# JAHRESKENNBLATT 2015

## 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, 6. August 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**

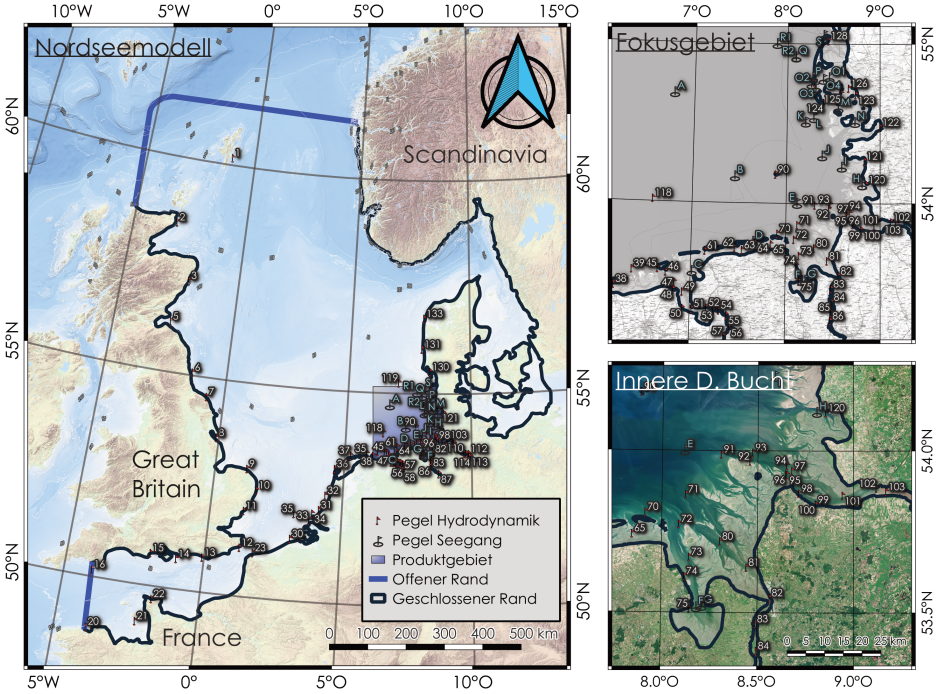
**5 Salzgehalt** **12**

**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

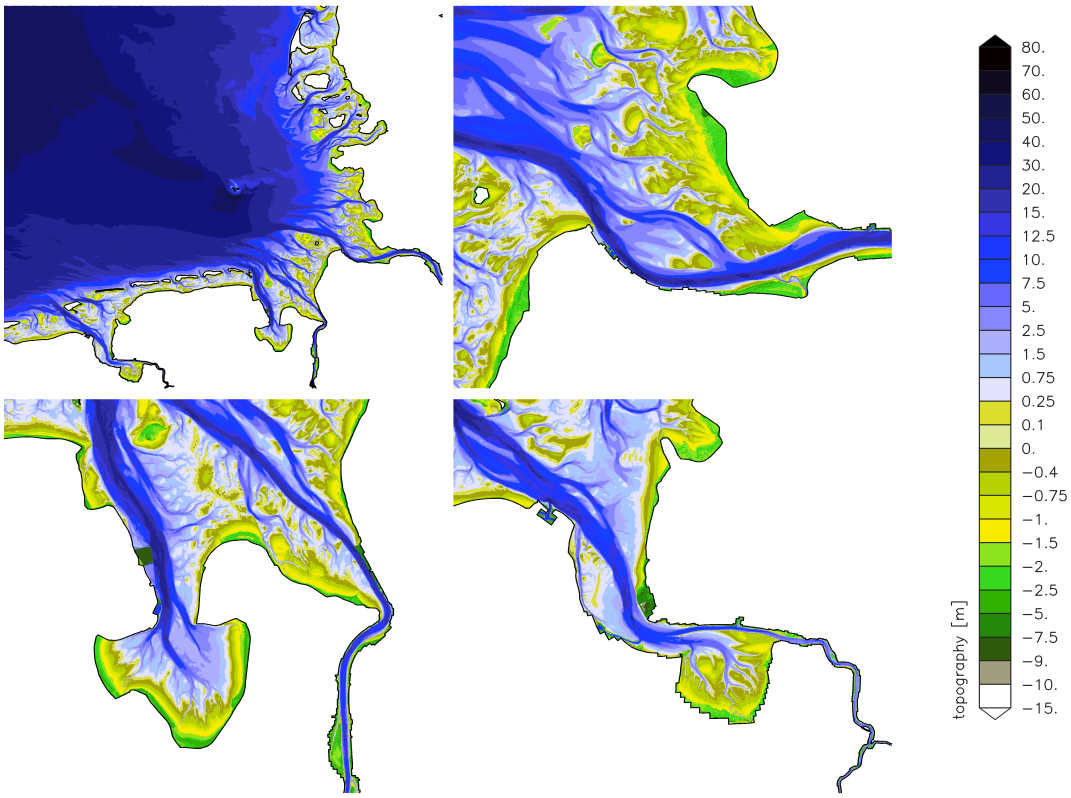



Abbildung 2: Jahresbathymetrie im Fokusgebiet Deutsche Bucht

## 2.2 Oberwasser

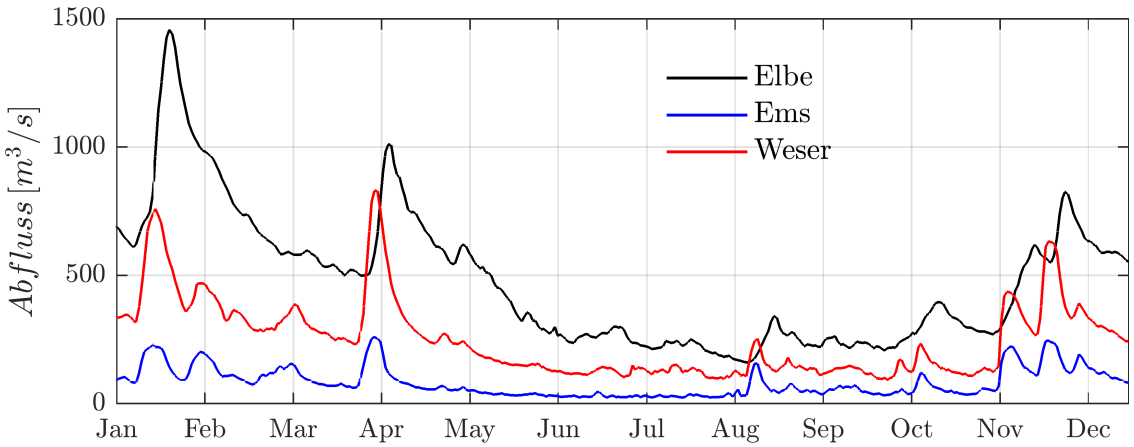



Abbildung 3: Abfluss in Weser, Ems und Elbe im Jahr 2015

Das Oberwasser im Jahr 2015 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 2015 charakterisiert werden. Abb. 4 zeigt die Windrichtung gleich der Definition der Strömungsrichtung an.

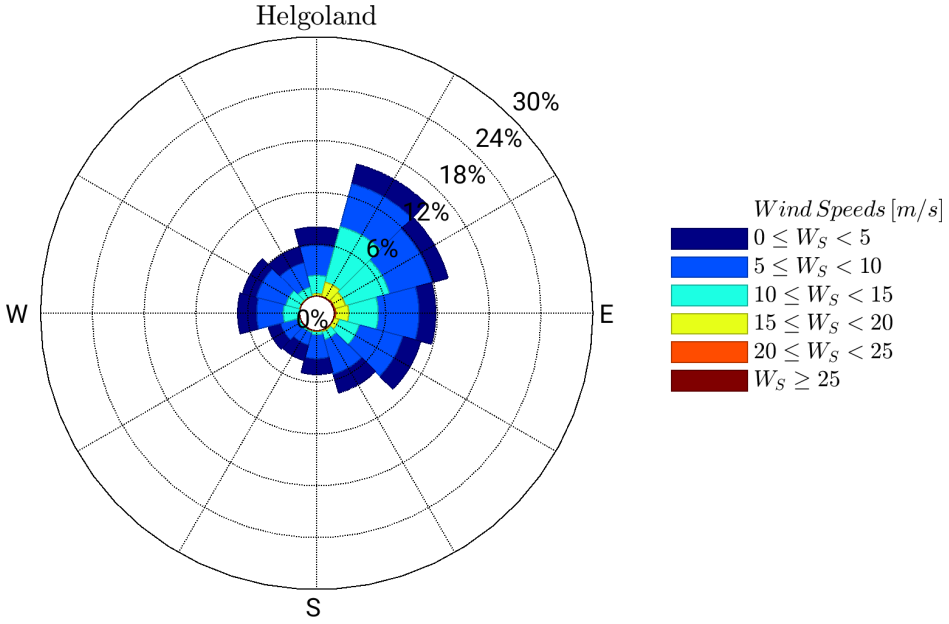



Abbildung 4: Windrose in Helgoland im Jahr 2015, Wind in Strömungsrichtung dargestellt.

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.

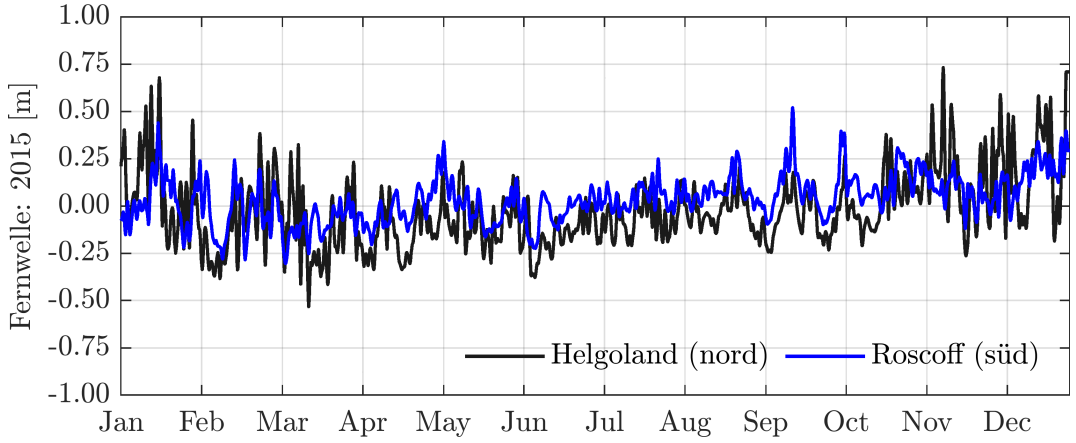



Abbildung 5: Fernwelle am Nord- und Südrand im Jahr 2015

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 CUX im Jahr 2015:

Tabelle 1: Tidekennwerte in CUX im Jahr 2015

| | | |
|---|---|---|
| maximales Tidehochwasser (max. Thw): | 4.11 | m |
| mittleres Tidehochwasser (mittl. Thw): | 1.58 | m |
| maximales Tideniedrigwasser (max. Tnw): | -2.59 | m |
| mittleres Tideniedrigwasser (mittl. Tnw): | -1.32 | m |
| maximaler Tidehub (max. Thb): | 3.68 | m |
| mittlerer Tidehub (mittl. Thb): | 2.90 | m |
| minimaler Tidehub (min. Thb): | 1.30 | 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 2015

| Klassifizierung | Anzahl (-) | Wasserstand (m) | max. Thw (m) |
|---|---|---|---|
| Sturmflut | 5 | 3.08 bis 4.08 | 3.71 |
| Schwere Sturmflut | 1 | 4.08 bis 5.08 | 4.11 |
| Sehr schwere Sturmflut | 0 | über 5.08 | 0.00 |

In Abb. 20 und Abb. 9 werden charakteristische Pegelganglinien des Wasserstands für das Jahr 2015 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.

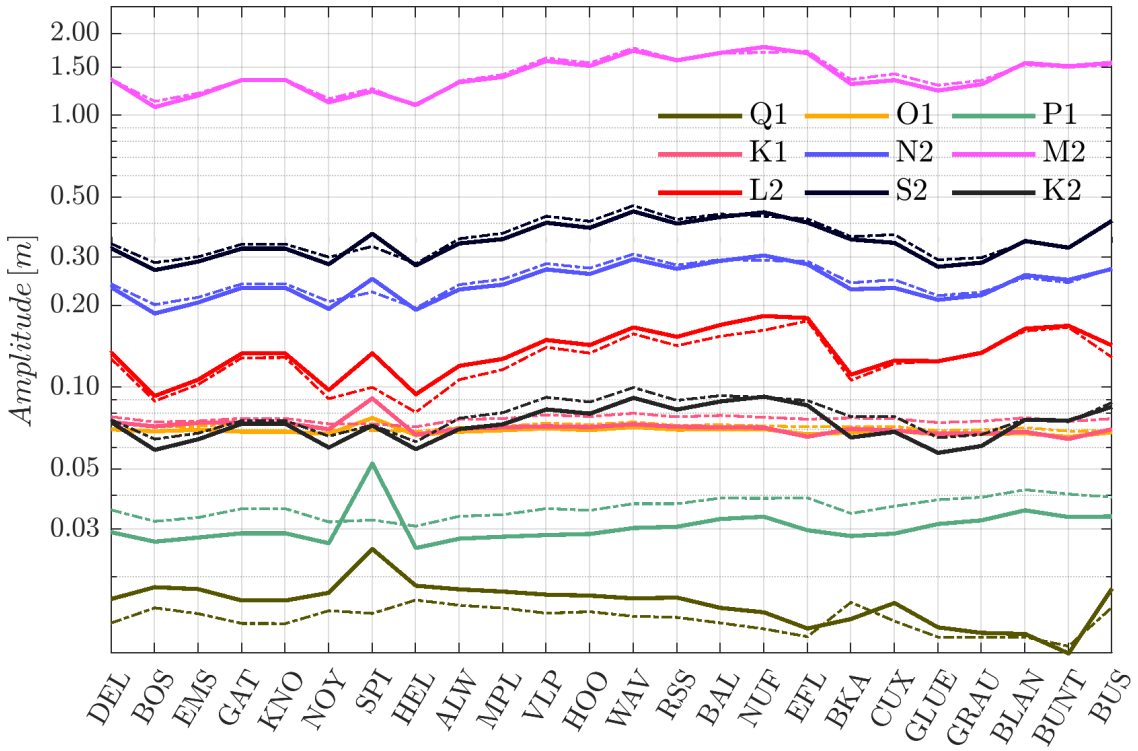



Abbildung 6: Ergebnisse der Partialtidenanalyse aus 2015 für Q1, O1, P1, K1, N2, M2, L2, S2 und K2 für die Deutsche Bucht. Flachwassertiden werden im Jahreskennblatt nicht gezeigt. Durchgezogene Linien repräsentieren die Messung, gestrichelte das Modell.

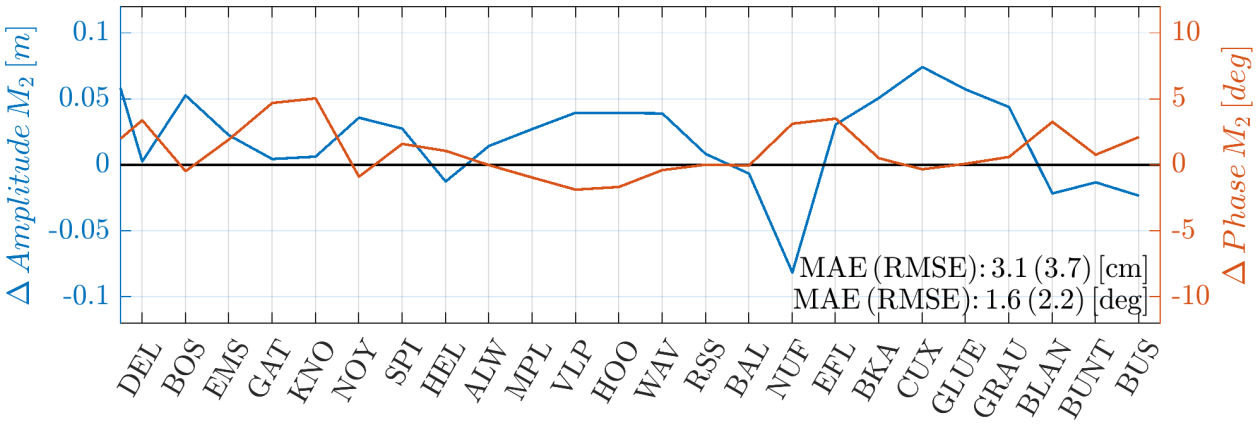



Abbildung 7: Ergebnisse der Partialtidenanalyse aus 2015 als Differenz zwischen Messung und Modell von Amplitude und Phase der $M_2$.

## 3.3 Charakteristische Pegelganglinien

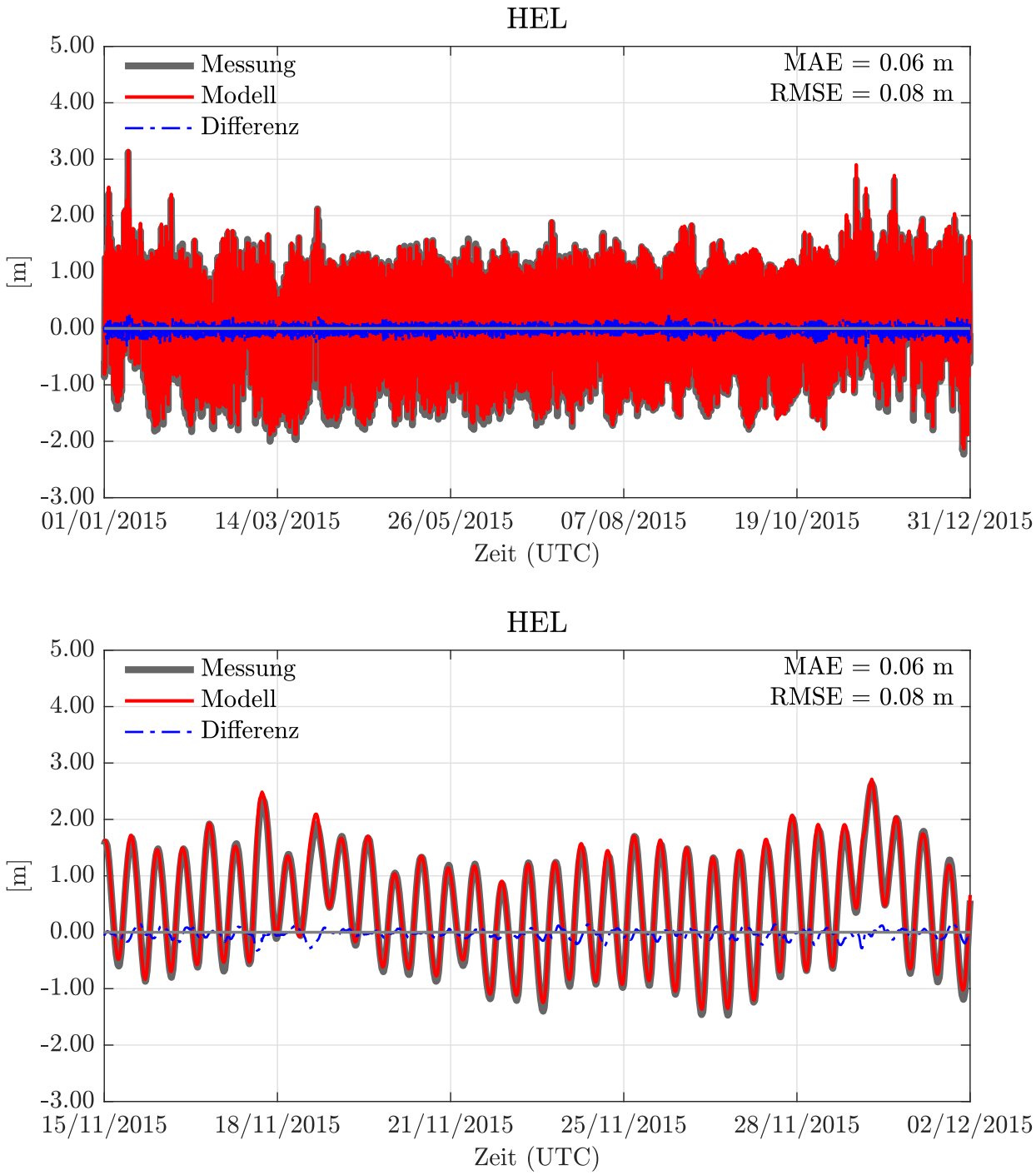



Abbildung 8: Pegelganglinien des Wasserstandes in Helgoland (2015) mit der Angabe des MAE und des RMSE, den Modelldaten in rot, den Messdaten in grau und den Differenzen in blau.

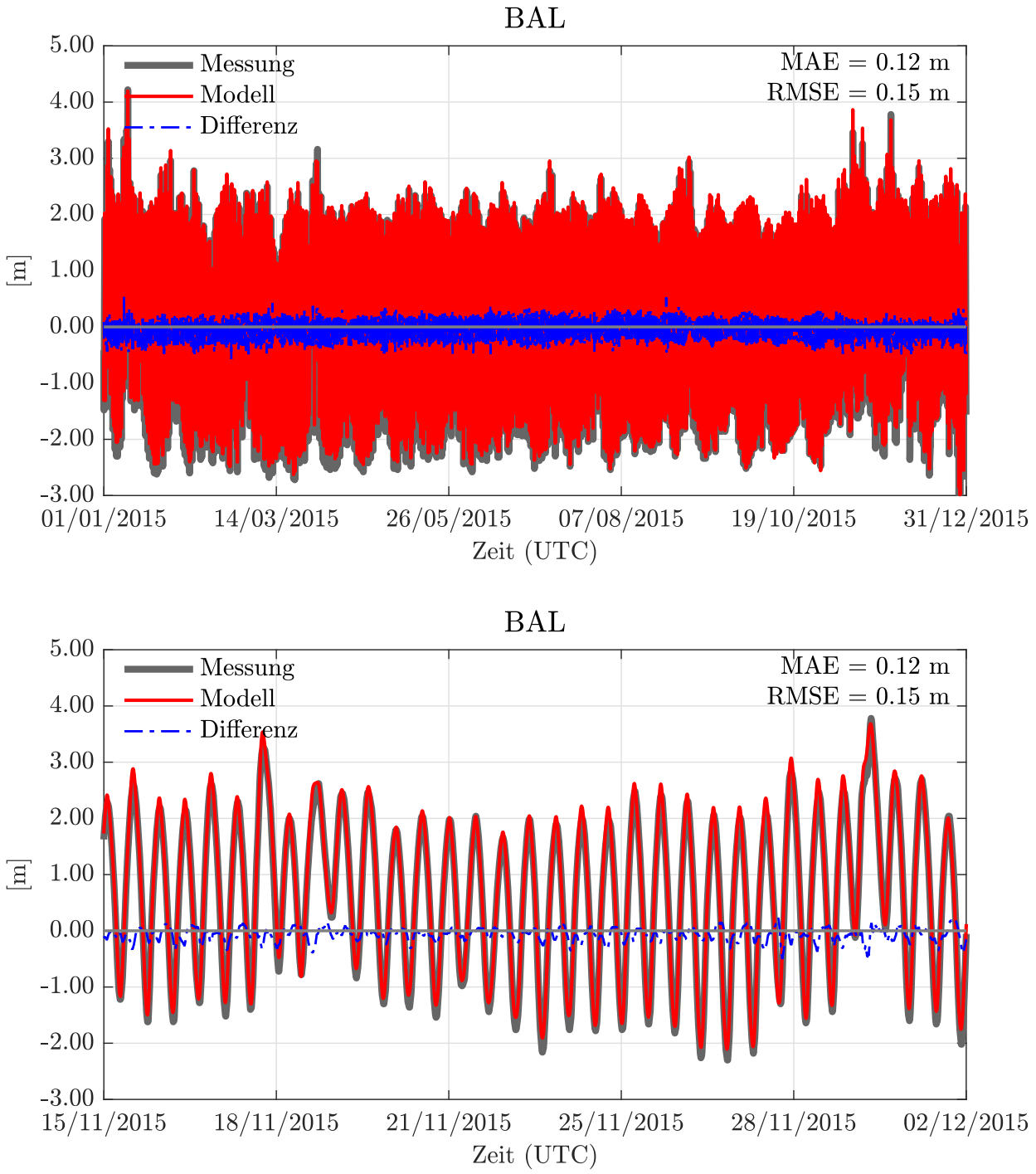



Abbildung 9: Pegelganglinien des Wasserstandes in Bremerhaven (2015) mit der Angabe des MAE und des RMSE, den Modelldaten in rot, den Messdaten in grau und den Differenzen in blau.

## 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.

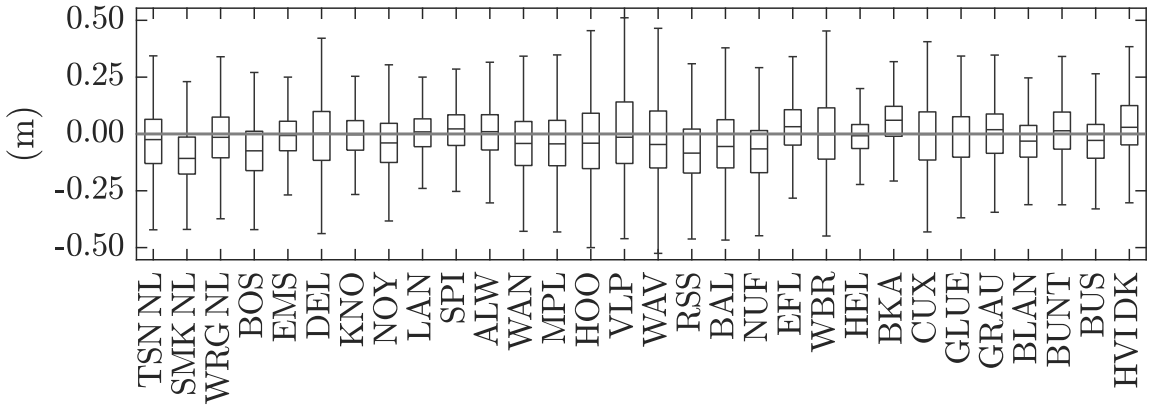



Abbildung 10: Fehlerverteilung des Wasserstandes im 2015

Aus der Fehlermenge von Abb. 10 lassen sich die Fehlerkennzahlen MAE und RMSE berechnen. Diese werden in Abb. 11 für alle Vergleichspegel im Jahr 2015 gezeigt.

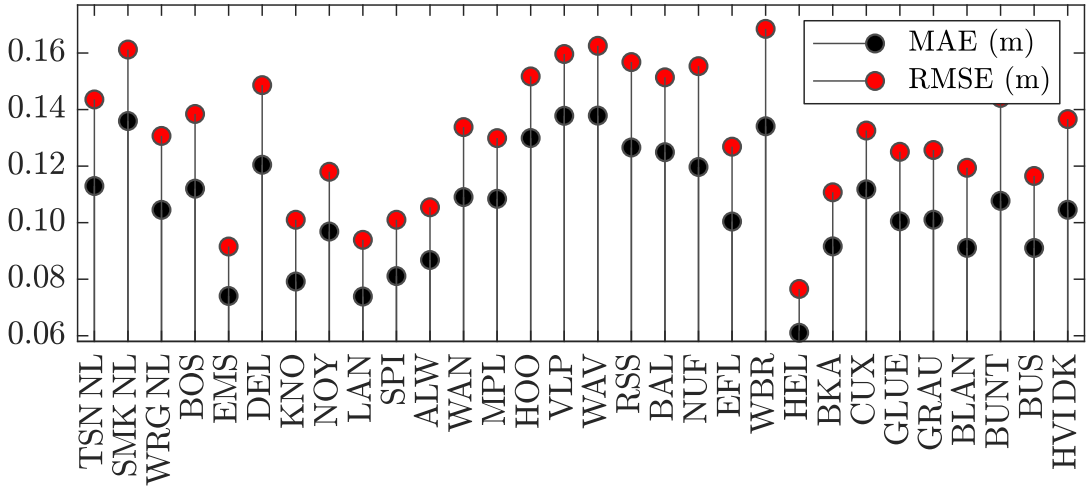



Abbildung 11: mean absolute error (MAE) und root mean square error (RMSE) des Wasserstands im 2015

## 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.

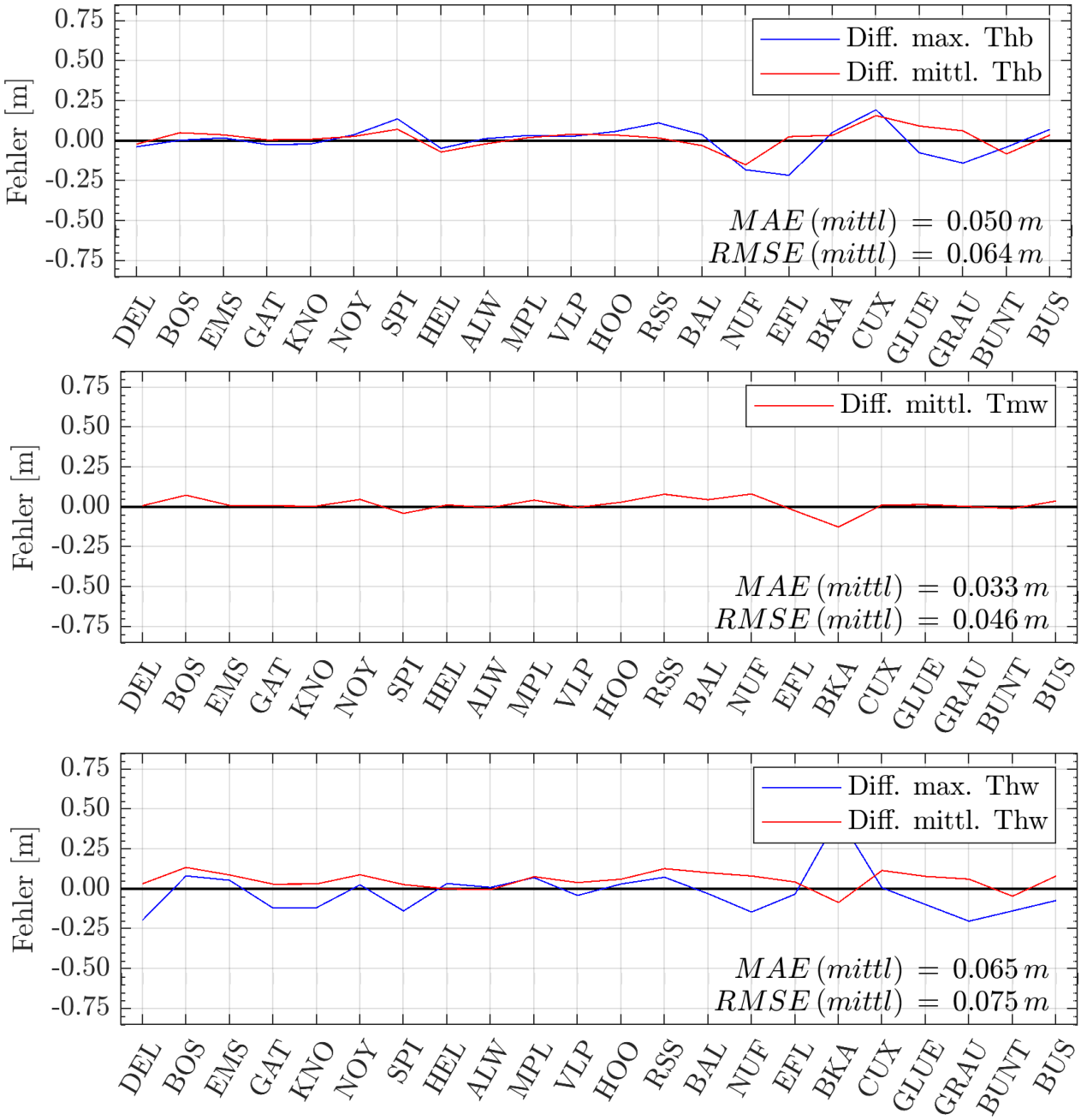



Abbildung 12: Fehler des mittlerer Tidehub (mittl. Thb), mittleres Tidemittelwasser (mittl. Tmw) und mittleres Tidehochwasser (mittl. Thw) im Jahr 2015

# 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.

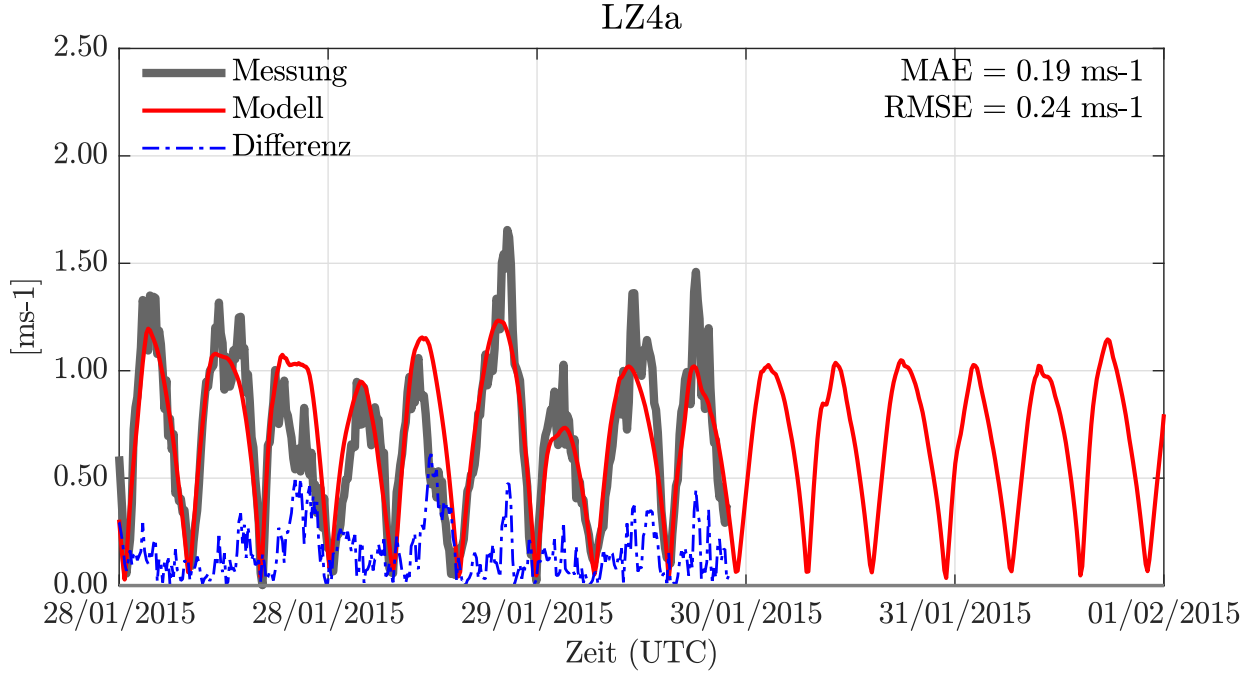



Abbildung 13: Ganglinie der Strömungsgeschwindigkeit (Magnitude) im Jahr 2015 in LZ4a mit der Angabe des MAE und des RMSE, den Modelldaten in rot, den Messdaten in grau und den Differenzen in blau.

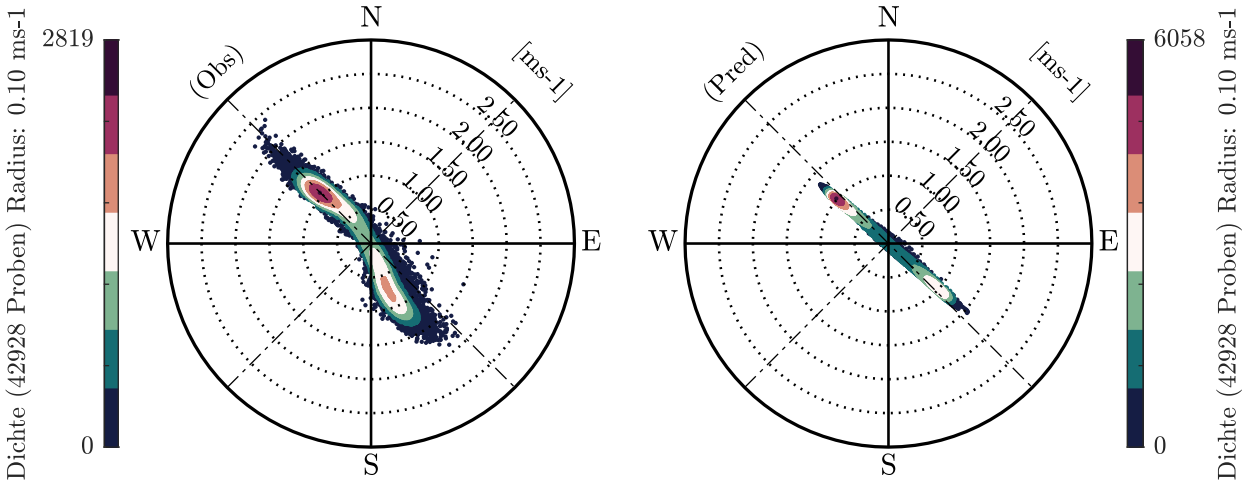



Abbildung 14: Hodograph der Strömung im Jahr 2015 in LZ4a, mit einem robusten Regressionsansatz (pinke, gestrichelte Linie)

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.

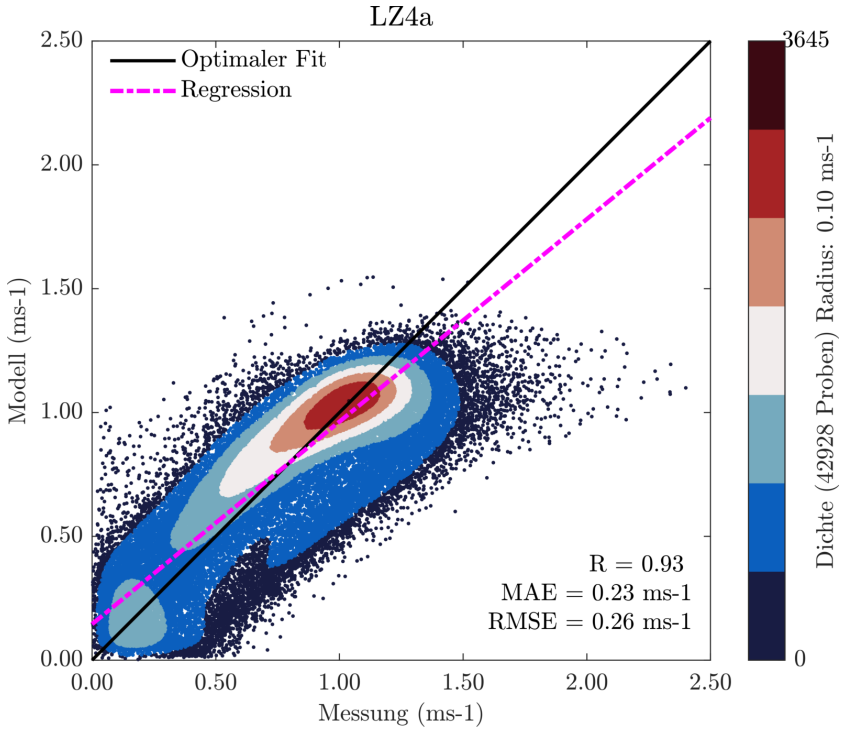



Abbildung 15: Scatterplot der Strömungsgeschwindigkeit (Magnitude) im Jahr 2015 in LZ4a

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.

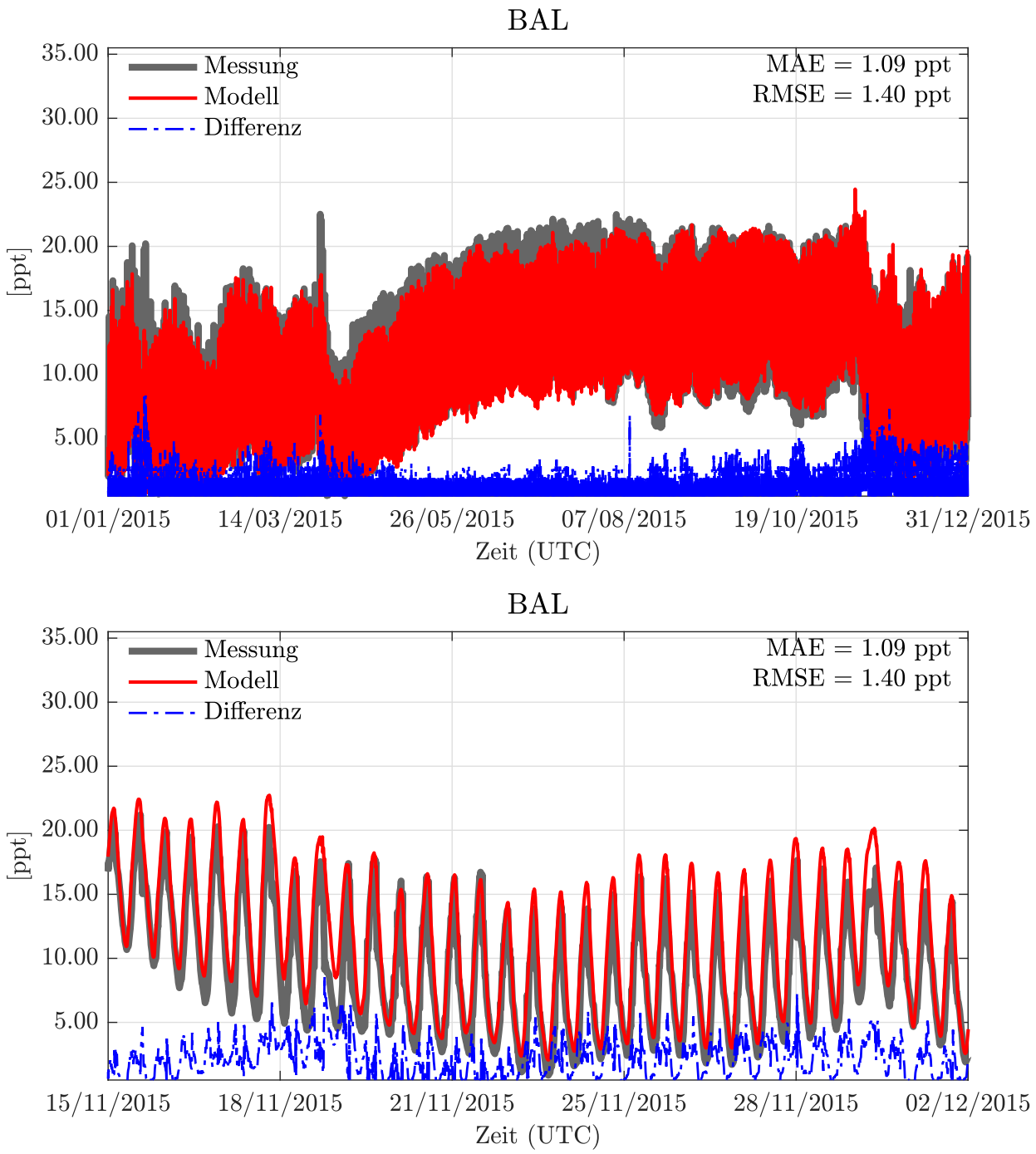



Abbildung 16: Ganglinie des Salzgehalts im Jahr 2015 in Bremerhaven mit der Angabe des MAE und des RMSE, den Modelldaten in rot, den Messdaten in grau und den Differenzen in blau.

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.

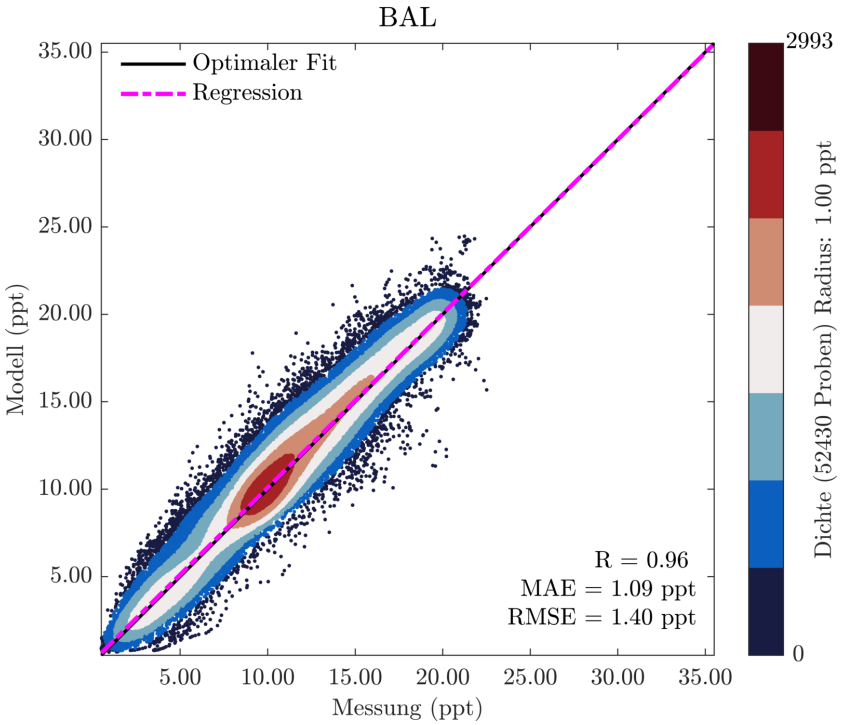



Abbildung 17: Scatterplot des Salzgehalts im Jahr 2015 in Bremerhaven

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

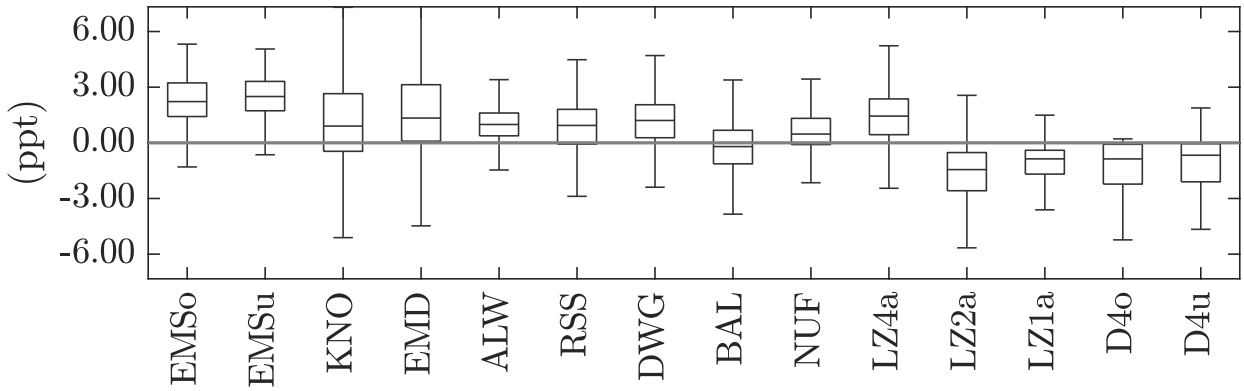



Abbildung 18: Fehlerverteilung des Salzgehalts für das Jahr 2015

# 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.

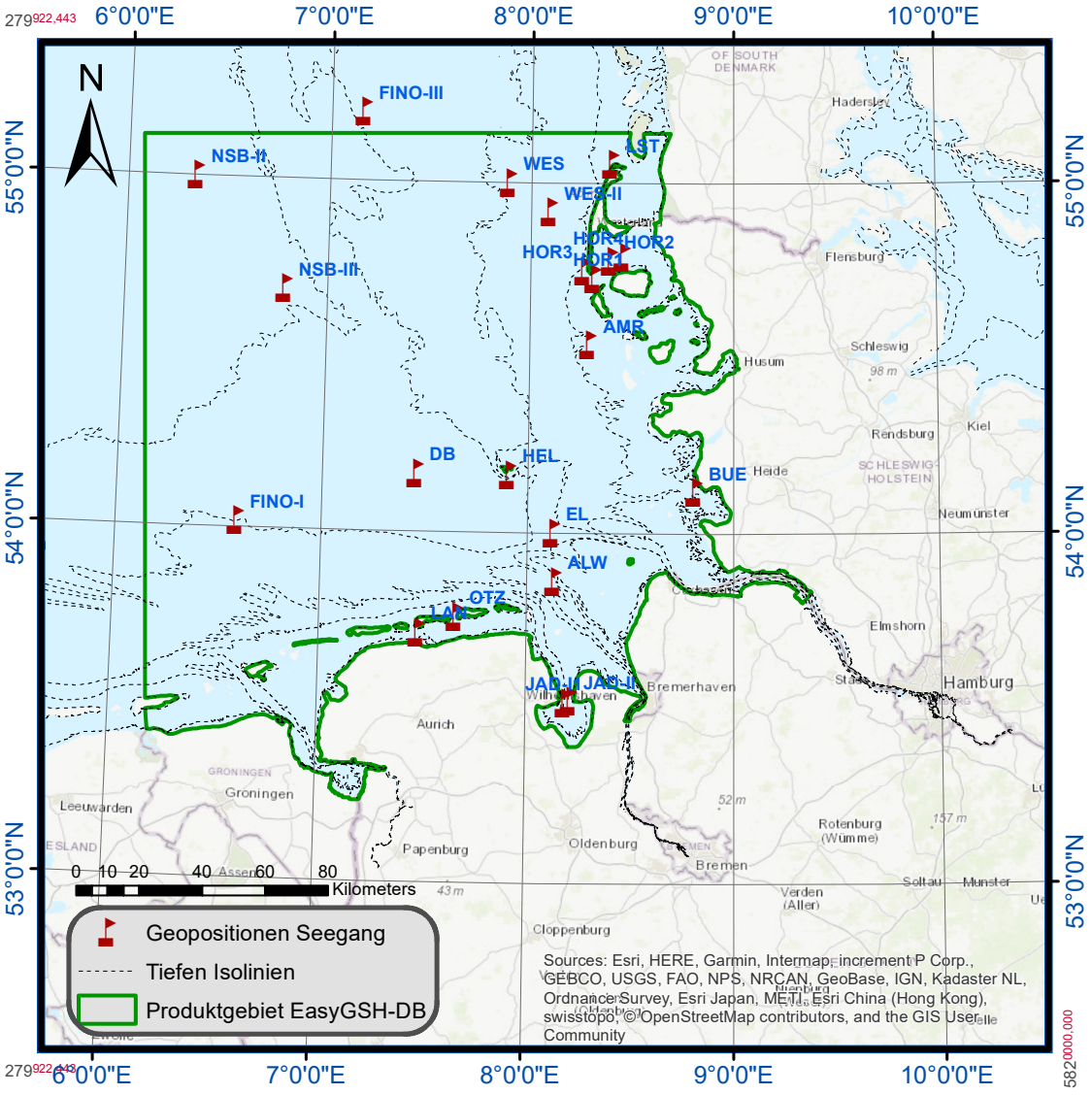



Abbildung 19: Übersichtskarte Pegel Seegang

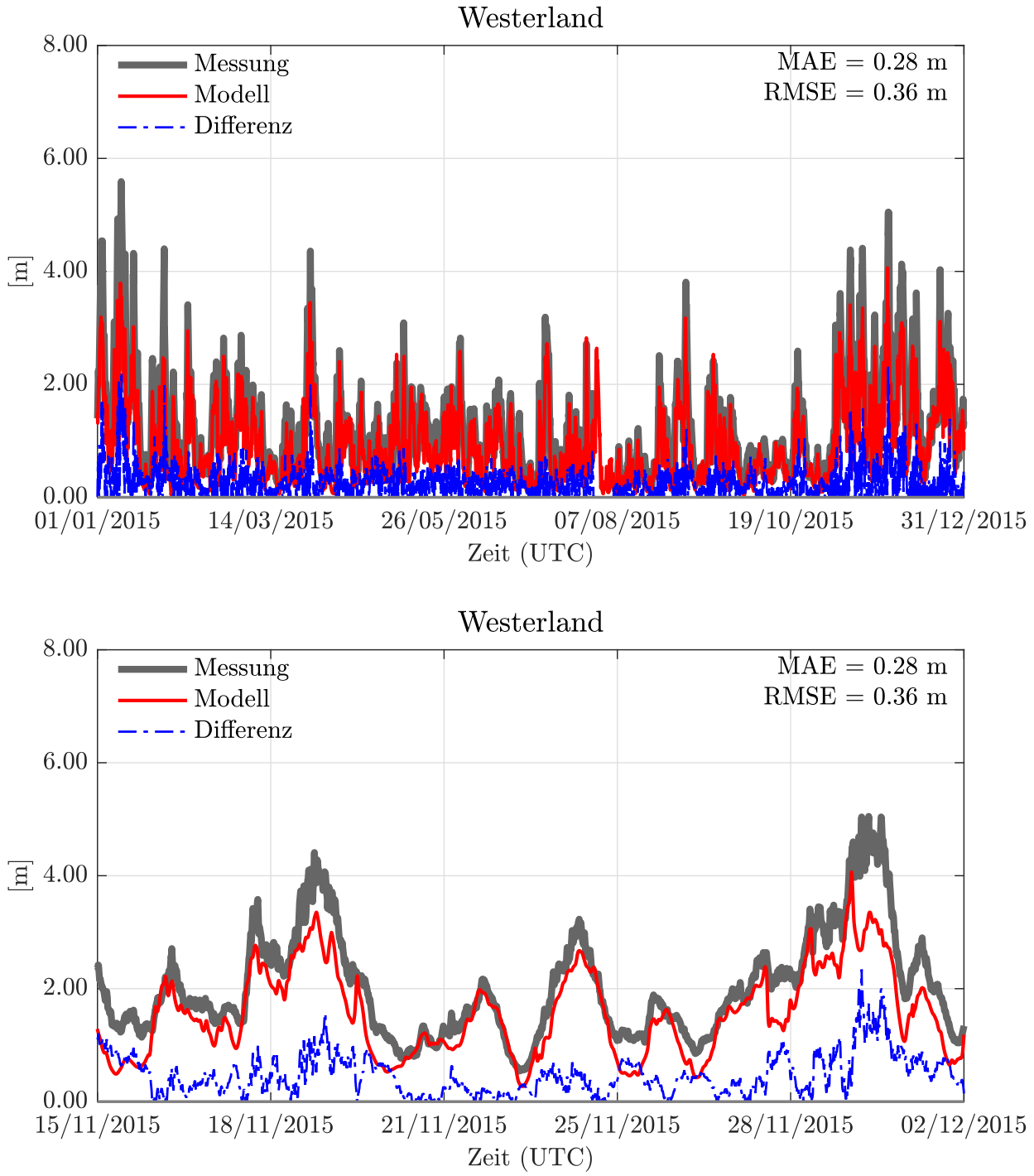



Abbildung 20: Pegelganglinien der signifikante Wellenhöhe (hsig) in Westerland (2015) mit der Angabe des MAE und des RMSE, den Modelldaten in rot, den Messdaten in grau und den Differenzen in blau.

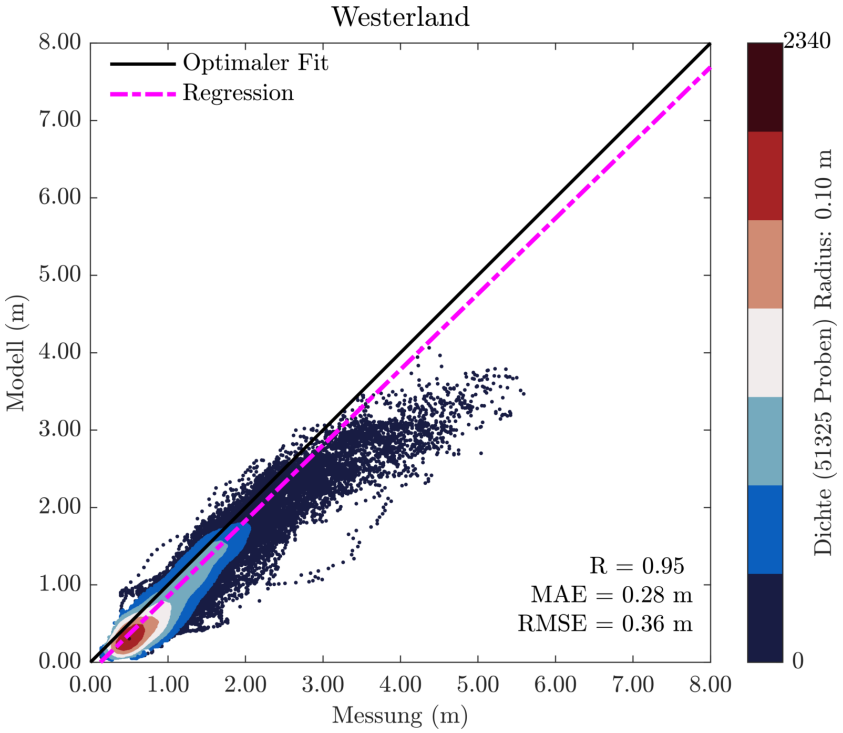



Abbildung 21: Scatterplot der signifikante Wellenhöhe (hsig) in Westerland (2015)

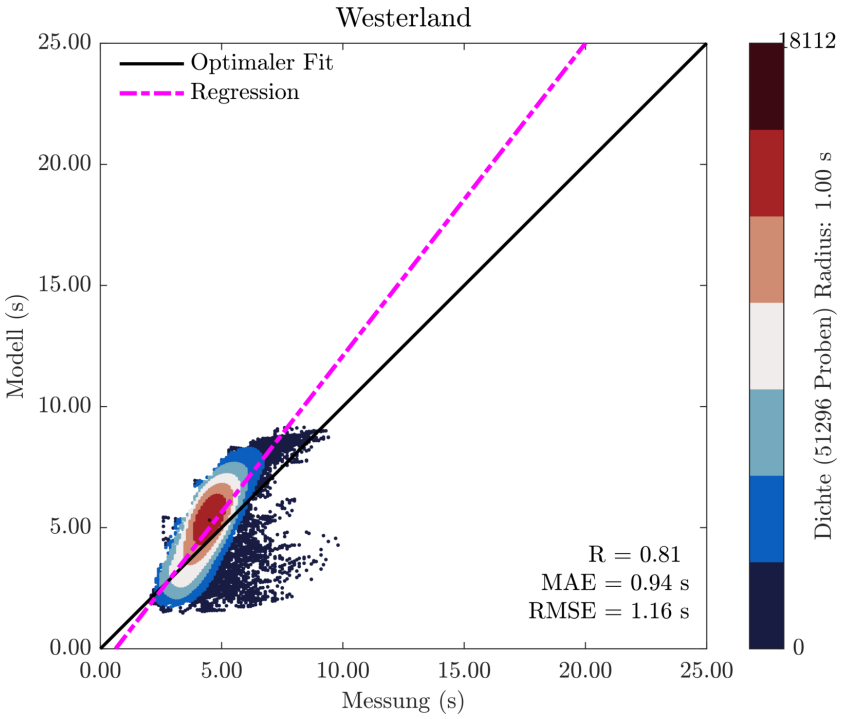



Abbildung 22: Scatterplot der mittleren Wellenperiode in Westerland (2015)

# 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