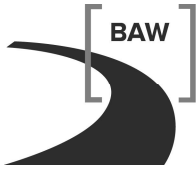


Bundesanstalt für Wasserbau
Kompetenz für die Wasserstraßen

**Erzeugung naturähnlicher Randwerte für
den seeseitigen Rand von Ästuarmodellen
an der Nordsee**

A 395 502 10059



Bundesanstalt für Wasserbau
Kompetenz für die Wasserstraßen

Erzeugung naturähnlicher Randwerte für den seeseitigen Rand von Ästuarmodellen an der Nordsee

Auftraggeber: Bundesanstalt für Wasserbau
Referat Ästuarsysteme I

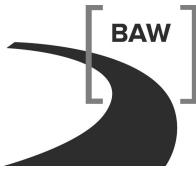
Auftrag vom: Januar 2014

Auftrags-Nr.: BAW-Nr. A 395 502 10059

Aufgestellt von: Abteilung:
Referat: Ästuarsysteme II
Bearbeiter: Dr. Guntram Seiß

Hamburg, 10.06.2014

Der Bericht darf nur ungekürzt vervielfältigt werden. Die Vervielfältigung und eine Veröffentlichung bedürfen der schriftlichen Genehmigung der BAW.



Zusammenfassung

Für den Aufbau eines kombinierten Jade-Weser-Elbe-Modelles werden am offenen seeseitigen Rand naturähnliche Zeitreihen des Wasserstandes und des Salzgehaltes benötigt, um die Kalibrierung des Modells durchzuführen. Naturmessungen sind im Verhältnis teuer und nur für begrenzte Zeiträume zur Qualitätssicherung zu leisten. Daher wird hier ein Weg dargestellt, naturähnliche Randwerte mit Hilfe vorhandener Software aus Modellergebnissen und einer Dauerstation abzuleiten.

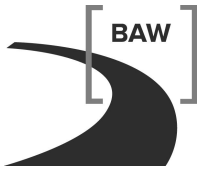
Das zugrunde liegende Prinzip des Vorgehens und die zugrundeliegenden theoretischen Überlegungen werden kurz dargestellt.

Für den seeseitigen Modellrand wird das Vorgehen unter Verwendung der Programme **Zeitr**, **XtrData**, **gview2d**, **tscalc**, **Frqwf**, **frq2zeitr**, und **utrrnd** erläutert. Die resultierenden Randwertzeitreihen werden an der Referenzstation Helgoland mit der Pegelganglinie verglichen.

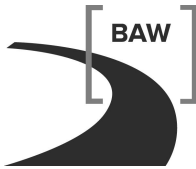
Insgesamt sind die Ergebnisse sehr zufriedenstellend und das Verfahren mathematisch abgesichert und reproduzierbar. Bei geschickter Wahl von Dateinamen und Verzeichnisstruktur lässt es sich sogar weitgehend im Ablauf mit Hilfe von LINUX-Skripten und den Programmen der Bundesanstalt für Wasserbau vollständig automatisieren, wenn man von der im Vorwege notwendigen Aufbereitung der jeweils zugrunde gelegten Referenzmessung absieht, die in der Regel etwas Handarbeit erfordert.

Das Verfahren ist auf andere Ästuar-Modell-Ränder übertragbar, soweit der Einfluss des Oberwassers dort vernachlässigbar ist.

(1) Titel		Erzeugung naturähnlicher Randwerte für den seeseitigen Rand von Ästuarmodellen an der Nordsee	
(2) Ort	(3) Wasserstr.-Nr.	(4) Kilometer	
Deutsche Bucht		von	bis
(5) Unterzeichner			
(6) Bearbeiter	Dr. Guntram Seiß		
(7) Mitarbeiter			
(8) Auftraggeber	Bundesanstalt für Wasserbau, Ästuarsysteme I		
(9) Auftrags-Nr.	A 395 502 10059	(10) aufgestellt am	25.06.2014
(11) Seitenzahl	18	(12) Sonderhinweise	Technisches Dokument
(13) Kurzfassung			
<p>Für den Aufbau eines kombinierten Jade-Weser-Elbe-Modelles werden am offenen seeseitigen Rand naturähnliche Zeitreihen des Wasserstandes und des Salzgehaltes benötigt, um die Kalibrierung des Modells durchzuführen. Naturmessungen sind im Verhältnis teuer und nur für begrenzte Zeiträume zur Qualitätssicherung zu leisten. Daher wird hier ein Weg dargestellt, naturähnliche Randwerte mit Hilfe vorhandener Software aus Modellergebnissen und einer Dauerstation abzuleiten.</p> <p>Das zugrunde liegende Prinzip des Vorgehens und die zugrundeliegenden theoretischen Überlegungen werden kurz dargestellt.</p> <p>Für den seeseitigen Modellrand wird das Vorgehen unter Verwendung der Programme Zeitr, XtrData, gview2d, tscalc, Frqwf, frq2zeitr, und utrrnd erläutert. Die resultierenden Randwertzeitreihen werden an der Referenzstation Helgoland mit der Pegelganglinie verglichen. Insgesamt sind die Ergebnisse sehr zufriedenstellend und das Verfahren mathematisch abgesichert und reproduzierbar. Bei geschickter Wahl von Dateinamen und Verzeichnisstruktur lässt es sich sogar im Ablauf mit Hilfe von LINUX-Skripten und den Programmen der Bundesanstalt für Wasserbau vollständig automatisieren, wenn man von der im Vorwege notwendigen Aufbereitung der jeweils zugrunde gelegten Referenzmessung absieht, die in der Regel etwas Handarbeit erfordert.</p> <p>Das Verfahren ist auf andere Ästuar-Modell-Ränder übertragbar, soweit der Einfluss des Oberwassers dort vernachlässigbar ist.</p>			
(14) Standort	Hamburg	(15) Archiv-Nr.	



Inhaltsverzeichnis		Seite
1	Veranlassung und Aufgabenstellung	1
1.1	Anforderungen	1
1.2	Methoden der Randwertekorrektur	2
2	Unterlagen und Daten	2
3	Modellgebiet des JWE-Modells	3
4	Methode	4
4.1	Grundprinzip der Generierung der Randwerte	4
4.2	Praktisches Vorgehen	6
4.2.1	Arbeitsschritt 1: Extrahieren der Modelldaten aus dem Nordseemodell	7
4.2.2	Arbeitsschritt 2: Erzeugen der astronomischen Differenzzeitreihen	9
4.2.3	Arbeitsschritt 3 : Vorbereiten der Referenzmessung	11
4.2.4	Arbeitsschritt 4: Erzeugen der Randwertdateien	11
5	Ergebnisse	13



Bildverzeichnis

Seite

Bild 1: Modellgebiet und Bathymetrie des Jade-Weser-Elbe-Modells. In Grün ist der offene Modellrand gekennzeichnet.	4
Bild 2: Prinzip-Skizze des Spektrums ozeanischer Wellen. Quelle: (MUNK 1950)	5
Bild 3: Verzeichnisbaum für die Erzeugung von Randwerten.	6
Bild 4: Vergleich zwischen den Kurven für die Station Helgoland, Sommerzeitraum. Messung, geglättete Messung, generierte Randwerte, Nordseemodell.	13
Bild 5: Vergleich zwischen den Kurven für die Station Helgoland, Winterzeitraum. Messung, geglättete Messung, generierte Randwerte, Nordseemodell.	14

Tabellenverzeichnis

Seite

Tabelle 1: Die im Arbeitsablauf verwendeten Programme der Bundesanstalt für Wasserbau, Dienststelle Hamburg (BAW 1996b-2014).	8
---	---

Anlagenverzeichnis

Anlage 1: Template für Steuerdatei des Programmes tscal , Differenzbildung

1 Veranlassung und Aufgabenstellung

Für den Aufbau eines kombinierten Jade-Weser-Elbe-Modelles (nachfolgend JWE-Modell genannt), welches zur Bearbeitung von Aufgabenstellungen im Bereich der großen Schifffahrtsrouten im Außenbereich der Mündungstrichter benötigt wird, werden am offenen see-seitigen Rand naturähnliche Zeitreihen des Wasserstandes und des Salzgehaltes benötigt, um die Kalibrierung des Modells durchzuführen. Auf dem Modellrand liegt im Regelfall nur eine Zeitreihe des Wasserstandes durchgängig vor, die des Pegels Helgoland. Der Modellrand erstreckt sich jedoch über eine so große Strecke, dass die Dynamik der Nordsee nicht mehr vernachlässigbare Gradienten des Wasserstandes im Bereich des Randes des JWE-Modells produziert.

Wünschenswerte weitere Naturmessungen entlang des Randes des JWE-Modells sind verhältnismäßig teuer und nur für begrenzte Zeiträume zu leisten. Modellergebnisse aus einem größeren Nordseemodell produzieren zwar in sich konsistente, jedoch in Küstennähe mit nicht vernachlässigbaren Fehlern in Amplitude und Phase behaftete Randwerte. Zur Vermeidung der Fehlerfortpflanzung müssen solche simulierten Randwerte einer Korrektur unterzogen werden. Die Aufgabe dieser Arbeit ist daher, einen Weg zu entwickeln, qualitativ hochwertige, aus fehlerbehafteten Zeitreihen naturähnliche Randwerte für den seeseitigen Rand eines Tidemodells zu entwickeln, für den nur an einer Position Messungen vorliegen, die den Qualitätsansprüchen einer Validierungsrechnung gerecht werden.

1.1 Anforderungen

Um ein Tidemodell im Aufgabenumfeld der Begutachtung von Wasserbauprojekten einsetzen zu können, wird gefordert, dass das Modell die wesentlichen wirksamen Prozesse naturähnlich wiedergibt. Dies gilt für das Modellverfahren selbst, also den Algorithmus, mit dem im Inneren des Modellgebietes die Hydrodynamik und Stoffflüsse beschrieben werden, aber auch für die eingehenden Randwerte. Dies sind im Einzelnen:

- Die in der Fläche des Modellgebietes vorliegende ungestörte Wassertiefe (Bathymetrie).
- Die meteorologischen und sonstigen Antriebskräfte, die auf den Wasserkörper wirken, im Wesentlichen Wind und Luftdruck, in geschichteten Systemen auch Temperatur und Wasserbilanz, sowie das astronomische Tidepotential.
- Die am seeseitigen Rand herrschenden, aktuellen Randwerte von Wasserstand, Salzgehalt, Temperatur und Strömung.

Der erste Punkt wird in den Tidemodellen der Bundesanstalt für Wasserbau dadurch gewährleistet, dass den Tidemodellen räumlich hoch aufgelöste, digitale Bathymetrien (z.B. DGM-W Weser, DGM-W Jadebusen) zugrunde gelegt werden und geeignete Interpolationsmethoden benutzt werden, um diese auf das Rechengitter abzubilden.

Der zweite Punkt wird erfüllt durch Verwendung von in der Fläche vorliegenden Daten aus Vorhersagen des Deutschen Wetterdienstes oder abgesicherten Reanalysen (z.B.) aus dem HIPOCAS-Projekt).

Für den dritten Punkt gab es bisher keine einheitliche Vorgehensweise, die sich an jedem Ästuar gleichermaßen bewährt hat. Die Methoden beruhten aber alle auf einem ähnlichen Grundprinzip: ein großräumiges Modell, das Nordseemodell der BAW (KÖSTERS et al. 2013a; KÖSTERS et al. 2013b), liefert dynamisch konsistente Randwerte, die mit verschiedenen Methoden korrigiert wurden, um die Abweichungen von vorhandenen Naturmessungen zu minimieren.

1.2 Methoden der Randwertekorrektur

Bei den Methoden der Randwertkorrektur für eine definierte Position, an der keine Naturmessung vorliegt, finden sich folgende Elemente:

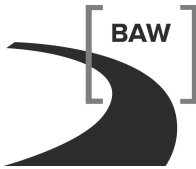
1. Verschiebung von Naturmessungen an bekannten Positionen in der Phase
2. Veränderung der Amplitude durch Multiplikation mit einem Faktor
3. Addieren einer bekannten Differenzzeitreihe, die aus dem Nordseemodell ermittelt wurde
4. Interpolation zwischen vorhandenen Naturmessungen
5. Verwendung von frequenzbasierten Methoden (Fourierzerlegung, Partialtidenzerlegung) zur Korrektur der Randwerte

Die Punkte 1., 2. und 4. sind sehr einfache Korrekturen, die in keiner Weise die Dynamik der Tidewelle berücksichtigen können. Eine Anwendung dieser Methoden führt daher bei langen Rändern zu dynamisch inkonsistenten Randwerten, die das Modell im Inneren durch Ausgleichsströmungen kompensieren muss, welche unnatürlich sind und im schlechtesten Fall zu nicht plausiblen Lösungen führen können. In der Folge wird daher ein Weg entwickelt, der die Punkte 3., 4. und 5. in einer sinnvollen Kombination anwendet. Ziel ist dabei, die dynamische Konsistenz der Zeitreihen aus dem Nordseemodell weitgehend zu erhalten, aber die in den Naturmessungen enthaltenen Informationen über die Unterschiede von Nordseemodell und Wirklichkeit zur Korrektur der Reihen zu nutzen.

2 Unterlagen und Daten

Für die vorliegende Arbeit wurden in der Bundesanstalt für Wasserbau entwickelte Softwarebausteine verwendet. Diese Programme werden in dem WIKI der Bundesanstalt für Wasserbau beschrieben (BAW 1996b-2014).

Die Naturdaten des Pegels Helgoland der Jahre 2007 und 2009 entstammen der Beweissicherungsdatenbank Fahrrinnenanpassung Elbe, die Daten der Jahre 2010-2012 der Datenbank WISKI der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung.



Für die Tiefenverteilung des JWE-Modells, wurde ein DGM-W verwendet, welches dem Stand 2006 entspricht.

Die meteorologischen Antriebsdaten (Wind, Luftdruck) entstammen der 24-Stunden-Vorhersage des Deutschen Wetterdienstes.

3 Modellgebiet des JWE-Modells

Das JWE-Modell vereinigt die Tide-Ästuare Jadebusen, Weser und Elbe zu einem Gesamtmodell. Insbesondere soll dieses Modell die Überströmung des Wattrückens zwischen Weser und Elbe bei Hochwasser simulieren und somit die Wechselwirkung zwischen diesen beiden Systemen beinhalten.

Der seeseitige offene Rand dieses Modells verläuft in einem Bogen von Spiekeroog über Helgoland bis St. Peter-Ording (siehe Bild 1). Die Randwerte können über die Pegel Spiekeroog, Helgoland und Rochelsteert beziehungsweise St. Peter-Ording eingegrenzt werden.

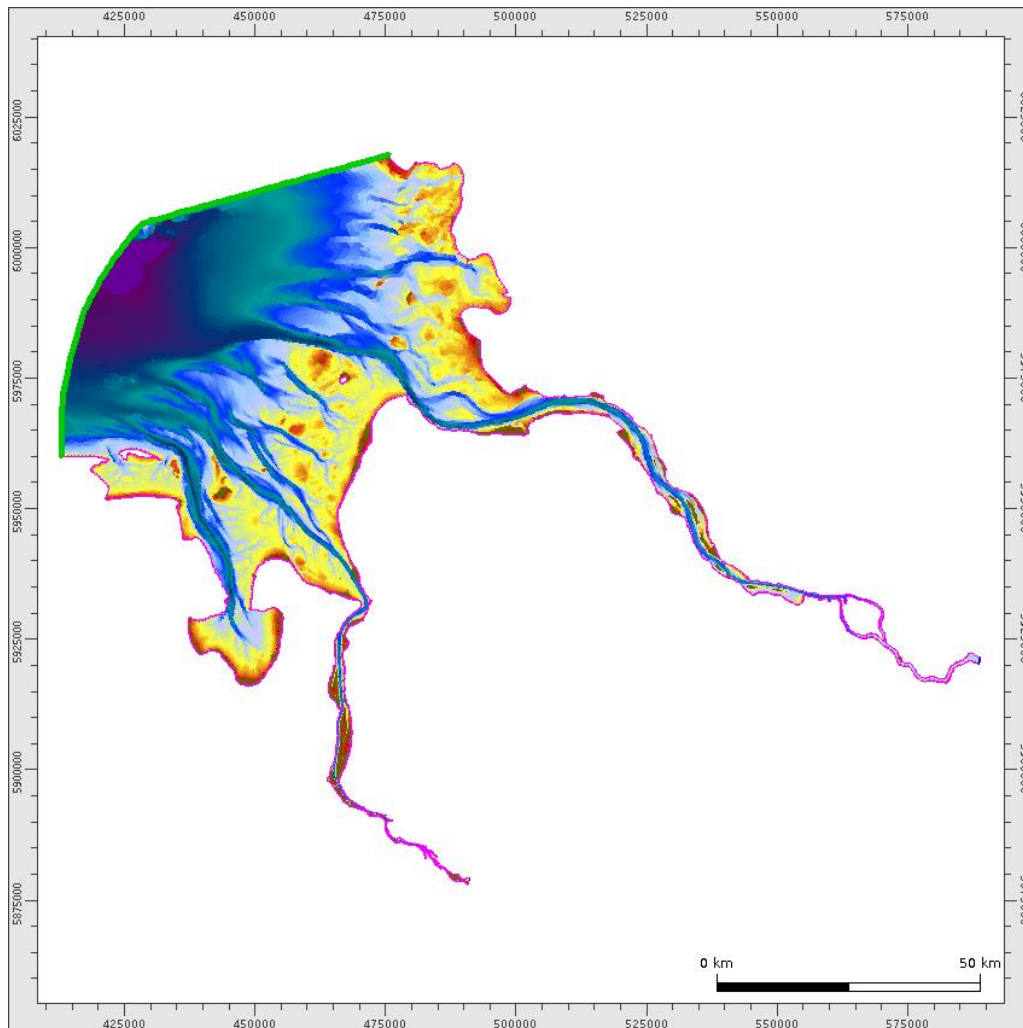


Bild 1: Modellgebiet und Bathymetrie des Jade-Weser-Elbe-Modells. In Grün ist der offene Modellrand gekennzeichnet.

4 Methode

4.1 Grundprinzip der Generierung der Randwerte

Bei dem hier dargestellten Verfahren macht man sich die Charakteristik der Hydrodynamik in der Nordsee zu Nutze:

Der Wasserstand an einem Ort in der Nordsee setzt sich aus langperiodischen Anteilen (meteorologisch dominiert), den typischen Tidefrequenzen und kurzperiodischem Seegang zusammen. Wie man aus Bild 2 sieht, ist ein wesentliches Charakteristikum der Tidebewegungen, dass sich die Hauptkomponenten der halbtägigen und eintägigen Gezeiten von den meisten übrigen nicht astronomisch erzeugten Wellenarten, besonders den Schwerewellen, sehr gut trennen lassen.

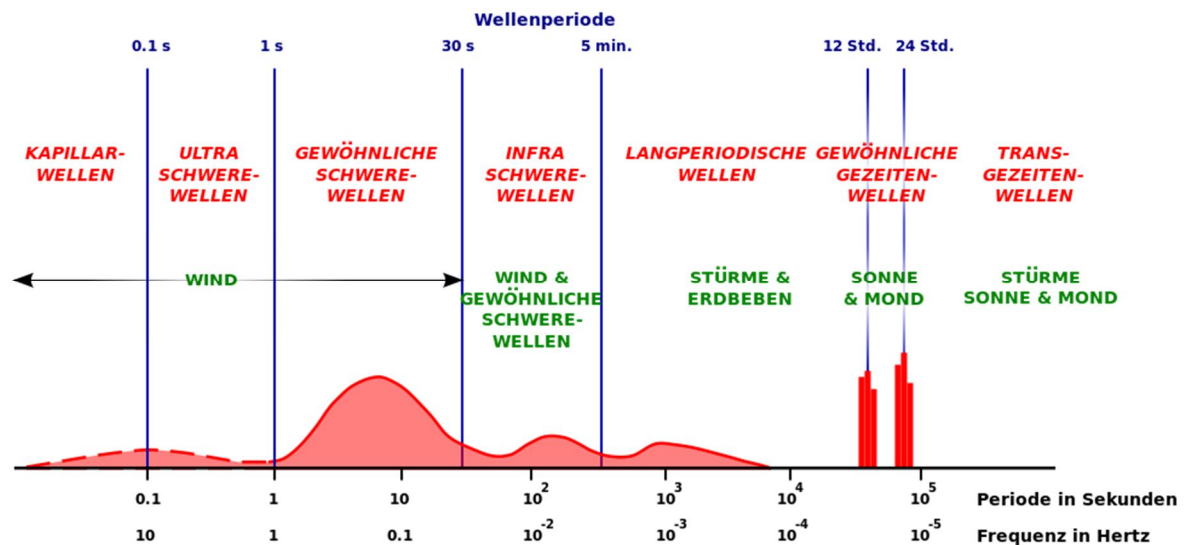


Bild 2: Prinzip-Skizze des Spektrums ozeanischer Wellen. Quelle: (MUNK 1950)

Dieser Umstand wird in dem hier beschriebenen Verfahren genutzt, um die Tidebewegung aus dem Nordseemodell mit den langwelligen, durch Wind und Luftdruck bedingten Anteilen des Messpegels Helgoland zu kombinieren und kurzperiodische Anteile, die in Pegelmessungen oft doch noch vorhanden sind, gegebenenfalls herauszufiltern.

Für definierte Randpunkte entlang des offenen Randes werden die Zeitreihen aus den synoptischen Ergebnissen des Nordseemodells für die Größen Wasserstand und Salzgehalt extrahiert und jeweils die Differenz zu den Modellwerten einer Referenzstation gebildet. für die auch eine möglichst vollständige Jahresmessung vorliegt. Für den Wasserstand bietet sich die Station Helgoland an, die direkt auf dem Rand liegt. Für den Salzgehalt wurde die Station „Leuchtturm Alte Weser“ genutzt, die die vollständigsten Zeitreihen hat. Diese ist jedoch nicht optimal, da sie noch einem deutlichen Oberwassereinfluss unterliegt, die Tideamplitude des Salzgehaltes also auch von der Oberwassermenge beeinflusst ist.

Die Differenzbildung eliminiert die langperiodischen Fehler des Nordseemodells, die durch Fehler in den Winddaten und der Approximation der Bathymetrie zwangsläufig entstehen, da diese Fehler systematischer Natur sind, gleichzeitig aber räumlich im Bereich des Randes des JWE-Modells nur geringfügigen Variationen unterliegen..

Für die Differenzzeitreihen wird dann eine Partialtidenanalyse durchgeführt. Aus den Harmonischen Konstanten werden dann für jeden Gitterpunkt die astronomischen Zeitreihen synthetisch zusammengesetzt. Es ergibt sich das rein astronomische Tidesignal

Dieses reine Tidesignal wird dann auf die **Messung** der zu der jeweiligen Größe gehörenden Referenzstation addiert. Da die Messungen in der Regel Lücken enthalten, müssen diese geeignet gefüllt werden.

Um Rauschen heraus zu filtern, empfiehlt sich, die **Messung** ebenfalls vorher zu filtern. Hier wurde das gemacht, indem ein über die **2Q₁-Periode** gemitteltes Signal (Wasserstand) beziehungsweise ein 3-Tage-Mittel (Salzgehalt) von der Messung abgezogen wurden, für

das verbleibende Signal die „Harmonischen Konstanten“ ermittelt wurde, und diese wieder in eine astronomische Tide zurückgerechnet wurden. Anschließend wurde die gemittelte Kurve wieder addiert. Die Filterung der Referenzstation sollte idealerweise als Bandpass-Filter ausgeführt werden um die Tidefrequenzen der auftretenden Partialtiden im residuellen Signal zu belassen. Die Filterung mit einem gleitenden Mittel entfernt nur die tieferen Frequenzen. Die Randwertzeitreihen besitzen durch die Filterung unter numerischen Aspekten gutmütige Eigenschaften und spiegeln die Tidedynamik des Nordseemodells im Bereich des Randes des JWE-Modells wider. Gleichzeitig enthalten sie die meteorologischen und langperiodischen Signale, die in der gemessenen Zeitreihe enthalten sind.

4.2 Praktisches Vorgehen

Alle verwendeten Programme wurden bei der Bundesanstalt für Wasserbau, Dienststelle Hamburg, für die dort bestehenden Anforderungen und die dort verwendeten Datenformate entwickelt und gepflegt. Sie lassen sich daher an neue Anforderungen zeitnah anpassen. Tabelle 1 listet diese Programme und ihre Verwendung innerhalb des hier dargestellten Vorgehens auf.

Vor Beginn der eigentlichen Arbeit legt man eine Verzeichnisstruktur für die verwendeten Programme und Arbeitsschritte an Bild 3. Diese beinhaltet unter dem Arbeitsordner „pre“ die Verzeichnisse „zeitr“, „xtrdata“, „gview2d“, „tscalcalc_1“, „frqwf“, „frq2zeitr“, „tscalcalc_2“, „tscalcalc_3“ und „utrnd“.

Für das Programm **tscalcalc** empfiehlt sich das Anlegen mehrerer Ordner, um die verschiedenen Arbeitsschritte und ihre Ergebnisse sinnvoll voneinander zu trennen. Soweit im nachfolgenden Text Skripte abgebildet sind, beziehen sich diese auf die hier dargestellte Struktur.

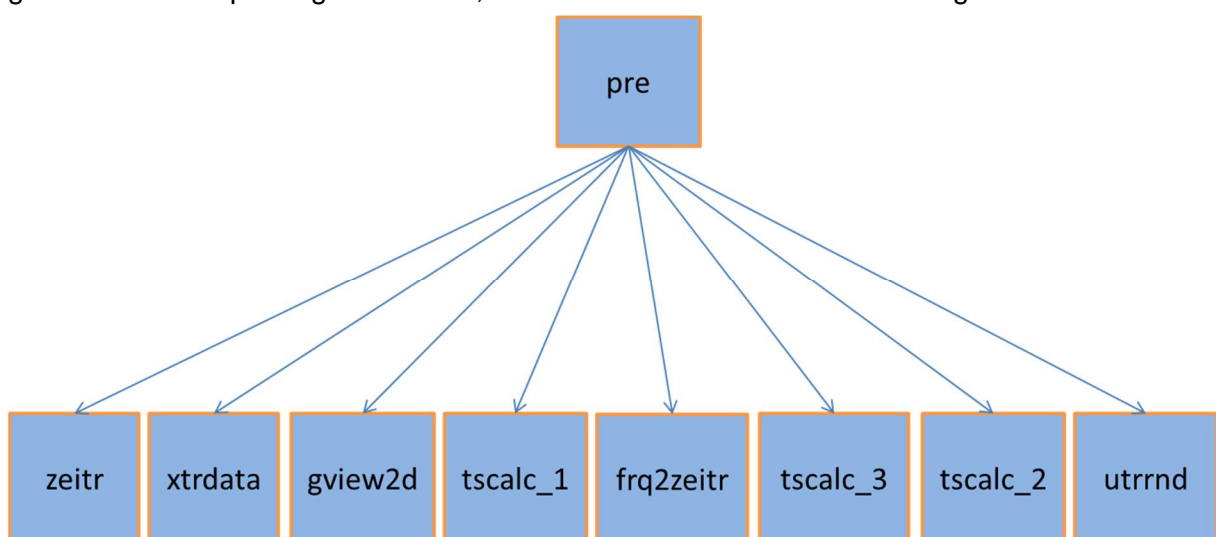
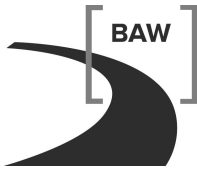
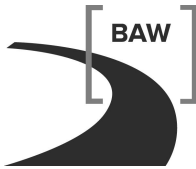


Bild 3: Verzeichnisbaum für die Erzeugung von Randwerten.



4.2.1 Arbeitsschritt 1: Extrahieren der Modelldaten aus dem Nordseemodell

Mit dem Programm **Zeitr** werden die in der Fläche vorliegenden 2D-Ergebnisse (BDF-Format) in eine zeitreihenorientierte Form überführt. Aus diesen Dateien werden dann die Zeitreihen im Format **BOEWRT** mit dem Programm **XtrData** extrahiert. Für dieses Programm wird vorausgesetzt, dass für jeden Randpunkt eine Geopositionsdatei nach dem folgenden Muster erstellt worden ist:



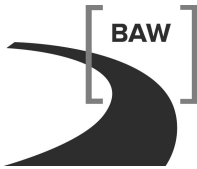
```
# filetype geopos.dat
# Ersteller: Dr. G. Seiss, BAW-DH
Kennung der Geoposition = GP-001
Name Geoposition       = GP-001
Kuerzel Geoposition    = GP-001
Koordinatenreferenz   = 25832
Rechtswert             = 413292.325
Hochwert              = 5961158.598
bathymetrische Tiefe  = 0.000
ENDFILE
```

Programm	Verwendet für
Zeitr	Umwandeln der synoptischen BDF-Ergebnisse in das zeitreihen orientierte Format
XtrData	Extrahieren der Zeitreihen an den Geopositionen des offenen Randes des Modells
gview2d	Extrahieren der Modellzeitreihe der Referenzstation aus den Einzelpunktergebnissen. Erzeugen eines gleitenden Mittels der Referenzmessung, Erzeugen des Restsignals durch Subtraktion
tscal	Differenz zwischen den Randpunkten und der Referenzstation (Modell) Addieren des synthetisch gewonnenen astronomischen Tidesignals der Referenzstation auf das gleitende Mittel (Erzeugen der geglätteten Referenzmessung) Addieren der synthetischen astronomischen Differenzkurven auf die geglättete Referenzmessung
Frqwf	Partialtidenzerlegung der Differenzkurven Partialtidenzerlegung des Tidesignals der Messung
frq2zeitr	Synthetisieren der astronomischen Differenztiden Synthetisieren des Tidesignals der Referenzmessung
utrnd	Verarbeiten der Randwerte zu BDF-Dateien

Tabelle 1: Die im Arbeitsablauf verwendeten Programme der Bundesanstalt für Wasserbau, Dienststelle Hamburg (BAW 1996b-2014).

Wichtig ist, dass die Datei die Koordinatenreferenz enthält. Über das Setzen der Umgebungsvariable BAWCRS sollte das Koordinatenreferenzsystem der Gitterdatei der in der Fläche vorliegenden Modellresultate gesetzt werden. Da die Gitterdatei des Nordseemodells im Gauß-Krüger-System, Streifen 3, DHDN vorliegt, wird vor **XtrData** der Befehl:

```
export BAWCRS=31467
```



ausgeführt. Die Zahl ist hier der EPSG-Code des genannten Koordinatenreferenzsystems. Weitere Einzelheiten zu den Programmen **Zeitr** und **XtrData** entnimmt man (BAW 1996e-2014) und (BAW 1996d-2014).

Mit dem Programm **gview2d** werden aus den Modellergebnissen des Nordseemodells an Einzelpositionen die Zeitreihe für die Station „Helgoland“ (Wasserstand) beziehungsweise „Leuchtturm Alte Weser“ (Salzgehalt) dargestellt und ausgegeben. Dies geschieht unter dem Menüpunkt „AsciiOut“.

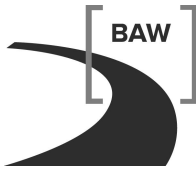
Die entsprechenden Messungen werden ebenfalls mit dem Programm **gview2d** visualisiert und in einen langperiodischen Anteil, der die langsamste eintägige Partialtide nicht mehr enthält, und den kurzperiodischen Rest zerlegt. Dies geschieht, indem für die Zeitreihen das gleitende Mittel über einen ausreichenden Zeitraum (mindestens die Periode der langsamsten Partialtide) gebildet wird und diese Zeitreihe dann von der Originalmessung subtrahiert wird. Bei der Eingangszeitreihe ist darauf zu achten, dass ihr Zeitraum wenigstens ein Tag vor dem gewünschten Zeitraum beginnt und ein Tag nach dem gewünschten Zeitraum endet, um systematische Fehler bei der Berechnung des gleitenden Mittelwertes auszuschließen.

Sowohl die gemittelte Zeitreihe als auch das Residuum werden über den Menüpunkt „AsciiOut“ exportiert. Der Residuum-Zeitreihe muss danach noch die Position der Originalreihe und ein sinnvoller, kurzer Stationsname mitgegeben werden. Dazu wird der Header der Datei geeignet editiert.

4.2.2 Arbeitsschritt 2: Erzeugen der astronomischen Differenzzeitreihen

Von den Zeitreihen an den Randpunkten wird die Modell-Zeitreihe der Referenzstation abgezogen. Hierzu wird das Programm **tscal** eingesetzt. Da **tscal** immer nur eine Zeitreihe pro Durchlauf bearbeitet, wird der ganze Vorgang in einer Skript-Schleife durchgeführt. Das Skript sieht beispielhaft so aus:

```
#!/bin/ksh
export BAWCRS=31467
for i in wl.?P-???.2007_modell.dat
do
    sed -e s/"wl.GP-nnn_2007_modell.dat"/"$i"/ \
    tscal.template_wl.dat > tscal.tmp.dat
    sed -e s/"d_HEL.wl.GP-nnn_2007_modell.dat"/"d_HEL.$i"/ \
    tscal.tmp.dat > tscal.dat
    tscal_test.xe <<EOF >tscal.$i.stdout
N
tscal.sdr
tscal.dat
```



EOF

```
mv tscalcalc.sdr tscalcalc.$i.sdr
done
ls -l d_HEL.wl.?P-???.2007_modell.dat > boewrt.liste_wl.dat
```

Die Steuerdatei `tscalcalc.dat` wird dabei in Form eines Templates `tscalcalc.template_wl.dat` bereitgestellt (siehe Anlage 1). Für jede Eingangsdatei werden die **Platzhalter** im Template ersetzt und das Programm **tscalcalc** ausgeführt.

Am Ende wird eine Dateiliste der Ergebnisdateien erstellt, welche dann im nächsten Programm verwendet wird. Weitere Informationen über das Programm **tscalcalc** finden sich im BAWiki (BAW 1996c-2014).

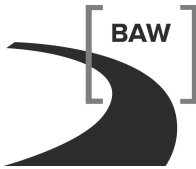
Die erstellte Dateiliste wird im Programm **Frqwf** weiter verarbeitet, hier werden die harmonischen Konstanten der Differenzzeitreihen berechnet. Auch hier wird der Einsatz eines Skriptes empfohlen:

```
#!/bin/ksh
export BAWCRS=25832
ln -s ../tscalcalc_1/boewrt.liste_wl.dat .
ln -s ../tscalcalc_1/d_HEL.wl.?P-???.2007_modell.dat
Frqwf.xe << EOF
N
Frqwf.sdr
Frqwf.wl.dat
EOF
```

Dieses Skript linkt die Dateien aus dem Parallelverzeichnis **tscalcalc**, wechselt intern in diesem Fall das Koordinatenreferenzsystem auf UTM/ETRS89, Zone 32 und führt **Frqwf** mit der passenden Steuerdatei aus. Der Wechsel des Koordinatenreferenzsystems soll hier auf das System des Zielmodelles, hier des JWE-Modells, erfolgen. Dies geschieht auch hier durch das Setzen der Umgebungsvariablen BAWCRS. Weitere Informationen über das Programm **Frqwf** finden sich im BAWiki (BAW 1996a-2014).

Die Geopositionsdateien mit den harmonischen Konstanten für die Differenzzeitreihen an den Randpunkten werden nun mit dem Programm **frq2zeit** zu einer astronomischen Tideganglinie zusammengesetzt. Auch dies erfolgt am besten innerhalb eines Skriptes:

```
#!/bin/ksh
export BAWCRS=25832
# Umspeichern der Ergebnisdateien aus frqwf
mkdir -p gp
mv ../frqwf/?P_001.2007.geopos.001.dat gp/
ls -l gp/?P_001.2007.geopos.001.dat > geopositionen_wl.dat
```

```
frq2zeitr << EOF
n
frq2zeitr_wl.sdr
frq2zeitr_wl.dat
EOF
# Umbenennen der Standardergebnisse
for i in ?P_???.dat
do
    mv $i dHEL_AT_2007_$.i
done
```

4.2.3 Arbeitsschritt 3 : Vorbereiten der Referenzkurve

Die Messung an der Referenzstation liegt nun bereits zerlegt in einen über die **2Q₁-Periode** gemittelten Anteil und die nach Abzug des gemittelten Anteils verbleibende Kurve vor. Für letztere werden in der gleichen Weise wie für die Differenzkurven mit **Frqwf** die harmonischen Konstanten ermittelt und anschließend wird daraus mit **frq2zeitr** wieder eine astronomische Zeitreihe synthetisiert. Auf diese wird dann mit **tscalc** der gemittelte Anteil wieder addiert.

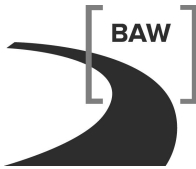
Dieses Vorgehen sorgt dafür, dass die kurzperiodischen Schwankungen im Pegel sowie die durch Rundung, Messfehler oder Ergänzungen entstandenen, nicht physikalischen Störungen in der Messung eliminiert werden und am Ende eine äquidistante Zeitreihe vorliegt.

Kurzperiodische windbedingte Schwankungen des Wasserstandes werden mit diesem Vorgehen allerdings ebenfalls herausgefiltert. Für eine Tidekennwertanalyse der später mit Hilfe der Randwerte erzeugten Simulationsergebnisse führt dieses Vorgehen zu einer Qualitätsverbesserung der Ergebnisse, da die nicht durch die Tide bedingten kurzperiodischen Phänomene aus den Randwerten entfernt werden.

Beim Einsatz der Randwerte für eine Validierung kann es möglicherweise sinnvoll sein, eine andere Vorgehensweise zu wählen, um eine geglättete (numerisch „verträglichere“) Messung zu erhalten, die auch die wesentlichen windbedingte Schwankungen noch enthält. Hierzu wurden bisher jedoch noch keine geeigneten Methoden getestet, die sich automatisieren lassen. Wird die Referenzkurve nach der beschriebenen Methode erzeugt, so sollte der Validierungszeitraum in einen windarmen Zeitraum gelegt werden.

4.2.4 Arbeitsschritt 4: Erzeugen der Randwertdateien

Zuletzt wird mit **tscalc** das Signal Referenzmessung zu den in Arbeitsschritt 1 erzeugten astronomischen Differenztiden addiert. Auch hier muss wieder jeder Randpunkt in einem Durchlauf von **tscalc** bearbeitet werden, weshalb man ein Skript benutzt:



```
#!/bin/ksh
export BAWCRS=25832
# linken der benoetigten Dateien
ln -s ../frq2zeitr/dHEL_AT_2007_?P_???.dat .
ln -s ../tscalcalc_3/add_mean.DHEL3d.2007.dat .
# Zu allen astronomischen Differenzkurven den Pegel Helgoland
# (geglaettete Messung)addieren
for i in dHEL_AT_2007_?P_???.dat
do
    sed -e s/"dHEL_AT_2007_GP-nnn.dat"/"$i"/ \
    tscalcalc.template_wl.dat > tscalcalc.tmp.dat
    sed -e s/"add_HEL.dHEL_AT_2007_GP-nnn.dat"/"add_HEL.$i"/ \
    tscalcalc.tmp.dat > tscalcalc.dat
    tscalcalc << EOF >tscalcalc.$i.stdout
N
tscalcalc.sdr
tscalcalc.dat
EOF
    mv tscalcalc.sdr tscalcalc.$i.sdr
done
#
# Eine Liste aller Ergebnisdateien erstellen
# Die Liste kann nachher in die Steuerdatei utrrnd.dat uebernommen
werden
ls -l add_HEL.dHEL_AT_2007_?P_???.dat > boewrt_liste_wl.dat
sed -e s/"add_HEL"/"Water_Level      = BOEWRT add_HEL"/ \
boewrt_liste_sa.dat > files_wl.txt
#
# Knotennummern austauschen
for i in add_HEL.dHEL_AT_2007_GP_*.dat
do
    ikn=`echo $i | cut -c25-27`
    sed -e s/"          0 MEZ"/"          $ikn MEZ"/ $i > tmp.dat
    mv tmp.dat $i
done
sed -e s/"          0 MEZ"/"          101 MEZ"/ \
add_HEL.dHEL_AT_2007_HP_001.dat > tmp.dat
mv tmp.dat add_HEL.dHEL_AT_2007_HP_001.dat
# Ueberfluessiges loeschen
rm tscalcalc.tmp.dat boewrt_liste_wl.dat
```

Da das nachfolgende Programm **utrrnd** eindeutig durchnummerierte Dateien benötigt, werden innerhalb dieses Skriptes auch die Knotennummern neu vergeben. Die Template-Steuerdatei wird wie im Arbeitsschritt 2 beim Erzeugen der Differenzen aufgebaut und verwendet.

Als letzter Schritt wird dann das Programm **utrrnd** auf die erzeugten Randwertdateien im BOEWRT-Format angewendet, um die für die Simulation erforderlichen BDF-Dateien zu erzeugen.

5 Ergebnisse

Für das JWE-Modell wurden Jahreszeitreihen der Jahre 2007, 2009, 2010, 2011 und 2012 am seeseitigen Rand für die 84 definierten Randpunkte sowie einen Hilfspunkt erzeugt. Ein Vergleich zwischen der Messung Helgoland, der geglätteten Messung Helgoland, der Modellganglinie Helgoland und der an der Position Helgoland generierten Randwertzeitreihe wird in Bild 4 für einen Sommerzeitraum und Bild 5 für einen Winterzeitraum des Jahres 2007 dargestellt.

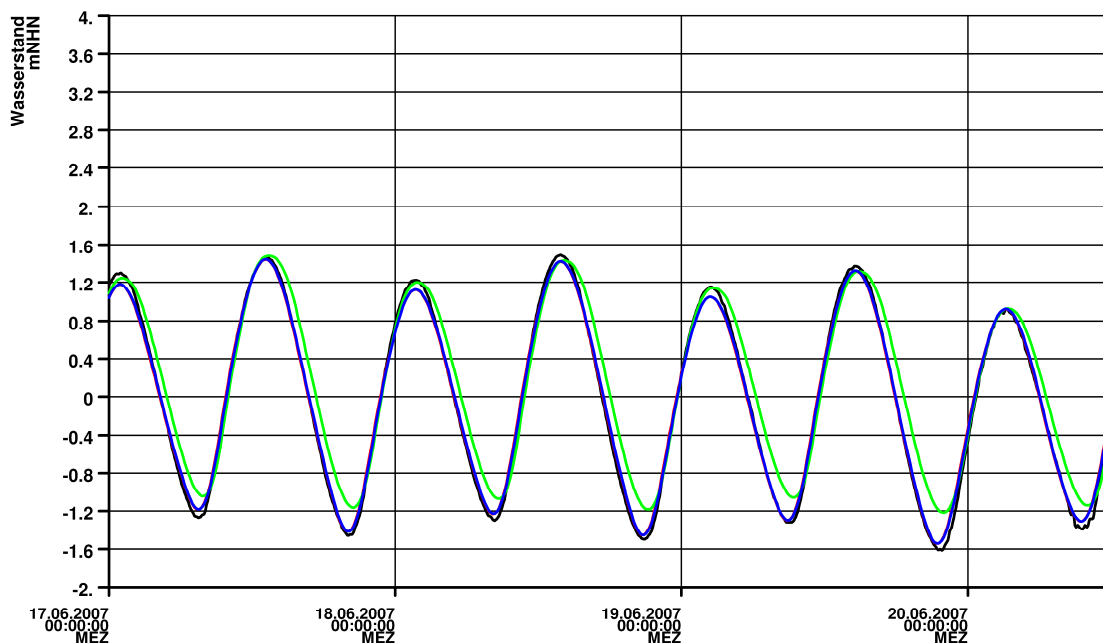


Bild 4: Vergleich zwischen den Kurven für die Station Helgoland, Sommerzeitraum. **Messung**, **geglättete Messung**, **generierte Randwerte**, **Nordseemodell**.

Offensichtlich ist, dass die erzeugten Randwerte (blaue Kurve) in der Regel sich sehr viel dichter an die schwarze Kurve der Messung als die grüne Kurve des Nordseemodells anschmiegt. Dies zeigt die erhebliche Verbesserung der ursprünglichen Randwertzeitreihe aus dem Nordseemodell durch das beschriebene Verfahren. Die Abweichungen vom Pegel kön-

nen wesentlich damit erklärt werden, dass der Pegel möglicherweise durch ein kurzperiodisches Starkwindereignis gestört wurde. Beim Glätten der Pegelkurve können so kurzperiodische Informationsverluste eingetreten sein.

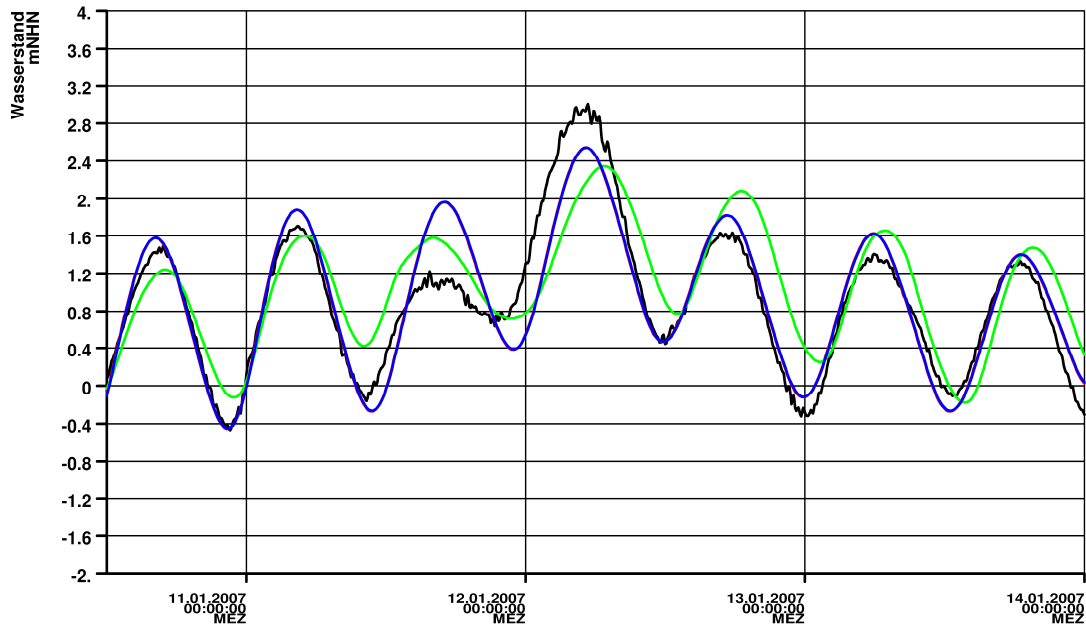
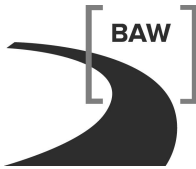


Bild 5: Vergleich zwischen den Kurven für die Station Helgoland, Winterzeitraum. **Messung**, **geglättete Messung**, **generierte Randwerte**, **Nordseemodell**.

Die geglättete Messung (rote Kurve) von Helgoland wird von der blauen Kurve überdeckt, damit sind alle Abweichungen der Randwertkurve von der Natur ausschließlich auf das verwendete Verfahren der Filterung zurück zu führen. Im Sommerzeitraum herrschte wenig Wind, daher können die Partialtiden den Verlauf des Wasserstandes bereits vollständig erklären. Im Winterzeitraum gab es einen kurzperiodischen meteorologischen Effekt durch die Sturmflut, der die Abweichungen um 11.-13.01.2007 erklärt. Für Sturmflutzeiträume ist daher eine andere Methode zur Glättung der Messung zu bevorzugen.

Insgesamt sind die Ergebnisse sehr zufriedenstellend und das Verfahren mathematisch abgesichert und reproduzierbar. Bei geschickter Wahl von Dateinamen und Verzeichnisstruktur lässt es sich sogar im Ablauf mit Hilfe von LINUX-Skripten und der in der Bundesanstalt für Wasserbau, Dienststelle Hamburg, entwickelten Software automatisieren, wenn man von der im Vorwege notwendigen Aufbereitung der jeweils zugrunde gelegten Referenzmessung absieht, die in der Regel etwas Handarbeit erfordert.

Das Verfahren lässt sich auf andere Ästuar-Modell-Ränder übertragen, soweit der Einfluss des Oberwassers angenähert vernachlässigbar am Rand und bei der Referenzstation ist. Eine Verbesserung der Qualität kann gegebenenfalls bei längeren Randabschnitten noch dadurch erreicht werden, dass mehrere Referenzstationen genutzt werden können.



Literaturverzeichnis

BAW: FRQWF – BAW-Methoden-Wiki. Bundesanstalt für Wasserbau,
<http://www.baw.de/methoden/index.php5/FRQWF>, Stand: 10.04.2014.

BAW: Programmkennblätter. Bundesanstalt für Wasserbau,
<http://www.baw.de/methoden/index.php5/Programmkennbl%C3%A4tter>, Stand: 10.04.2014.

BAW: TSCALC – BAW-Methoden-Wiki. Bundesanstalt für Wasserbau,
<http://www.baw.de/methoden/index.php5/TSCALC>, Stand: 10.04.2014.

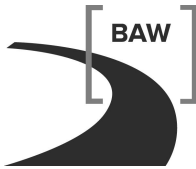
BAW: XTRDATA – BAW-Methoden-Wiki. Bundesanstalt für Wasserbau,
<http://www.baw.de/methoden/index.php5/XTRDATA>, Stand: 10.04.2014.

BAW: ZEITR – BAW-Methoden-Wiki. Bundesanstalt für Wasserbau,
<http://www.baw.de/methoden/index.php5/ZEITR>, Stand: 10.04.2014.

KÖSTERS, F.; KASTENS, M. und PLÜß, A.: Nordsee-Basismodell. Teil I: Allgemeine Übersicht. Bundesanstalt für Wasserbau, 34 S., 2013a.

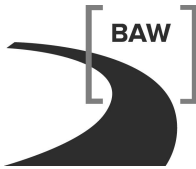
KÖSTERS, F.; KASTENS, M.; PLÜß, A.; GÄRTNER, S. und APPEL, W.: Nordsee-Basismodell. Teil II: Modellsystem UnTRIM-SediMorph-Unk, a) Hydrodynamik (UnTRIM-SediMorph). Bundesanstalt für Wasserbau, 34 S., 2013b.

MUNK, W.: Klassifikation der Meereswellen nach Wellenperiode. Wikimedia Commons,
http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Munk_ICCE_1950_Fig1_de.svg, Stand: 09.04.2014.

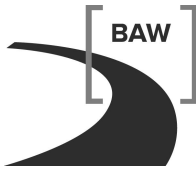


Anlage 1: Template für Steuerdatei des Programmes **tscal**, Differenzbildung

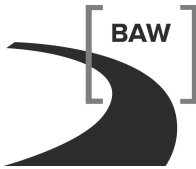
```
# tscal.dat -----
# -----
# Eingabedaten fuer das Programm TSCALC
# -----
# -----
# > > > > > > M_A_X_I_M_A_L_E F_E_L_D_G_R_E_N_Z_E_N < < < < < <
# -----
# A 01 - 10 : max. Laenge der Zeitreihe MAXLZR (I10)
# B 11 - 20 : max. Anzahl der verarbeiteten Datensaeetze MAXFILES (I10)
# -----AB-----B      75000      20
# -----
# > > > > > > S_O_N_S_T_I_G_E E_I_N_G_A_B_E_D_A_T_E_N < < < < < <
# -----
# A 01 - 29 : DATREF_F (A29), Bezugsdatum fuer Zeitpunkt t=0
#
#           TT.MM.JJJJ-hh:mm:ss.nnnnnnnnn
#
# Hinweis(e): - bei allen Zeitrechnungen im Sekundenmodus gibt dieses Datum
#
#           den Ursprung der Zeitachse bei t=0 Sekunden an
#
#           - keine Datumsangabe darf vor diesem Datum liegen
#
#           - diese Datumsangabe muss in jedem Fall gemacht werden, da
#
#           evtl. auch Zeitserien im Format solwrt.dat verarbeitet werden
# -----A
01.01.2007-00:00:00.000000000
# -----
# A 01 - 29 : DATANF_F (A29), Anfang des Bearbeitungszeitraums
#
#           TT.MM.JJJJ-hh:mm:ss.nnnnnnnnn
# -----A
01.01.2007-00:00:00.000000000
# -----
# A 01 - 29 : DATEND_F (A29), Ende des Bearbeitungszeitraums
#
#           TT.MM.JJJJ-hh:mm:ss.nnnnnnnnn
#
# -----A
01.01.2008-00:00:00.000000000
# -----
# A 01 - 25 : DATINC_F (A25), Zeitinkrement zwischen zwei aufeinanderfol-
#
#           genden Stuetzstellen der zu erzeugenden
```



```
#                               Zeitreihen, TTTT-hh:mm:ss.nnnnnnnn
#
# -----A
000000-00:10:00.000000000
# -----
# Definition der auszufuehrenden Operation, der mathematischen Verknuepfungen
# und der Konstanten
#
# Typ = 1:
#
# R = K1 &V1& [ (K2 &V2& (K3 &V3& F1)) &V4& (K5 &V5& (K6 &V6& F2)) ]
#
# mit K? = Konstante und &V?& = [+,-,*,/] (Verknuepfungszeichen)
# mit F1 = Dateiname1
# mit F2 = Dateiname2
#
# Default-Belegung:
#           K1 = 1.0   &V1& = *
#           K2 = 1.0   &V2& = *
#           K3 = 1.0   &V3& = *
#                               &V4& = +
#           K5 = 1.0   &V5& = *
#           K6 = 1.0   &V6& = *
# -----
BEGINDATA Operationen
# -----
# Steuerworte zur Beschreibung der durchzufuehrenden Operationen
# - (REQ) unbedingt erforderlich sind:
#   Eingabe-Datei1 <filetype> = <filename>
#                               --> Datei mit der ersten Zeitreihe F1
#                               Datei muss vorhanden sein
#                               Endungen auf .gz oder .Z moeglich
#   Eingabe-Datei2 <filetype> = <filename>
#                               --> Datei mit der zweiten Zeitreihe F2
#   Ausgabe-Datei <filetype> = <filename>
#                               --> Datei fuer auszugebende Daten
#   physikalische Groesse   = [<pg-code-nr>,<pg-name>]
#
```



```
# - (OPT) optional sind:
#   Konstante <nr-k>           = <real-wert>
#                               --> vorbelegte Konstante abaendern
#
#   Verknuepfung <nr-v>       = <op>
#                               --> vorbelegte Verknuepfung abaendern
#
#   Interpolationstyp1        = <ip-typ>
#                               --> vorbelegten Interpolationstyp fuer die
#                               erste Zeitreihe F1 abaendern
#
#   Interpolationstyp2        = <ip-typ>
#                               --> vorbelegten Interpolationstyp fuer die
#                               zweite Zeitreihe F2 abaendern
#
#   Zeitverschiebung1         = <inc_f>
#                               --> die Daten der Zeitreihe F1 werden um
#                               einen beliebigen Zeitraum verschoben
#
#   Zeitverschiebung2         = <inc_f>
#                               --> die Daten der Zeitreihe F2 werden um
#                               einen beliebigen Zeitraum verschoben
#
# - - - - -
# - Hinweise:
# 1.) <filetype> = [boewrt,solwrt]
# 2.) <pg-code-nr> = Code-Nr der physikalischen Groesse gemaess
#    Verschluesselung in $PROGHOME/public/cfg/phydef.cfg.de.dat
# 3.) <pg-name> = Name der physikalischen Groesse gemaess der Namens-
#    gebung in $PROGHOME/public/cfg/phydef.cfg.de.dat
# 4.) <nr-k> = Nummer i der Konstante Ki
# 5.) <real-wert> = reelle Zahl, die einer Konstante Ki zugewiesen wer-
#    den soll
# 6.) <nr-v> = Nummer i einer Verknuepfung Vi
# 7.) <op> = Verknuepfungsoperator [+,-,*,/]
# 8.) <ip-typ> = Typ der Dateninterpolation
#           1 : lineare Interpolation (Default)
#           2 : Spline-Interpolation
# 9.) <inc_f> = Zeitinkrement fuer Verschiebungen
#           [+ ]DDDDDD-hh:mm:ss.nnnnnnnnnn ODER
#           -DDDDDD-hh:mm:ss.nnnnnnnnnn
# 10.) NEWOPERATION 1 trennt verschiedene Datensaeetze
# 11.) ENDDATA beendet die Eingabe von weiteren Operationen
# 12.) ENDFILE beendet die Datei
```

```
# -----  
NEWOPERATION 1  
# - - - - -  
# REQ-Parameter  
Eingabe-Datei1 boewrt = w1.GP-nnn_2007_modell.dat ! Dummy-Dateiname  
Eingabe-Datei2 boewrt = HEL_2007_modell.dat  
Ausgabe-Datei boewrt = d_HEL.w1.GP-nnn_2007_modell.dat ! Dummy-Dateiname  
physikalische Groesse = Wasserstand  
# OPT-Parameter  
#Konstante 1          = 0.5  
#Verknuepfung 1      = +  
Verknuepfung 4        = -  
#Interpolationstyp1  = 1  
#Interpolationstyp2  = 1  
#Zeitverschiebung1   = +000000-00:00:00.000000000  
#Zeitverschiebung2   = -000000-00:00:00.000000000  
Koordinatengewicht1 = 1.0          ! Die Koordinaten der ersten Datei werden übernommen  
# -----  
ENDDATA  
ENDFILE  
# end of file -----
```