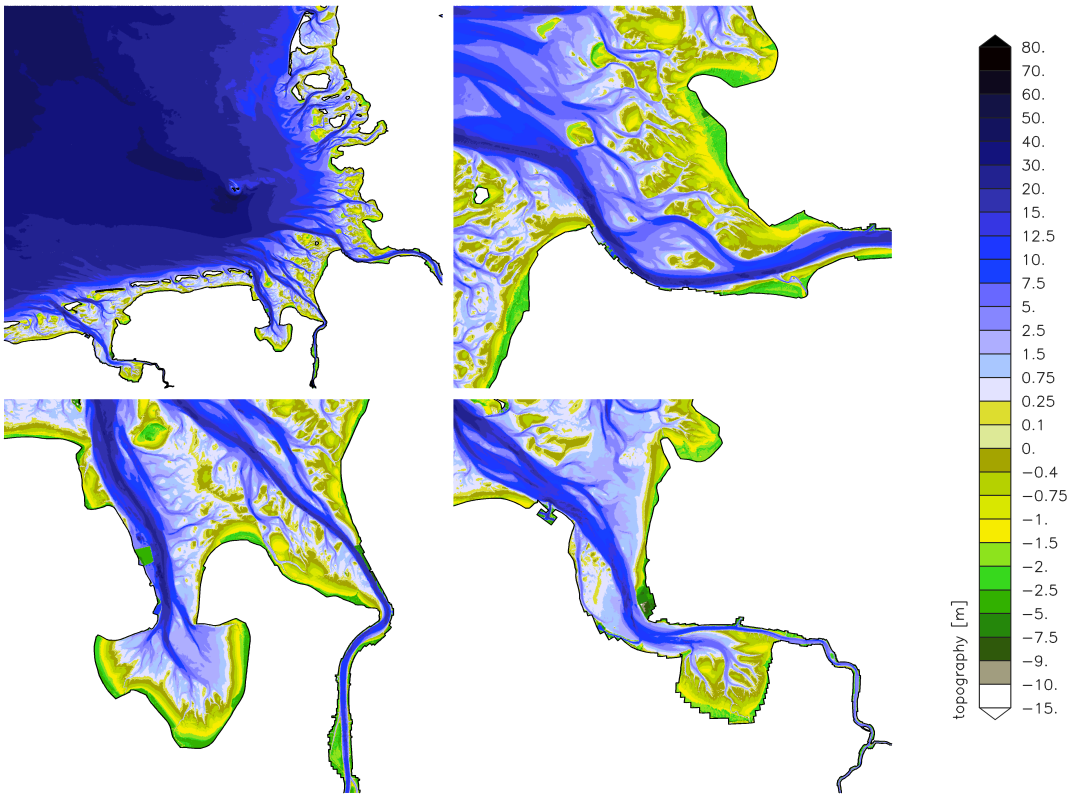


Abbildung 2: Jahresbathymetrie im Fokusgebiet Deutsche Bucht

2.2 Oberwasser

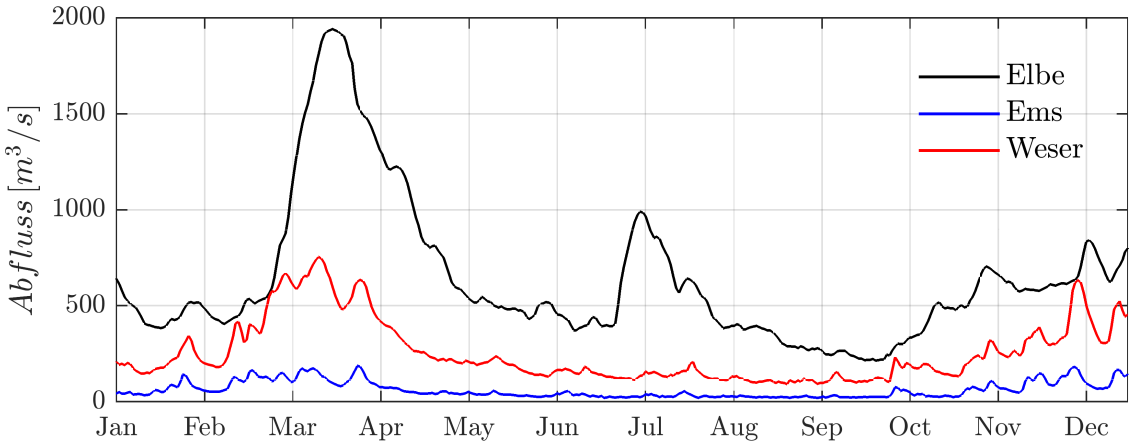


Abbildung 3: Abfluss in Weser, Ems und Elbe im Jahr 2009

Das Oberwasser im Jahr 2009 wird in Abb. 3 für die Elbe, die Weser und die Ems dokumentiert. Ein Überblick über alle Oberwasserzuflüsse kann dem Hauptdokument entnommen werden.

2.3 Wind

Anhand einer Windrose in Helgoland sollen die Windverhältnisse in der Deutschen Bucht für das Jahr 2009 charakterisiert werden. Abb. 4 zeigt die Windrichtung gleich der Definition der Strömungsrichtung an.

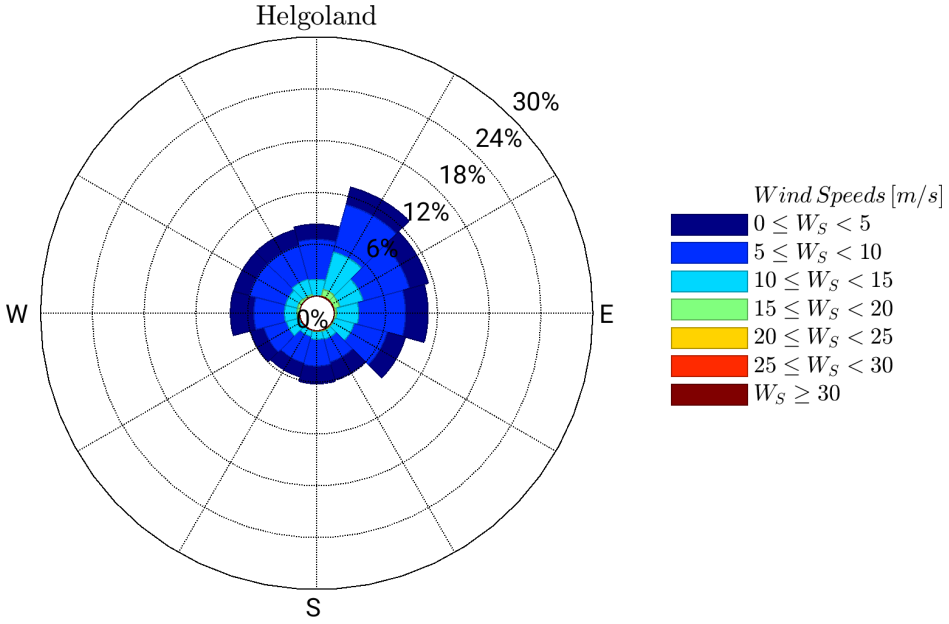


Abbildung 4: Windrose in Helgoland im Jahr 2009, Wind in Strömungsrichtung dargestellt.

Eine ausführliche Validierung des Windfeldes kann dem Hauptdokument entnommen werden.

2.4 Fernwelle

Als Fernwelle werden langperiodische Wasserstandsschwankungen aus dem Nordatlantik, welche vom Nord- und Südrand des Nordseemodells in die Deutsche Bucht eingetragen werden, verstanden. Diese wirken zusätzlich zu Astronomie, Coriolis und Meteorlogie. In Abb. 5 wird die Fernwelle am jeweiligen Nordseerand gezeigt.

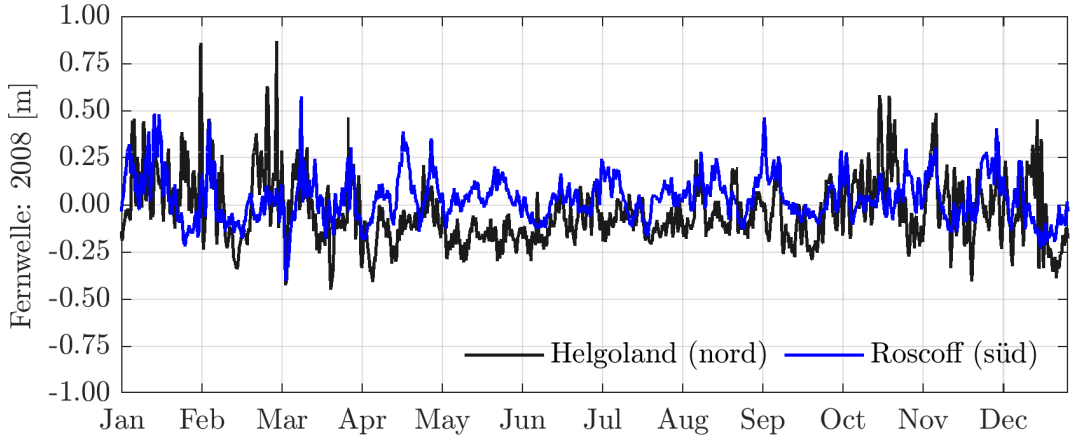


Abbildung 5: Fernwelle am Nord- und Südrand im Jahr 2009

Die Abschätzung der Fernwelle im EasyGSH-DB Nordseemodell wird durch die Differenz zwischen Messung und modellierter Tidedynamik vorgenommen. Die Assimilation wird an den Pegeln Lerwick (LER, UK) und Helgoland (HEL, D) für den nördlichen bzw. in Roscoff (ROS, FR) und Devonport (DEV, UK) für den südlichen Rand vorgenommen. Wasserstandsschwankungen aus der Ostsee werden vernachlässigt. Hintergründe zur Fernwellenberechnung sind dem Validierungsdokument (Bundesanstalt für Wasserbau u. a., 2019) zu entnehmen.

3 Wasserstand

3.1 Charakterisierung

Die Analyse der Messung des Wasserstands ergibt nachfolgende Tidekennwerte am Pegel Cuxhaven im Jahr 2009:

Tabelle 1: Tidekennwerte in Cuxhaven im Jahr 2009

maximales Tidehochwasser (max. Thw):	3.40	m
mittleres Tidehochwasser (mittl. Thw):	1.47	m
maximales Tideniedrigwasser (max. Tnw):	-2.46	m
mittleres Tideniedrigwasser (mittl. Tnw):	-1.42	m
maximaler Tidehub (max. Thb):	3.88	m
mittlerer Tidehub (mittl. Thb):	2.89	m
minimaler Tidehub (min. Thb):	1.37	m

Voraussetzung für die Beurteilung von Sturmfluten ist, dass die Datengüte für Betrachtungen nach DIN 4049-3 (1994) gegeben ist (Gönnert, 2003). Eine Sturmflut ist definiert als Überschreitung des mittleren Tidehochwassers um 1,50 m, eine schwere Sturmflut um 2,50 m und eine sehr schwere Sturmflut um mehr als 2,50 m.

Tabelle 2: Auflistung der Sturmfluten im Jahr 2009

Klassifizierung	Anzahl (-)	Wasserstand (m)	max. Thw (m)
Sturmflut	2	2.97 bis 3.97	3.40
Schwere Sturmflut	0	3.97 bis 4.97	0.00
Sehr schwere Sturmflut	0	über 4.97	0.00

In Abb. 20 und Abb. 9 werden charakteristische Pegelganglinien des Wasserstands für das Jahr 2009 dargestellt. Diese dienen der Unterstützung der nachfolgenden statistischen Modellgütekriterien. Ebenso kann dort die Qualität der enthaltenen Extremwertereignisse entnommen werden.

3.2 Partialtiden

In der Deutschen Bucht bestimmen halbtägige Partialtiden das Tidegeschehen. Die Amplitude der halbtägigen Mondgezeit M_2 ist dabei 10-fach größer als die zweitgrößte, ebenfalls halbtägige Partialtide S_2. Mit dem Einlaufen der Tidewelle in die Deutsche Bucht werden

durch das Aufsteilen Flachwassertiden generiert, welche im Validierungsdokument (Bundesanstalt für Wasserbau u. a., 2019) separat diskutiert werden. In Malcherek (2010) werden einige Partialtiden für die Deutsche Bucht empfohlen. Diese werden in Abb. 6 gezeigt.
In der Kurzvalidierung werden aus diesem Grund ausschließlich die absoluten Amplituden (siehe Abb. 6) sowie die Differenz zur Messung von M_2 (siehe Abb. 7) dargestellt. Zusätzlich werden bei den Differenzen die Fehlermaße mean absolute error (MAE) und root mean square error (RMSE) mit angegeben.

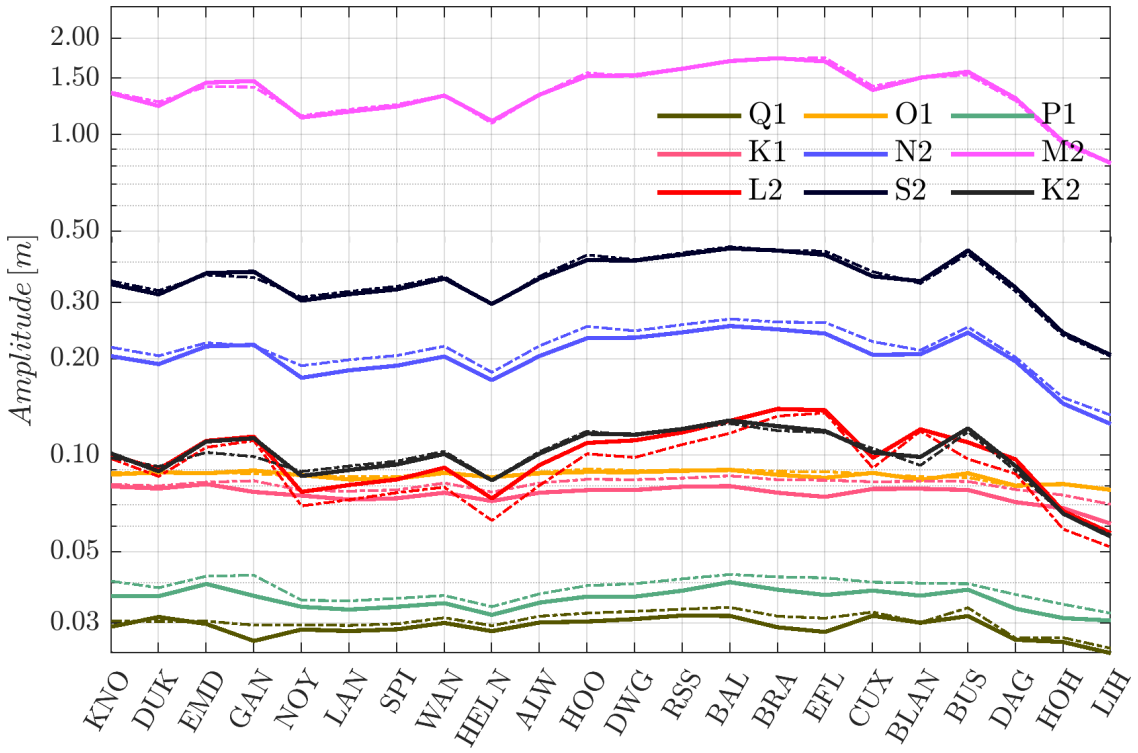


Abbildung 6: Ergebnisse der Partialtidenanalyse aus 2009 für Q1, O1, P1, K1, N2, M2, L2, S2 und K2 für die Deutsche Bucht. Flachwassertiden werden im Jahreskennblatt nicht gezeigt. Durchgezogene Linien repräsentieren die Messung, gestrichelte das Modell.

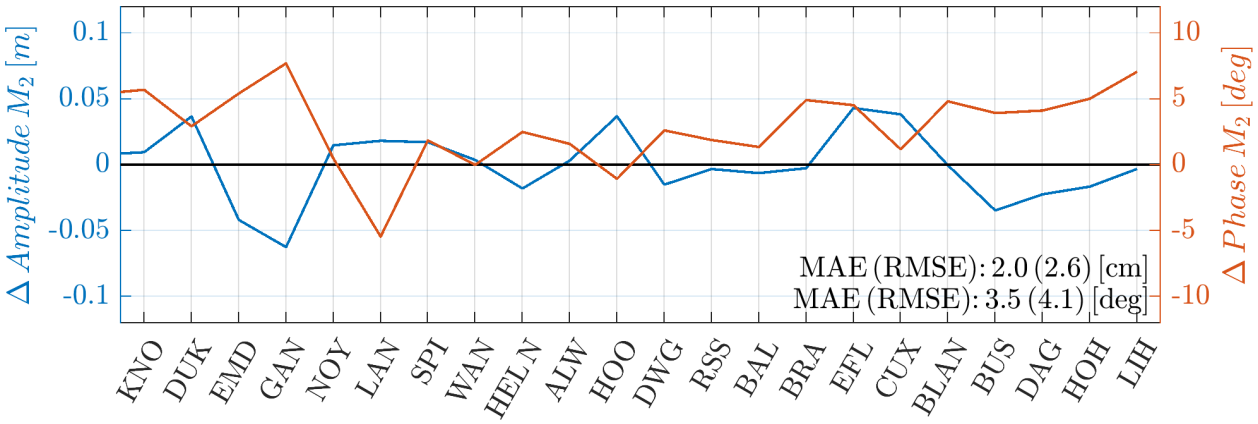


Abbildung 7: Ergebnisse der Partialtidenanalyse aus 2009 als Differenz zwischen Messung und Modell von Amplitude und Phase der M_2.

3.3 Charakteristische Pegelganglinien

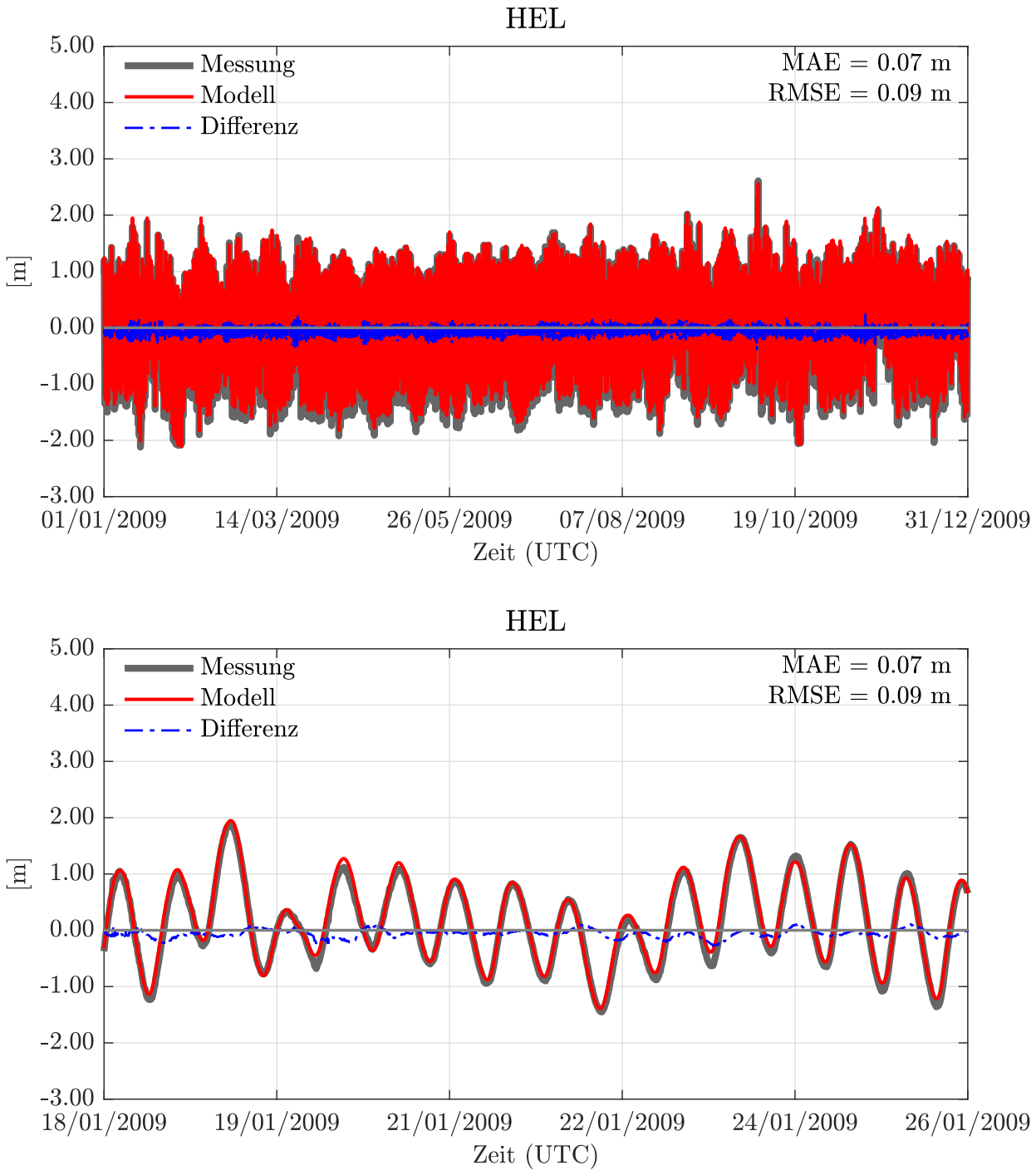


Abbildung 8: Pegelganglinien des Wasserstandes in Helgoland (2009) mit der Angabe des MAE und des RMSE, den Modelldaten in rot, den Messdaten in grau und den Differenzen in blau.

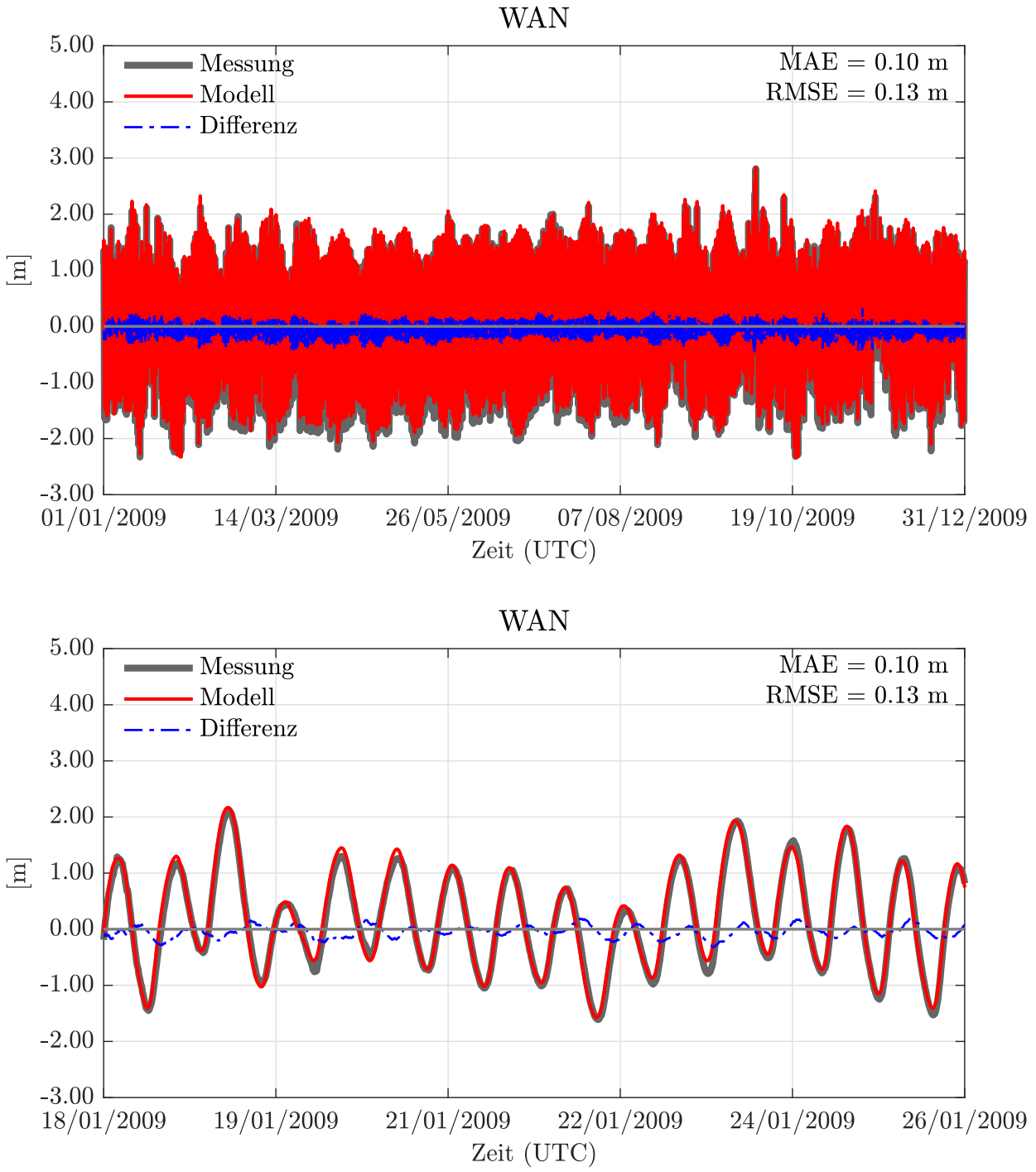


Abbildung 9: Pegelganglinien des Wasserstandes in Wangerooge Nord (2009) mit der Angabe des MAE und des RMSE, den Modelldaten in rot, den Messdaten in grau und den Differenzen in blau.

3.4 Fehler

Für jeden Zeitpunkt an dem Mess- und Modelldaten vorhanden sind, kann eine Differenz (Fehler) berechnet werden. Die Fehlermarge lässt sich über die Quantile der Fehlerverteilung charakterisieren. Eine geeignete Darstellung ist ein Box-Whisker Plot (Tukey, 1977) entsprechend Abb. 10.

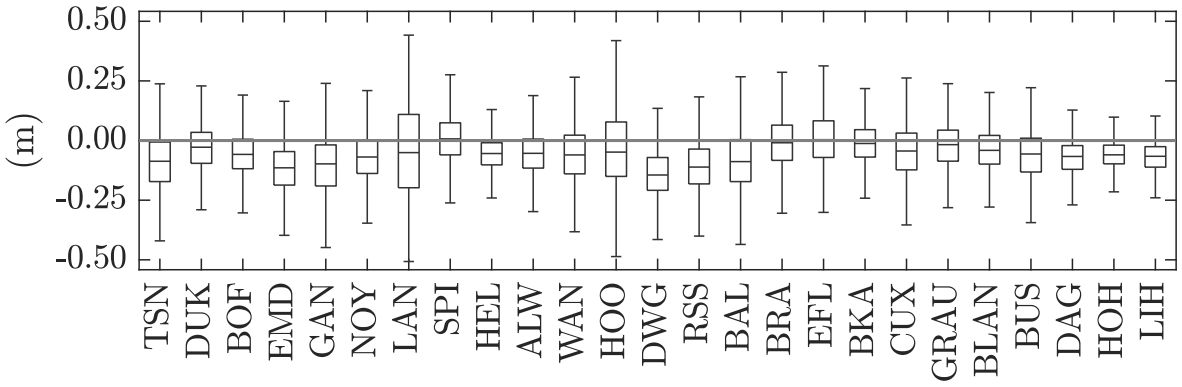


Abbildung 10: Fehlerverteilung des Wasserstandes im 2009

Aus der Fehlermenge von Abb. 10 lassen sich die Fehlerkennzahlen MAE und RMSE berechnen. Diese werden in Abb. 11 für alle Vergleichspegel im Jahr 2009 gezeigt.

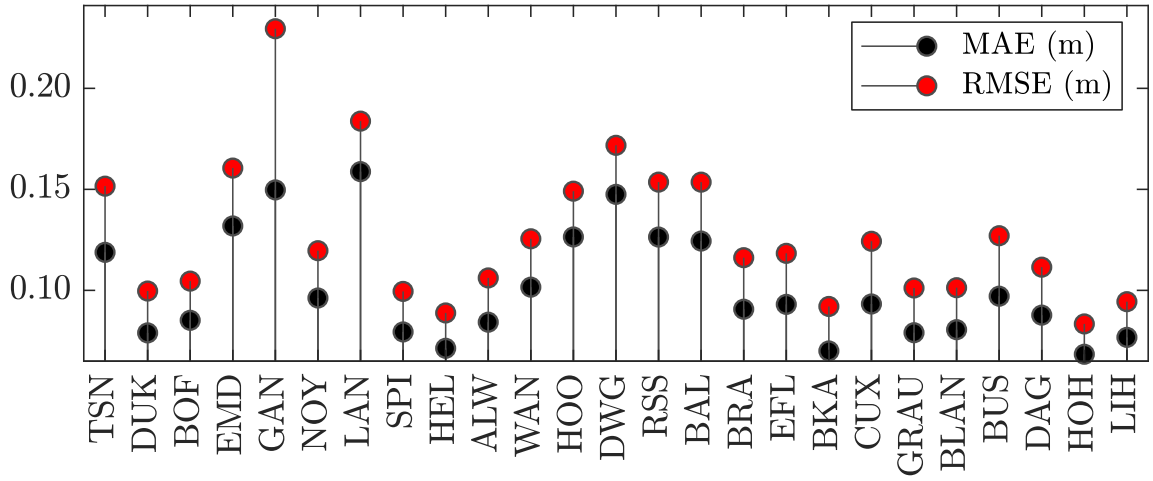


Abbildung 11: mean absolute error (MAE) und root mean square error (RMSE) des Wasserstands im 2009

3.5 Tidekennwerte des Wasserstandes (TDKW)

Die Fehler der Tidekennwerte des Wasserstandes (TDKW)

- mittlerer Tidehub (mittl. Thb)
- mittleres Tidemittelwasser (mittl. Tmw)
- mittleres Tidehochwasser (mittl. Thw)

werden in Abb. 12 gezeigt. Aus der Differenz des maximalen Tidehochwassers kann die Genauigkeit hinsichtlich der Extremereignisse des Jahres entnommen werden. MAE und RMSE werden aus den Tidekennwerten der Einzeltiden berechnet.
Eine kleine Differenz des Tidemittelwassers deutet darauf hin, dass Ebbe und Flut vom Modell gleichermaßen reproduziert werden.

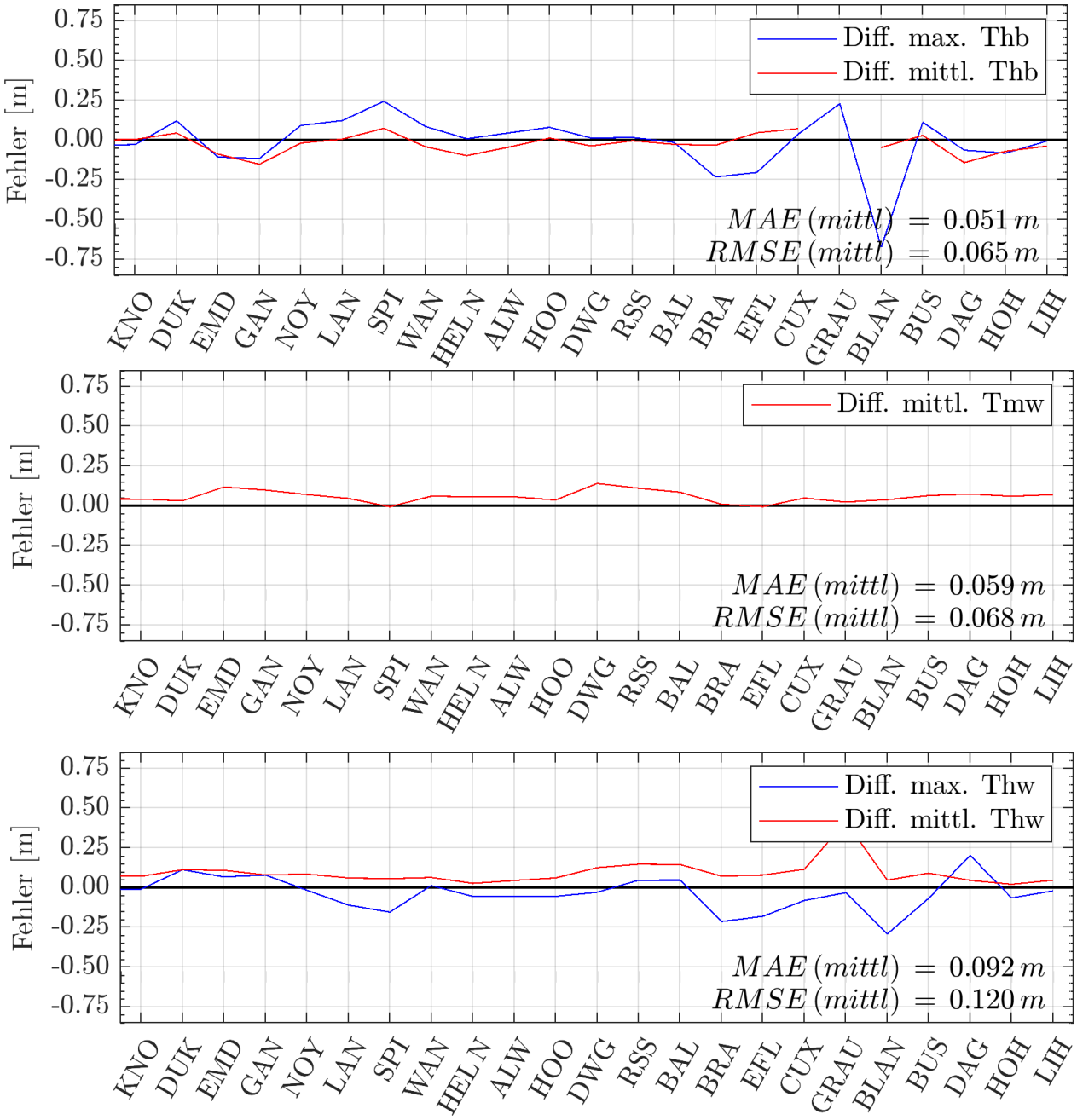


Abbildung 12: Fehler des mittlerer Tidehub (mittl. Thb), mittleres Tidemittelwasser (mittl. Tmw) und mittleres Tidehochwasser (mittl. Thw) im Jahr 2009

4 Strömung

Strömungsgrößen sind vektorielle Größen, dementsprechend muss für die Validierung in Vektorbetrag und der Vektorrichtung unterschieden werden. Zur Gegenüberstellung von Richtung und Betrag des Vektors werden Hodographen gezeigt, welche die x- und die y-Komponente eines Vektors von Messung und Modell im zweidimensionalen Raum darstellen.

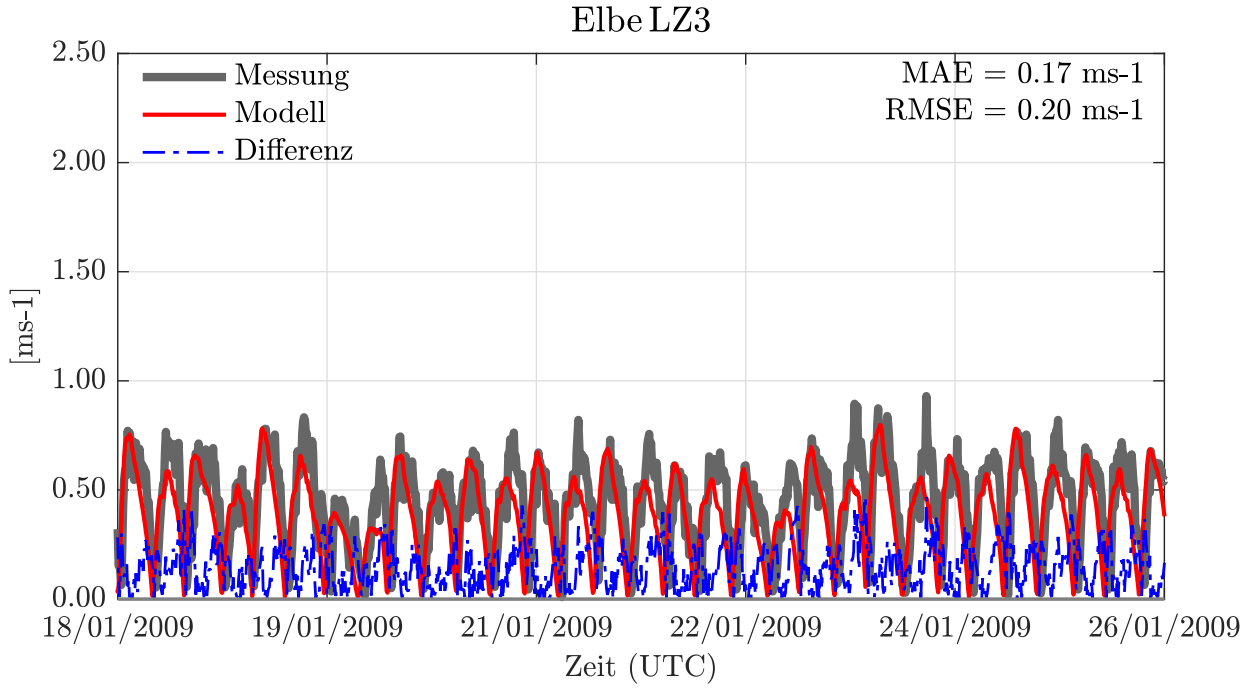


Abbildung 13: Ganglinie der Strömungsgeschwindigkeit (Magnitude) im Jahr 2009 in LZ3 mit der Angabe des MAE und des RMSE, den Modelldaten in rot, den Messdaten in grau und den Differenzen in blau.

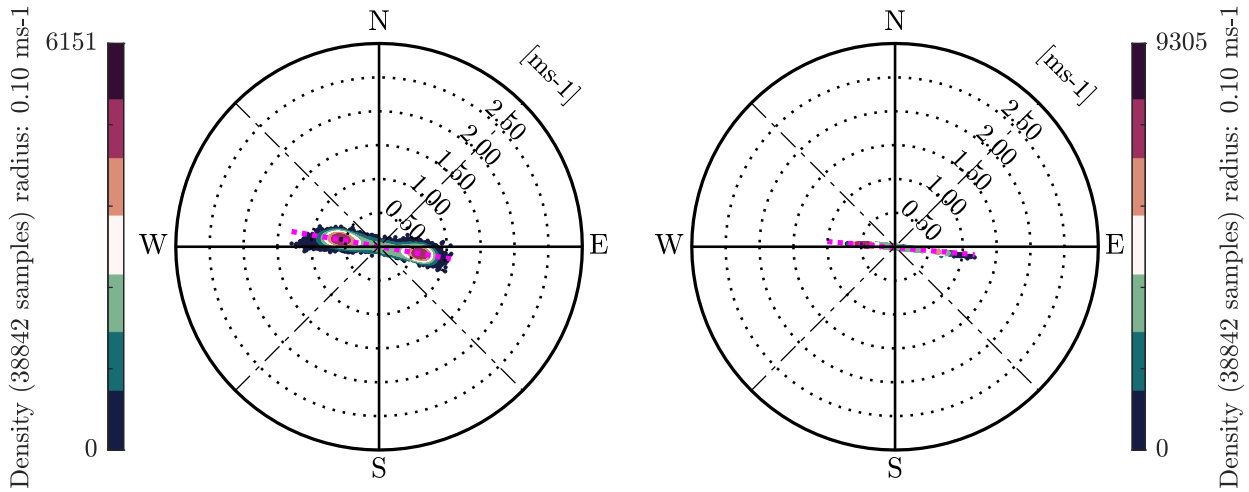


Abbildung 14: Hodograph der Strömung im Jahr 2009 in LZ3, mit einem robusten Regressionsansatz (pinke, gestrichelte Linie)

Durch die Darstellung einer Pegelganglinie der Magnitude der Strömungsgeschwindigkeit

kann überprüft werden, ob die Flut- bzw. Ebbstromcharakteristik des Pegels reproduziert wurde bzw. der Betrag der Strömung ausreichend groß ist.
Unsicherheiten sind hierbei die geringe Messgenauigkeit bei Strömungsmessungen (hinsichtlich Betrag und Richtung) sowie die Höhenlage der Messung. Zudem wird im Modell immer eine Fläche ausgewertet, die mehrere 100 m^2 umfasst, während eine Messung sich auf einen Punkt bezieht. Das heißt im Umkehrschluss, dass lokale Effekte (z.B. Lage an der Böschung einer Fahrrinne) vom Modell nicht ausreichend reproduziert werden können.

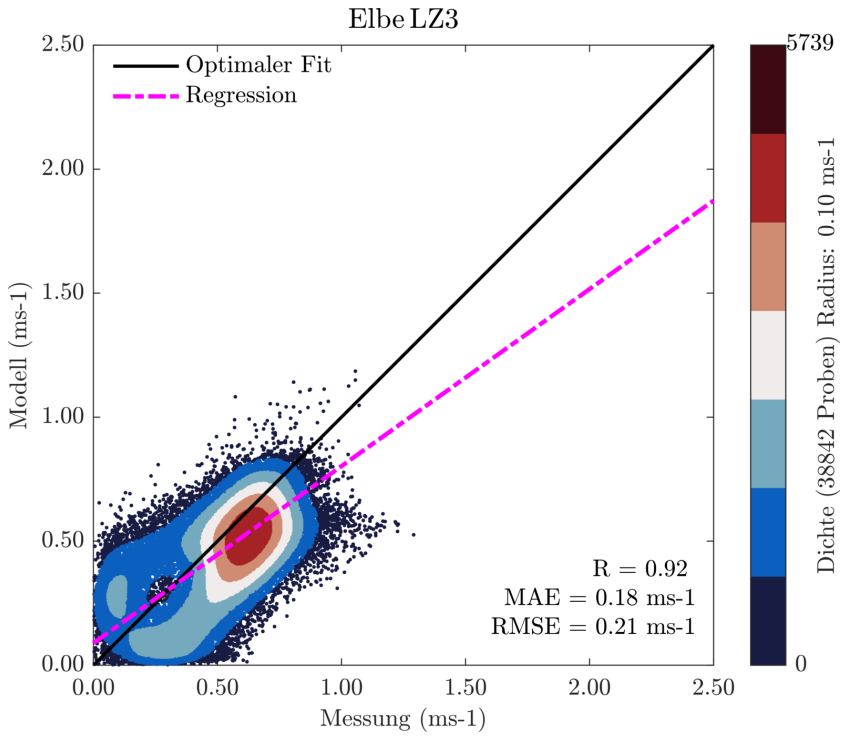


Abbildung 15: Scatterplot der Strömungsgeschwindigkeit (Magnitude) im Jahr 2009 in LZ3

Zum besseren Verständnis der Zeitreihe aus Abb. 13 wird ein Scatterplot der Magnitude gezeigt. Eine hohe Korrelation R weist darauf hin, dass die Phase des gemessenen Signals gut reproduziert wurde während eine Steigung der robusten Regression von $m = 1$ anzeigt, dass die Magnitude überwiegend vom Modell getroffen ist. Die Fehlermaße MAE bzw. RMSE sind ebenfalls, unter Berücksichtigung der o.g. Unsicherheiten, ein *Indikator* für den mittleren Fehler des Modells.

5 Salzgehalt

Für die Validierung des Salzgehalts gelten ähnliche Kriterien entsprechend Abschnitt 4. Da es sich bei dem Salzgehalt jedoch um eine skalare Größe handelt, wird zusätzlich zur Ganglinie eines charakteristischen Pegels der zugehörige Scatterplot gezeigt.

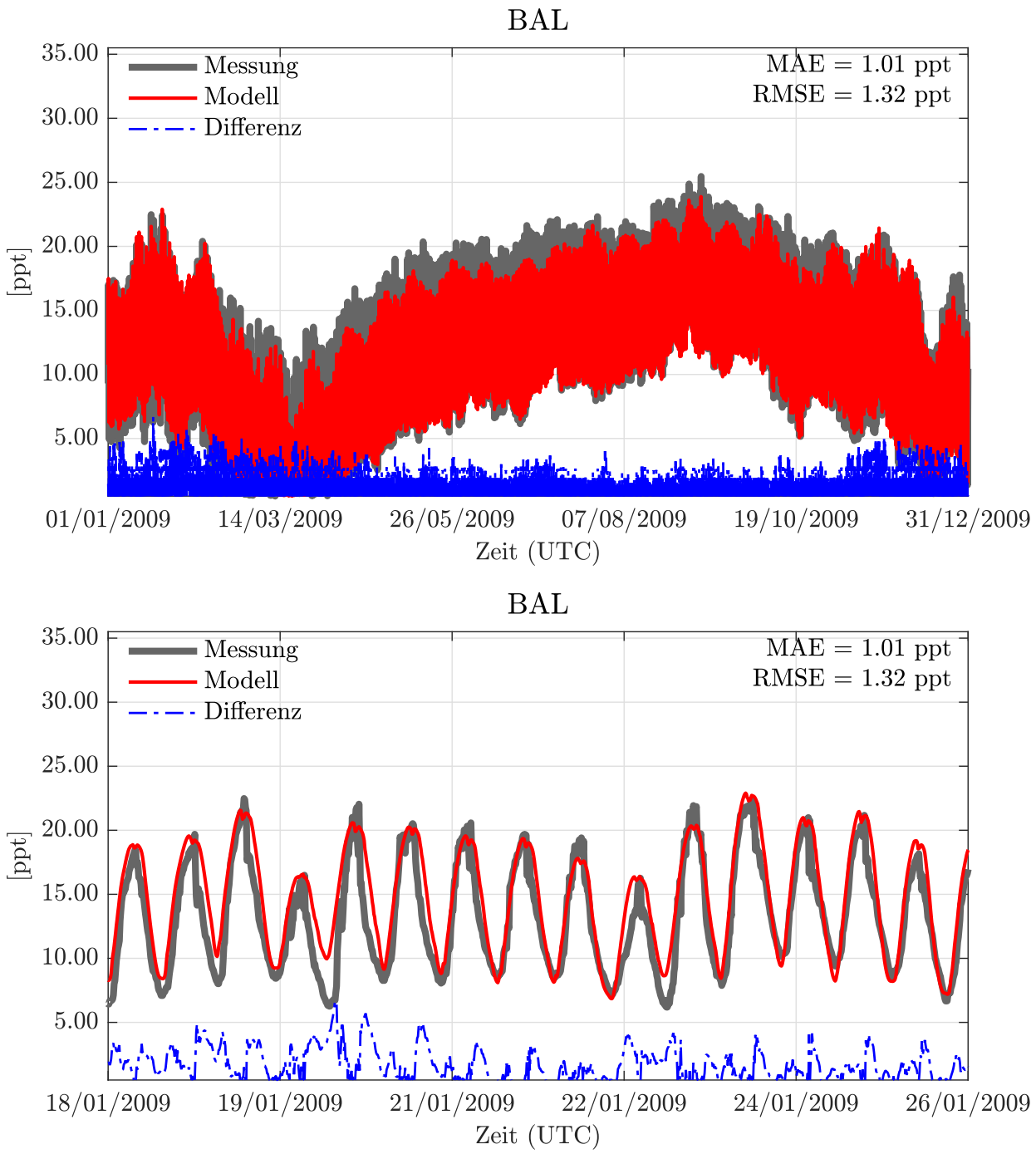


Abbildung 16: Ganglinie des Salzgehalts im Jahr 2009 in Bremerhaven alter Leuchtturm mit der Angabe des MAE und des RMSE, den Modelldaten in rot, den Messdaten in grau und den Differenzen in blau.

Zusätzlich zu Abb. 16 wird, analog zum Vorgehen aus Abschnitt 4, nachfolgend der Scatterplot der Ganglinie aus Abb. 16 gezeigt.
Erneut wird darauf geachtet, dass ein robuster Regressionsansatz, bei gleichzeitiger hoher Korrelation R, die Regressionsparameter $m = 1$ und $b = 0$ ergibt.

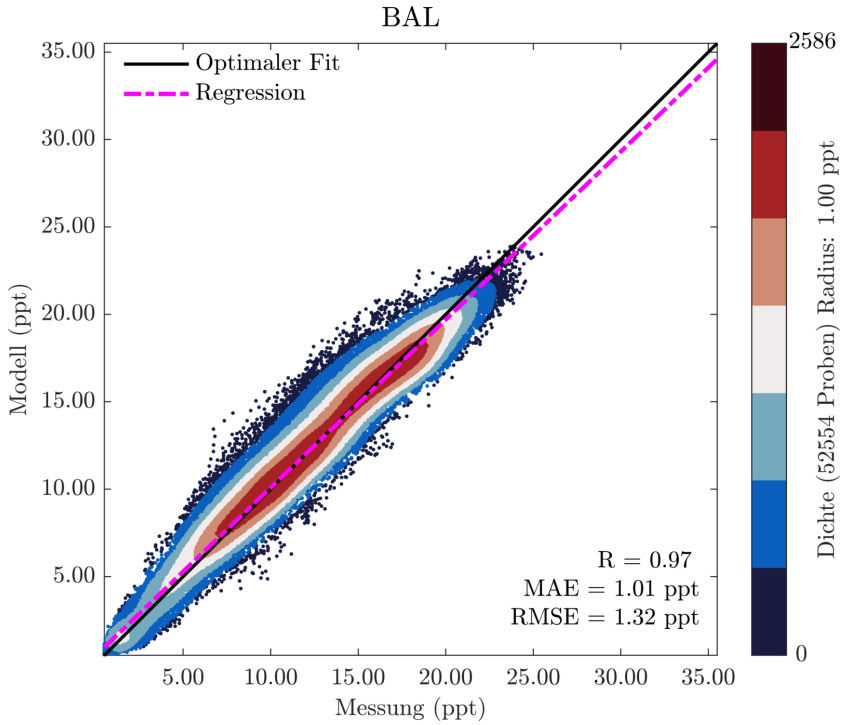


Abbildung 17: Scatterplot des Salzgehalts im Jahr 2009 in Bremerhaven alter Leuchtturm

Zur Beurteilung des Modellfehlers werden nachfolgend die Häufigkeitsverteilung der Fehler in der Box-Whisker Darstellung dargestellt.

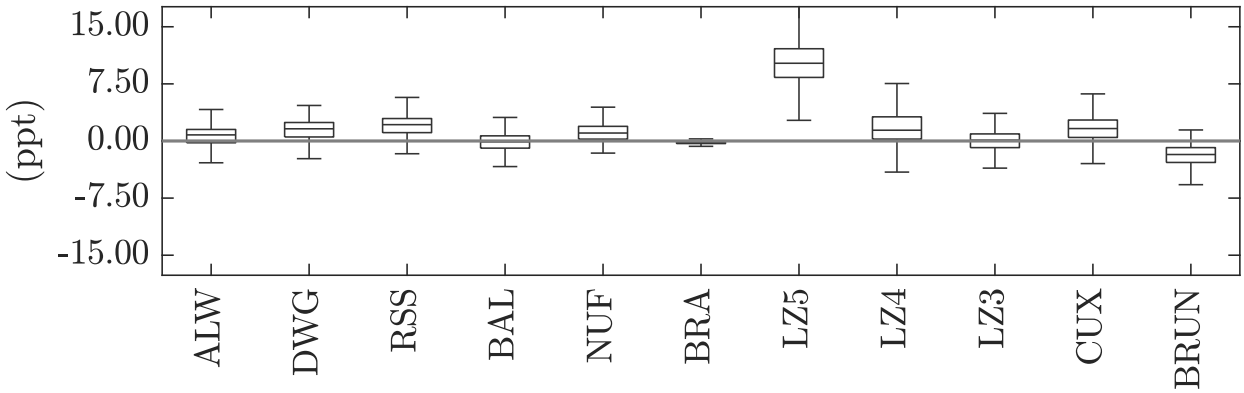


Abbildung 18: Fehlerverteilung des Salzgehalts für das Jahr 2009

6 Seegang

Zur Validierung des Seegangs wird eine charakteristische Ganglinie der signifikante Wellenhöhe (hsig) inkl. Scatterplot dargestellt. Aufgrund der hohen Fehleranfälligkeit und der geringen Quantität von Seegangsmessdaten, wird im Jahreskennblatt auf Darstellungen von allen verwendeten Messstationen abgesehen. Eine ausführliche Seegangsvalidierung kann dem Validierungsdokument (Bundesanstalt für Wasserbau u. a., 2019) entnommen werden.

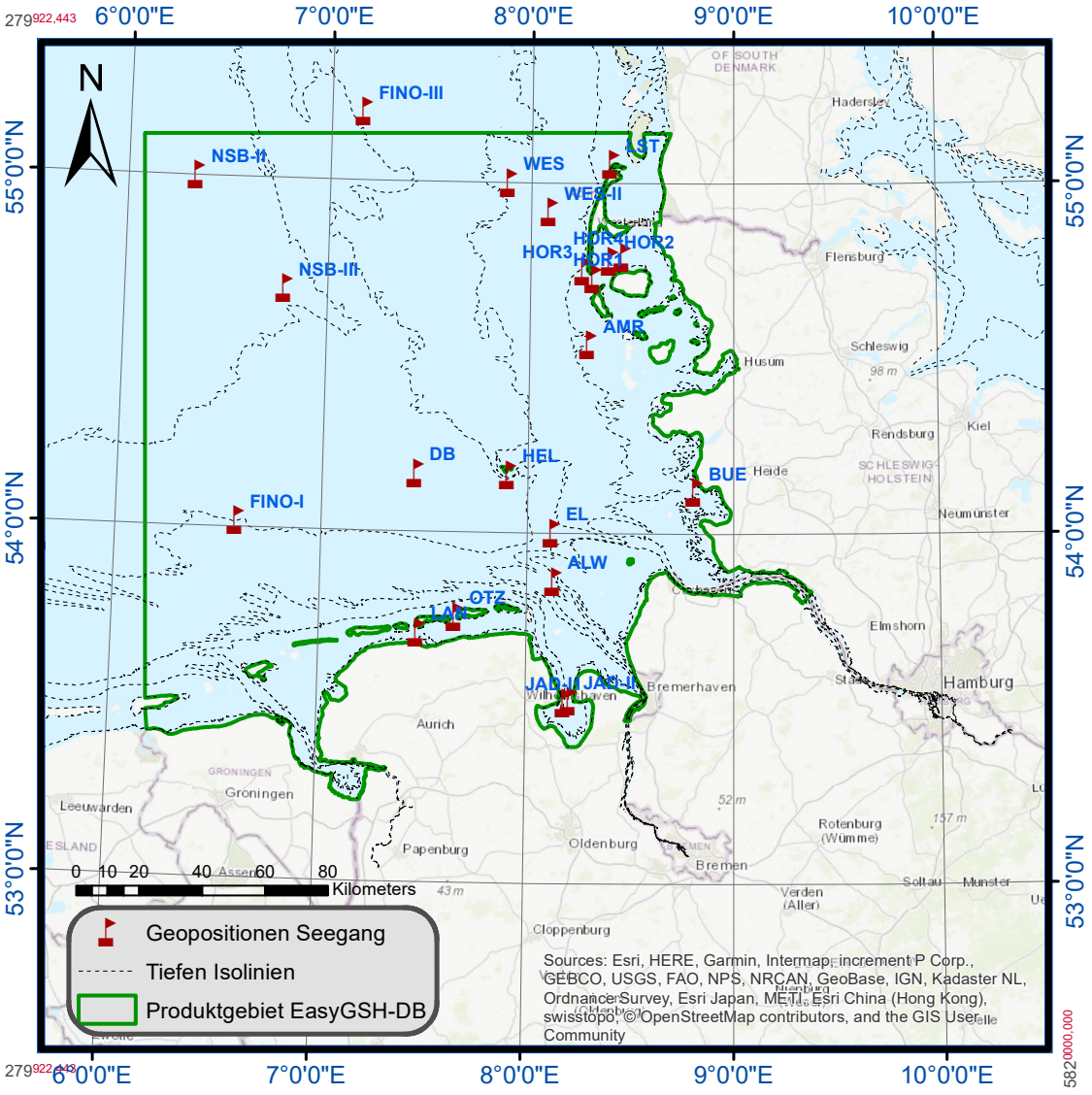
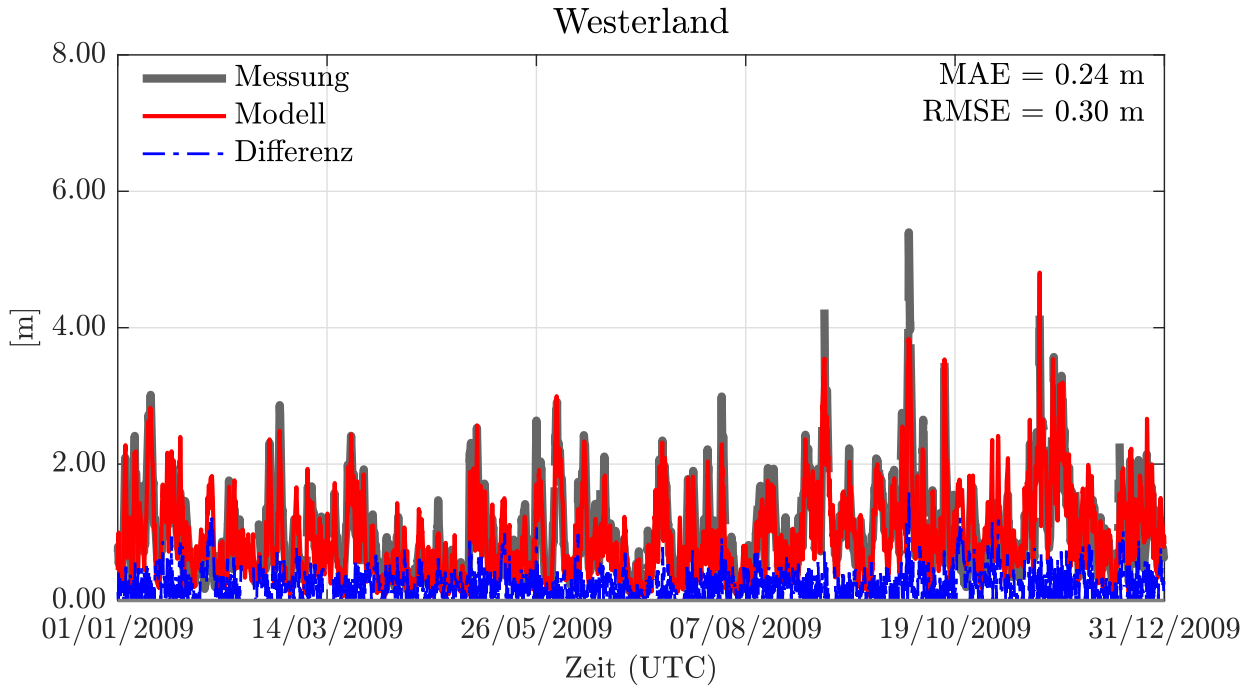


Abbildung 19: Übersichtskarte Pegel Seegang



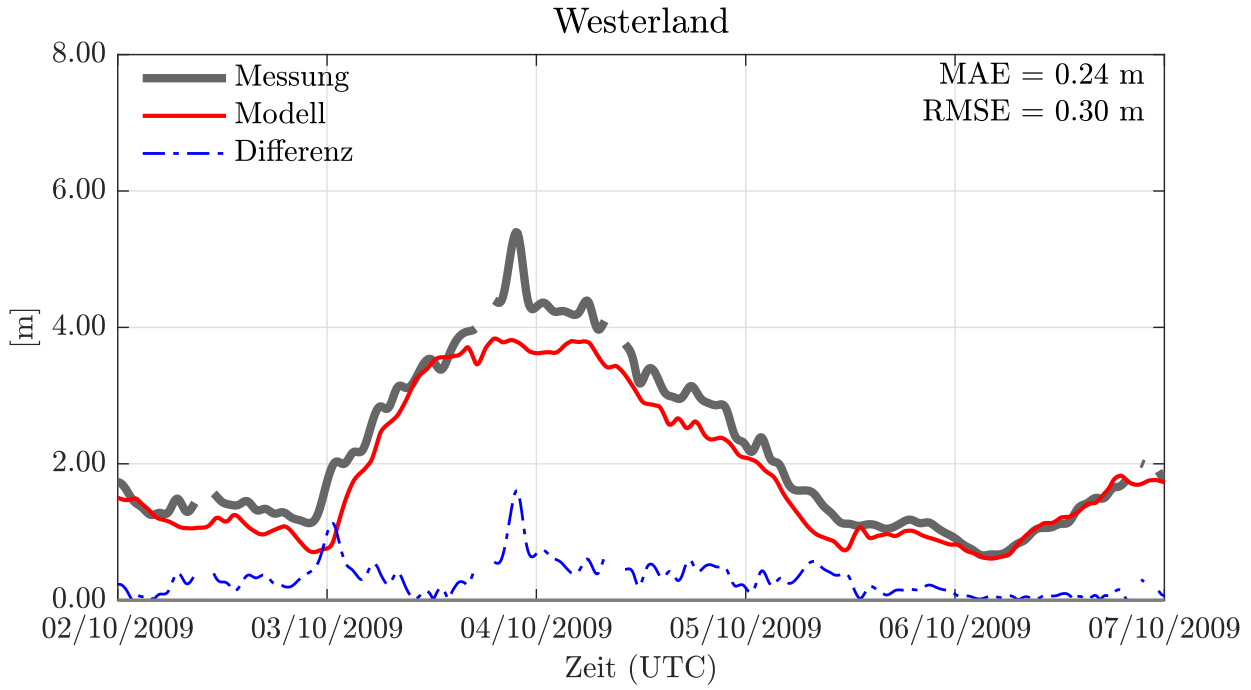


Abbildung 20: Pegelganglinien der signifikante Wellenhöhe (hsig) in Westerland (2009) mit der Angabe des MAE und des RMSE, den Modelldaten in rot, den Messdaten in grau und den Differenzen in blau.

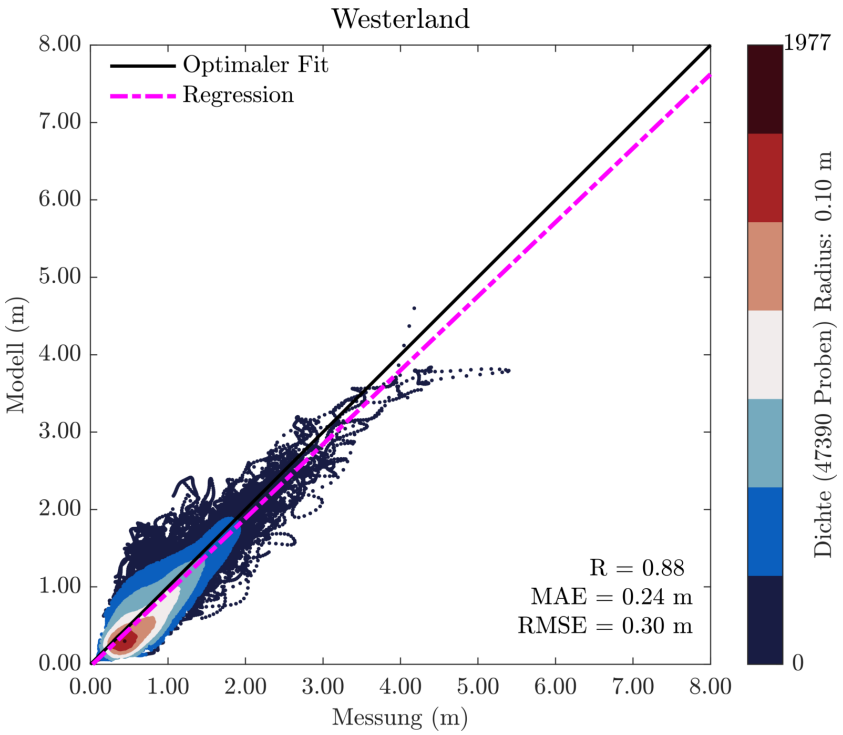


Abbildung 21: Scatterplot der signifikante Wellenhöhe (hsig) in Westerland (2009)

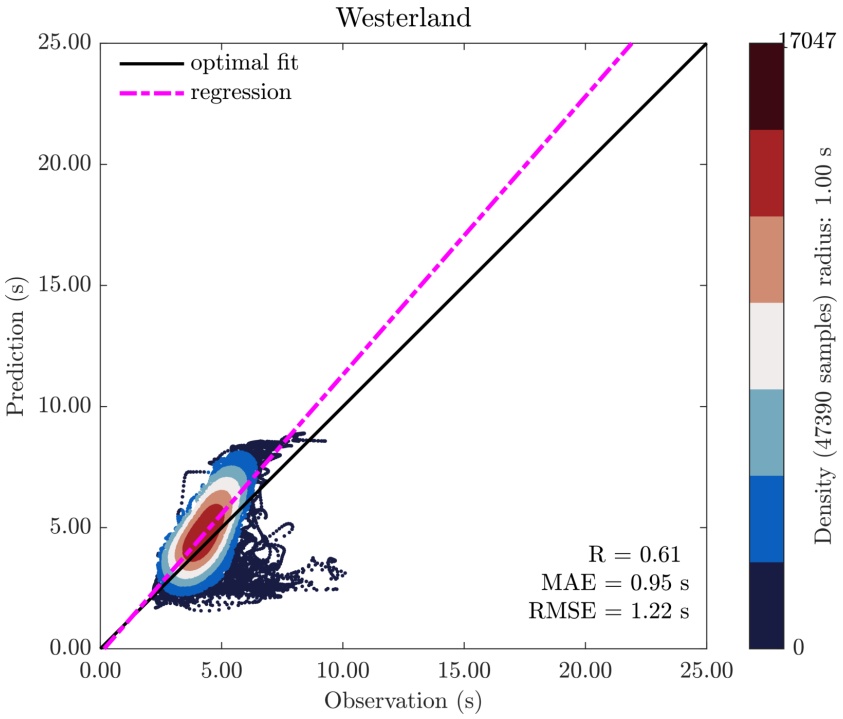


Abbildung 22: Scatterplot der mittleren Wellenperiode in Westerland (2009)

Literatur

[Bundesanstalt für Wasserbau u. a. 2019] Bundesanstalt für Wasserbau ; Hagen, Robert ; Freund, Janina ; Plüss, Andreas ; Ihde, Romina: *Validierungsdokument EasyGSH-DB Nordseemodell. Teil: UnTRIM2 – SediMorph – UnK*. 2019

[DIN 4049-3 1994] DIN 4049-3: *Deutsche Norm*. Bd. 4049,3: *Hydrologie - Teil 3: Begriffe zur quantitativen Hydrologie*. Oktober 1994. Berlin : Beuth, 1994

[EMODnet Bathymetry Consortium 2016] EMODnet Bathymetry Consortium: *EMODnet Digital Bathymetry (DTM 2016)*. 2016

[Gönnert 2003] Gönnert, G.: *Sturmfluten und Windstau in der Deutschen Bucht Charakter, Veränderungen und Maximalwerte im 20. Jahrhundert*. Heide i. Holstein : Boyens Medien, 2003

[Malcherek 2010] Malcherek, Andreas: *Gezeiten und Wellen: Die Hydromechanik der Küstengewässer*. 1. Aufl. s.l. : Vieweg+Teubner (GWV), 2010. – URL `http://gbv.eblib.com/patron/FullRecord.aspx?p=750202`. – ISBN 978-3-8348-9764-0

[Tukey 1977] Tukey, John W.: *Exploratory data analysis*. Reading, Mass. : Addison-Wesley, 1977 (Addison-Wesley series in behavioral science Quantitative methods). – ISBN 0-201-07616-0