



# **Simulationsmodell Marina**

Handbuch

Version 2.9





© smile consult GmbH

Alle Rechte vorbehalten. Die Unterlagen dürfen nur nach Zustimmung der smile consult GmbH kopiert, vervielfältigt oder in andere Sprachen übersetzt werden.

Hannover, den 13.08.2019

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'P. Milbradt', written in a cursive style.

apl. Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Milbradt

smile consult GmbH  
Schiffgraben 11  
30159 Hannover

Tel.: 0511 / 54 36 17 - 40  
Fax: 0511 / 54 36 17 - 66

[info@smileconsult.de](mailto:info@smileconsult.de)  
[www.smileconsult.de](http://www.smileconsult.de)



# Inhaltsverzeichnis

1.	EINLEITUNG .....	8
1.1.	Modellkomponenten .....	8
1.1.1.	Marina2D .....	8
1.1.2.	Marina3D .....	8
1.2.	Systemvoraussetzungen .....	8
2.	THEORETISCHE GRUNDLAGEN .....	9
2.1.	CurrentModel2D .....	9
2.1.1.	Energieverluste durch Bodenreibung .....	9
2.1.2.	Turbulenzmodellierung .....	11
2.1.3.	Energieeintrag durch Wind .....	12
2.1.4.	Energieeintrag durch Seegang .....	12
2.1.5.	Trockenfallen und Überfluten .....	12
2.1.6.	Wehre .....	13
2.2.	WaveHypModel .....	13
2.2.1.	Windanfachung .....	14
2.2.2.	Einwirkung der zugrunde liegenden Strömung .....	15
2.3.	SedimentTransportModel2D .....	15
2.3.1.	Bestimmung des Geschiebetransportes .....	15
2.3.1.1.	Geschiebetransport in Abhängigkeit von der Strömung .....	16
2.3.2.	Bestimmung des Schwebstofftransportes .....	18
2.3.2.1.	Sinkgeschwindigkeit .....	20
2.3.3.	Bestimmung der Bodenschubspannung .....	20
2.3.3.1.	Sekundärstömungsanteil .....	21
2.3.3.2.	Rutschen .....	21
2.3.4.	Veränderliche Kornzusammensetzung .....	22
2.3.5.	Bestimmung der Porosität .....	23
2.3.6.	Vorhersage von Dünenparametern .....	23
2.4.	SaltTransportModel2D .....	23
2.5.	HeatTransportModel2D .....	24
2.6.	AdvectionDispersionModel2D .....	24
2.7.	GroundWaterModel2D .....	25
2.8.	CurrentModel3D .....	26

3.	NUMERISCHE APPROXIMATION .....	27
3.1.	Semi-diskrete stabilisierte Finite-Element-Approximation .....	27
3.2.	Zeitliche Integration .....	29
4.	MODELLAUFBAU .....	30
4.1.	Berechnungsnetz .....	30
4.2.	Modellsteuerung .....	31
4.3.	Modellkonfiguration .....	31
4.3.1.	CurrentModel2D .....	31
4.3.2.	WaveHypModel .....	33
4.3.3.	SedimentTransportModel2D .....	35
4.3.4.	SaltTransportModel2D .....	37
4.3.5.	HeatTransportModel2D .....	38
4.3.6.	AdvectionDispersionModel2D .....	39
4.3.7.	CurrentModel3D .....	40
5.	STARTEN EINER SIMULATION .....	41
6.	QUELLENVERZEICHNIS .....	43
7.	ANHANG I: DATEIBESCHREIBUNGEN .....	45
8.	ANHANG II: ÜBERBLICK XML-ELEMENTE .....	63



## 1. Einleitung

Das Softwarepaket MARINA ist ein Modellsystem zur Simulation der Hydro- und Morphodynamik in Flüssen, Seen, Ästuaren und Küstenbereichen. Die numerische Approximation der transportdominanten instationären Grundgleichungen erfolgt mit stabilisierten Finiten Dreieckselementen. Eine ausgereifte Strategie zur Beschreibung des Trockenfallens und Überflutens ermöglicht die hydro- und morphodynamische Simulation in komplizierten Fluss- und Ästuar-Topographien.

Zusammen mit den Werkzeugen JANET und DAVIT zum Prä- und Postprocessing bildet das Simulationssystem eine vollständige Prozesskette von der Aufbereitung der Naturdaten über die Gittergenerierung bis hin zur Analyse und Interpretation der Berechnungsergebnisse.

Die Konfiguration der unterschiedlichen Modellmodule und die Steuerung der numerischen Simulation erfolgt über eine XML-Datei.

### 1.1. Modellkomponenten

Das Simulationssystem lässt sich entsprechend der Dimension der zu simulierenden Prozesse in MARINA2D und MARINA3D unterscheiden.

Die Modellkomponenten von MARINA können alle miteinander gekoppelt werden. Die Kopplung erfolgt dabei direkt auf Modulebene.

#### 1.1.1. Marina2D

MARINA2D basiert im Wesentlichen auf der Annahme tiefenintegrierter Systemgrößen und beinhaltet die zentralen Modellkomponenten CurrentModel2D, WaveHypModel und SedimentTransportModel2D. Ergänzt werden diese Modelle durch Komponenten zur Beschreibung des tiefenintegrierten Stoff- und Wärmetransportes (z. B. SaltTransportModel2d, HeatTransportModel2D usw.). Zur Kopplung von Oberflächengewässerdynamik mit dem Grundwasser steht ein einfaches Grundwassermodell zur Verfügung.

#### 1.1.2. Marina3D

MARINA3D besteht derzeit nur aus dem 3-dimensionalen Strömungsmodell CurrentModel3D. Die Kopplung mit Modulen aus MARINA2D erfolgt, insofern diese sinnvoll ist.

## 1.2. Systemvoraussetzungen

Das holistische Modellsystem MARINA ist in Java implementiert und benötigt zur Ausführung ausschließlich eine Java-Laufzeitumgebung ab Java 8. Der notwendige Hauptspeicherausbau richtet sich nach der Modellgröße und den verwendeten Modellkomponenten (ein typisches tiefenintegriertes Strömungsmodell mit ca. hunderttausend Rechenknoten benötigt ca. 400 MB Speicherkapazität). MARINA ist für Shared-Memory-Systeme parallelisiert. Die Anzahl der zu verwendenden Rechenkerne kann in der MARINA-XML-Datei (`<NumberOfThreads>`) angegeben werden.



## 2. Theoretische Grundlagen

Die implementierten mathematischen Modellgleichungen basieren auf den Navier-Stokes-Gleichungen. Auf der Grundlage einer Reynolds-ähnlichen Zerlegung in turbulente und Seegangs-Anteile sowie mittlere Strömungen können Modellgleichungen für Strömung und Seegang hergeleitet werden. Die Tiefenintegration führt zu den Flachwassergleichungen (CurrentModel2D) und eine periodengemittelte Betrachtung zu einem hyperbolischen Seegangsmodell (WaveHypModel).

### 2.1. CurrentModel2D

Das Strömungsmodul CurrentModel2D ist ein zweidimensionales, tiefenintegriertes instationäres Strömungsmodell auf der Basis der tiefenintegrierten Reynolds-Gleichungen:

$$\begin{aligned}\frac{\partial u}{\partial t} &= -u \frac{\partial u}{\partial x} - v \frac{\partial u}{\partial y} - g \frac{\partial \eta}{\partial x} + v \cdot 2 \omega \sin \varphi + \frac{1}{\rho(\eta + z_B)} (T_x - T_x^B + T_x^W) \\ \frac{\partial v}{\partial t} &= -u \frac{\partial v}{\partial x} - v \frac{\partial v}{\partial y} - g \frac{\partial \eta}{\partial y} - u \cdot 2 \omega \sin \varphi + \frac{1}{\rho(\eta + z_B)} (T_y - T_y^B + T_y^W) \\ \frac{\partial \eta}{\partial t} &= \frac{-\partial u(\eta + z_B)}{\partial x} - \frac{\partial v(\eta + z_B)}{\partial y}.\end{aligned}$$

Hierbei ist  $z_B$  die mittlere Ruhewassertiefe bzw. Sohlage,  $u$  und  $v$  die Komponenten des Strömungsvektors und  $\eta$  die Wasserspiegelauslenkung aus der Ruhewasserlage,  $g$  die Erdbeschleunigung und  $\rho$  die Wasserdichte. Die Corioliskraft ist abhängig von der geographischen Breite  $\varphi$  und der Winkelgeschwindigkeit  $\omega = 2\pi/T_E$ , wobei  $T_E = 86400\text{ s}$  die Periode der Erddrehung ist. Die Parametrisierung der Turbulenz wird mit  $T$ , die der Bodenreibung mit  $T^B$  und die des Windeinflusses mit  $T^W$  bezeichnet.

Im Modell werden folgende Effekte berücksichtigt:

- Energieverluste durch Bodenreibung  $T^B$  (nach MANNING-STRICKLER und unebene Sohle)
- Energieeintrag durch Wind  $T^W$  (SMITH and BANKE (1975))
- Corioliseinfluss
- Überflutung und Trockenfallen
- Turbulenzmodellierung  $T$  (SMAGORINSKY (1963))

Zusätzliche Terme werden bei der Modellkopplung mit anderen Modulen berücksichtigt. Hierzu gehören unter anderem die radiation stresses zur Beschreibung welleninduzierter Strömungen.

#### 2.1.1. Energieverluste durch Bodenreibung

Der Energieverlust wird in tiefenintegrierten Modellen über die Sohlschubspannung  $\vec{\tau}^B$  beschrieben. Die Sohlschubspannung besteht aus zwei Anteilen: der Bodenschubspannung  $\vec{\tau}_B$ ,

die proportional zum Quadrat der mittleren Geschwindigkeit ist, und einem Term  $\vec{\tau}_{BX}$ , der die Unebenheit der Sohle berücksichtigt:

$$\vec{T}^B := \vec{\tau}_B + \vec{\tau}_{BX}$$

Allen Sohl Schubspannungsgesetzen tiefenintegrierter Simulationsmodelle ist gemein, dass bei diesen die Geschwindigkeit quadratisch eingeht. Uneinigkeit besteht jedoch über die Potenz der Wassertiefe. Im tiefenintegrierten Strömungsmodell ist der Ansatz nach NIKURADSE (1933) und MANNING-STRICKLER implementiert.

### Das Gesetz von Nikuradse

Die Kenntnis des logarithmischen Geschwindigkeitsprofils gibt genaueren Aufschluss über die Form des Sohlreibungskoeffizienten in einem tiefengemittelten Modell:

$$\vec{\tau}_B := \frac{\rho g}{\left(18 \cdot \log\left(\frac{12 \cdot d}{k_s}\right)\right)^2} \|\vec{u}\| \vec{u},$$

wobei die effektive Sand- oder Sohlrauheit  $k_s$  ein Maß für die Rauheit der Sohle ist.

### Das Strickler-Gesetz

Das Gesetz von NIKURADSE lässt sich für große äquivalente Sohlrauheiten ( $k_s > 1\text{cm}$ ) recht gut durch die Formel

$$18 \cdot \log\left(\frac{12 \cdot d}{k_s}\right) \sim 25 \cdot \left(\frac{d}{k_s}\right)^{1/6}$$

approximieren. Damit kann die logarithmische Abhängigkeit von der Wassertiefe  $d$  durch deren Potenz 1/6 ersetzt werden. Das Strickler-Gesetz ist dann eine Approximation des Gesetzes von NIKURADSE:

$$\vec{\tau}_B := \frac{\rho g}{h^{1/3} k_{Str}^2} \|\vec{u}\| \vec{u}.$$

Der Strickler-Koeffizient hat die recht unhandliche Dimension  $m^{1/3} s^{-1/2}$ , die uns wenig über seine physikalische Bedeutung erzählt. Die Bandbreite des Strickler-Koeffizienten reicht von  $100 m^{1/3} s^{-1/2}$  für sehr glatten neuen Stahl bis etwa  $20 m^{1/3} s^{-1/2}$  für Wildbäche mit grobem Geröll. Ein Strickler-Koeffizient von  $48 m^{1/3} s^{-1/2}$  stellt die Rauheit einer Sandsohle dar.

Die Berechnung der Sohl Schubspannung nach den klassischen Ansätzen ist nicht hinreichend an Orten mit steilen Sohlgradienten. Durch die Berücksichtigung eines zusätzlichen Terms kann dies korrigiert werden:

$$\vec{\tau}_{BX} := \begin{pmatrix} \rho \nu_c \left( 2 \frac{\partial u}{\partial x} \frac{\partial z_B}{\partial x} + \left( \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \frac{\partial z_B}{\partial y} \right) \\ \rho \nu_c \left( \left( \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \frac{\partial z_B}{\partial x} + 2 \frac{\partial v}{\partial y} \frac{\partial z_B}{\partial y} \right) \end{pmatrix},$$

wobei  $\nu_c$  die dynamische Viskosität des Wassers ist. Diese erweiterte Schubspannungskomponente wird auch bei der Bestimmung der kritischen Schubspannungen im Sedimenttransportmodul berücksichtigt.

### Formrauheit

Ist ein morphodynamisches Modul dazu gekoppelt, berechnet dieses Dünenparameter, die zu einer Erhöhung des bodennahen Energieverlustes führen. Die Bodenrauigkeit ist als Sohlrauheit nach VAN RIJN (1993) implementiert

$$k_s^d = 0.77 \Delta_D \left( 1 - e^{-25 \Delta_D / \lambda_D} \right)$$

mit der entsprechenden Dünenhöhe und -länge.

### 2.1.2. Turbulenzmodellierung

Turbulenz ist ein dreidimensionales Phänomen und lässt sich somit nicht direkt mit tiefengemittelten Modellen simulieren. Zur Beschreibung der Wirkung der Turbulenz auf die tiefenintegrierte Strömung kommen unterschiedliche Modellvorstellungen zum Einsatz. Im tiefenintegrierten Strömungsmodell kommt eine Kombination von dynamischer Viskosität  $\nu_c$  des Wassers, tiefengemittelte turbulente Viskosität in Anlehnung an ELDER (1959)  $\nu_E$  und eine Parametrisierung der durch das Berechnungsnetz nicht abbildbaren Wirbel nach SMAGORINSKY (1963)  $\nu_S$  zum Einsatz:

$$\nu_t = \nu_c + \nu_E + \nu_S .$$

Als kinematische Viskosität des Wassers wird  $\nu_c = 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$  verwendet.

Beim Elder-Ansatz wird ein Zusammenhang zur Wassertiefe und zur Bodenschubgeschwindigkeit hergestellt:

$$\nu_E := \nu_c \cdot u_* \cdot (\eta + z_B) .$$

Die Bodenschubgeschwindigkeit ergibt sich aus dem verwendeten Reibungsansatz.

Das älteste und am besten verstandene Feinstrukturmodell ist das des Meteorologen SMAGORINSKY (1963). Es basiert auf dem Wirbelviskositätsansatz von BOUSSINESQ und kann als Anpassung des Mischungswegmodells der statistischen Turbulenzmodellierung an die Feinstrukturmodellierung verstanden werden:

$$v_S := (c_s \cdot \Delta)^2 \left[ 2 \cdot \left( \frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right)^2 + 2 \cdot \left( \frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} .$$

Hierbei ist  $c_s$  eine Konstante und  $\Delta$  ist die Filterlänge (ein Maß für die Gitterweite). Für den Parameter  $c_s$  wird auch hier wieder die kinematische Viskosität des Wassers verwendet.

### 2.1.3. Energieeintrag durch Wind

Der Impulseintrag aus der Atmosphäre wird durch die Windschubspannung  $\vec{\tau}_{wind}$  beschrieben:

$$\vec{\tau}_{wind} = \rho_{air} C_D \|\vec{v}_{10,wind}\| \vec{v}_{10,wind} .$$

Hierbei wird  $C_D$  mit den von SMITH und BANKE (1975) vorgeschlagenen Koeffizienten berechnet:

$$C_D = \left( 0.63 + 0.066 \|\vec{v}_{10,wind}\| \right) 10^{-3} .$$

### 2.1.4. Energieeintrag durch Seegang

Der Einfluss des winderzeugten Wellengeschehens auf die Strömung wird durch das von LONGUET-HIGGINS und STEWART (1964) entwickelte Konzept der *radiation stresses*  $S_{ij}$  erfasst und über die Impulsgleichungen im Strömungsmodell implementiert:

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} &= -u \frac{\partial u}{\partial x} - v \frac{\partial u}{\partial y} - g \frac{\partial \eta}{\partial x} + v \cdot 2 \Omega \sin \varphi + \frac{1}{\rho(\eta + z_B)} (T_x - T_x^B + T_x^W - \frac{\partial S_{xx}}{\partial x} - \frac{\partial S_{xy}}{\partial y}) \\ \frac{\partial v}{\partial t} &= -u \frac{\partial v}{\partial x} - v \frac{\partial v}{\partial y} - g \frac{\partial \eta}{\partial y} - u \cdot 2 \Omega \sin \varphi + \frac{1}{\rho(\eta + z_B)} (T_y - T_y^B + T_y^W - \frac{\partial S_{xy}}{\partial x} - \frac{\partial S_{yy}}{\partial y}) \end{aligned}$$

Unter der Annahme der linearen Wellentheorie können die radiation stresses wie folgt berechnet werden:

$$\begin{aligned} S_{xx} &= (n \cdot \cos^2(\theta) + n - 0.5) \cdot E \\ S_{xy} &= (n \cdot \sin(\theta) \cos(\theta)) \cdot E \quad , \\ S_{yy} &= (n \cdot \sin^2(\theta) + n - 0.5) \cdot E \end{aligned}$$

wobei  $\theta$  der Winkel zwischen der Wellenfortschrittsrichtung und der x-Achse,  $E$  die Wellenenergie und  $n$  der Quotient aus Gruppen- und Wellenfortschrittsgeschwindigkeit ist.

Zusätzlich führt das Wellenbrechen zu einer Erhöhung des turbulenten Austauschterms im Strömungsmodell.

### 2.1.5. Trockenfallen und Überfluten

In natürlichen Topographien sowohl in Flussbereichen als auch in Küstenbereichen kommt es auf Grund wechselnder Wasserstände zu einer ständigen Veränderung der Grenze zwischen wasserbedeckten und trockenen Bereichen.

Zur Klassifikation von trockenen und nassen Knoten werden Grenzwassertiefen festgelegt. Die Grenzwassertiefe  $h_{dry}$  zeigt an, dass ein Knoten als potentiell trocken betrachtet wird. Ein Knoten ist wirklich trocken, wenn die Wassertiefe kleiner als  $h_{dry}/2$  ist.

Ein Element ist vollständig trocken, wenn die Wassertiefe an allen Knoten kleiner als  $h_{dry}/2$  ist. Elemente, bei denen mindestens ein Knoten kleiner als  $h_{dry}$  ist, werden als teilweise trocken bezeichnet und gesondert behandelt. In teilweise trockenen Elementen wird von einer horizontalen Wasserspiegellage in Richtung des trockenen Knotens ausgegangen und die örtliche Ableitung der Wasserspiegellage, die in die Impulsgleichung eingeht, entsprechend angepasst.

### 2.1.6. Wehre

Bauwerke beeinflussen das Abflussverhalten in Flüssen, Seen und Küstenbereichen. Einige dieser Bauwerke können direkt in zweidimensionalen Modellen beschrieben werden, Wehre hingegen können in der Regel nicht direkt in tiefenintegrierten Strömungsmodellen beschrieben werden.

Wehre können zweidimensional oder mit empirischen Ansätzen modelliert werden. Die Ausdehnung der Wehrbauwerke sind in der Regel wesentlich kleiner als die mittlere Elementgröße der Berechnungsnetze. Eine direkte Auflösung der Bauwerke würde zum einen zu extrem hoch aufgelösten Netzen und somit sehr langen Rechenzeiten führen. Zum anderen gelten im Bereich der Wehre nicht mehr die Voraussetzungen der Flachwassergleichungen. Für die parametrisierte Berücksichtigung von Wehren (nach Wehrformeln) stehen:

- Überströmte Wehre <BroadCrestedWeir>
- Durchströmte Wehre <UnderFlowWeir>
- Nadelwehre <NeedleWeir>

zur Verfügung.

Überströmte Wehre stehen auch als topographische Variante zur Verfügung <BroadCrestedTopoWeir>, bei denen die Bewegung und Geometrie des Wehres direkt durch das Netz abgebildet wird. Diese Form der Wehre kann auch zur Modellierung von Dammöffnungen bzw. -sprengungen herangezogen werden. Die Wehre werden in einer extra XML-Datei spezifiziert.

## 2.2. WaveHypModel

Grundlage des großräumigen Wellenmodells ist eine periodengemittelte Betrachtung auf der Basis der linearen Wellentheorie und führt zu folgenden zeitabhängigen Differentialgleichungen:

$$\frac{\partial k_x}{\partial t} = -\frac{\partial \sigma}{\partial x} - C_{gy} \left( \frac{\partial k_x}{\partial y} - \frac{\partial k_y}{\partial x} \right)$$

$$\frac{\partial k_y}{\partial t} = -\frac{\partial \sigma}{\partial y} + C_{gx} \left( \frac{\partial k_x}{\partial y} - \frac{\partial k_y}{\partial x} \right)$$

$$\frac{\partial \sigma}{\partial t} = -C_{gx} \frac{\partial \sigma}{\partial x} - C_{gy} \frac{\partial \sigma}{\partial y} + f \cdot \frac{\partial h}{\partial t}$$

$$\frac{\partial a}{\partial t} = -\frac{1}{2}a \left( \frac{\partial(C_{gx}a^2)}{\partial x} + \frac{\partial(C_{gy}a^2)}{\partial y} \right) + \frac{\epsilon_b}{\rho g a} + \frac{S_{\text{source}}}{\rho g a} + c_b a^2 ,$$

wobei

$c_b$  - Bodenreibungskoeffizient (nach BIJKER (1968)) und

$\epsilon_b$  - Energieverlust der Wellen infolge Wellenbrechens

beschreiben.

Bei der konkreten Realisierung des Energieverlustes infolge Wellenbrechens kann auf eine Vielzahl in der Literatur dargestellter Brecherkriterien zurückgegriffen werden. Die Energie-dissipation infolge Wellenbrechens wird als proportional zur Differenz des aktuellen Wellenenergieflusses und dem Wellenenergiefluss einer nach Wellenbrechkriterium stabilen Welle angenommen:

$$\epsilon_b = -\frac{K_B}{d} \left( EC_g - (EC_g)_s \right) .$$

Hierbei ist  $K_B$  eine Konstante in der Größenordnung von ca. 0,15 und die Wellenenergie

$$E = \frac{1}{2} \rho g a^2 .$$

Bei der Kopplung des Seegangmodells mit dem Strömungsmodell werden weitere Terme in den Gleichungen berücksichtigt, die unter anderem Refraktion und Shoaling infolge von Strömung beschreiben.

Wird das Seegangmodell mit dem morphodynamischen Modul gekoppelt, so beschreibt der Term

$f \frac{\partial h}{\partial t}$  den Einfluss von Sedimentation und Erosion auf die Wellenperiode mit

$$f = \frac{\sigma}{2h} \frac{2kh}{\sinh(2kh)} .$$

### 2.2.1. Windanfachtung

Für die Anfachtung des Seegangs durch Wind wurde ein einfacher Ansatz gewählt, der den Quellterm für die Änderung der Wellenamplitude in Abhängigkeit vom voll ausgebildeten Seegang und der aktuellen Wellenamplitude berücksichtigt. Ausgehend von Seegangsmessungen in der Weser vor Bremerhaven (FITTSCHEN 1999) und den Untersuchungen zur Seengangsausbreitung in der Hever (MAI 2002) kommt zur Berechnung des möglichen ausgebildeten Seegangs folgende einfache Beziehung zum Einsatz:

$$H_s = a \cdot u_{10}^2 + b \cdot u_{10}$$

mit  $a=0,0035$  und  $b=0,05$ . Die Anpassung der Wellenperiode des angefachten Seegangs erfolgt analog:

$$T_p = c \cdot \sqrt{u_{10}} \quad ,$$

wobei  $c=1,55$  gewählt ist.

Eine Anpassung der Wellenanlaufriechung erfolgt in Abhängigkeit von der Differenz der aktuellen Wellenhöhe zu der vom lokalen Wind erzeugten Wellenhöhe. Ist die aktuelle Wellenhöhe höher als die durch den lokalen Wind erzeugte, erfolgen keine Änderungen der Wellenparameter, im anderen Falle proportional zur Differenz der Wellenhöhen.

### 2.2.2. Einwirkung der zugrunde liegenden Strömung

Wird das Seegangmodell mit einem Strömungsmodell gekoppelt, so kommt es zu veränderter Refraktion durch sich ändernde Wasserstände bzw. Wassertiefen, aber auch zu Refraktion infolge zugrunde liegender Strömung. Die Berücksichtigung der Strömung in den Grundgleichungen des hyperbolischen Seegangmodells erfolgt durch das Ersetzen der (relativen) Kreisfrequenz  $\sigma$  durch die absolute Kreisfrequenz

$$\sigma_a = \sigma_r + k_x u + k_y v$$

und einem zusätzlichen Term in der Gleichung zur Bestimmung der Wellenamplitude

$$\frac{\partial a}{\partial t} = -\frac{1}{2a} \left( \frac{\partial (C_{gx} a^2)}{\partial x} + \frac{\partial (C_{gy} a^2)}{\partial y} \right) + \frac{\epsilon_b}{\rho g a} + \frac{S_{\text{source}}}{\rho g a} + c_b a^2 - \frac{S_{ij}}{\rho g a} \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \quad ,$$

wobei  $S_{ij}$  die radiation stresses sind sowie alle Kombinationen von  $i$  und  $j$ , die Richtungen  $x$  und  $y$  bedeuten, verwendet werden (Euler-Schreibweise).

## 2.3. SedimentTransportModel2D

Zur Beschreibung morphodynamischer Veränderungen werden neben den zweidimensionalen Flachwassergleichungen zusätzlich eine Transportgleichung für suspendiertes Material und eine Bodenkontinuitätsgleichung gelöst. Die Bodenkontinuitätsgleichung

$$\frac{\partial z_B}{\partial t} = -\frac{1}{1-n} \left( \frac{\partial q_x}{\partial x} - \frac{\partial q_y}{\partial y} \right)$$

beschreibt die Änderung des Gewässerbodens über die örtlichen Ableitungen der Sedimenttransportraten  $q_x$  und  $q_y$  in  $x$ - und  $y$ -Richtung. Hierbei ist  $n$  der Porenanteil des Sedimentes bei natürlicher Lagerung und  $z_B$  die Sohlage. Die totale Transportrate  $q$  setzt sich zusammen aus der Geschiebefracht  $q_B$  und der Suspensionsfracht  $q_s$  :

$$q = q_B + q_s \quad .$$

### 2.3.1. Bestimmung des Geschiebetransportes

Unter dem Geschiebetransport wird der Anteil des Feststofftransportes verstanden, welcher unter dem Einfluss der Fließgeschwindigkeit in Sohlnähe transportiert wird. Hierbei werden oberhalb

einer bestimmten kritischen Geschwindigkeit mehr und mehr Partikel in eine rollende, später springende und hüpfende Bewegung versetzt.

Der totale Geschiebetransport  $q_B$  erfolgt quasi zweidimensional über die Sohle. Er lässt sich aufspalten in einen durch die Strömung bedingten Anteil  $q_{BC}$  und einen durch die Gravitation bedingten Anteil, der sich aus dem Gefälle der Sohle ergibt (analog zu Sandkörnern, die einen Abhang hinunter rollen):

$$\vec{q}_B = \vec{q}_{BC} + \beta (\nabla z_B, w_s, \|q_{BC}\|) \cdot \|\nabla z_B\| \cdot \|q_{BC}\| \quad .$$

Die Parameterfunktion  $\beta$  hängt sowohl vom Bodengradienten, dem Geschiebetransport als auch von der Sinkgeschwindigkeit des anstehenden Sedimentes ab.

### 2.3.1.1. Geschiebetransport in Abhängigkeit von der Strömung

Als Geschiebefracht, die durch die Strömung erzeugt wird, werden alle Teilchen bezeichnet, die sich während ihrer Bewegung nicht vom Untergrund lösen, sondern auf der Sohle in Richtung der Strömung rollen, gleiten, hüpfen und rutschen. Wesentliche Faktoren für die Geschiebefracht sind die Größe und das Gewicht des Kornes, die Geschwindigkeit der Strömung sowie die Neigung der Sohle. EINSTEIN (1950) definiert den Bereich, in dem bed-load Transport maßgeblich beteiligt ist, als eine Schicht über dem Boden von der Dicke des doppelten Korndurchmessers.

Implementiert sind unterschiedliche Transportansätze, die im Folgenden beschrieben werden.

#### van Rijn (1984)

Implementiert ist ein Ansatz nach VAN RIJN (1984). Dieser berücksichtigt eine Vielzahl von Faktoren:

- Geschwindigkeit des Kornes
- Sprunghöhe des Kornes
- bed-load-Konzentration

VAN RIJN (1984) folgte dem Gedanken von BAGNOLD (1966), dass die Geschiebefracht maßgeblich von den Kornbewegungen, ausgelöst durch Strömungskräfte, und von Gravitationskräften abhängt. Die bed-load-Rate  $q_{BC}$  ist definiert als das Produkt von Geschwindigkeit, Sprunghöhe und der bed-load-Konzentration.

$$q_{BC} := u_b \cdot \delta_b \cdot c_b \quad .$$

Nach der Bestimmung und dem Einsetzen der drei Komponenten sowie der Zusammenfassung ergibt sich die Geschiebefracht zu

$$q_{BC} = 0.053 \cdot d_{50} \sqrt{\frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w} \cdot g \cdot d_{50} \cdot D^{-0.3} \cdot T^{2.1}}$$

$$T = \frac{\tau_B - \tau_{cr}}{\tau_{cr}}$$



mit der Bodenschubspannung  $\tau_B$  infolge der Strömung und der kritischen Bodenschubspannung  $\tau_{cr}$ .

Die auf Experimenten beruhende van Rijn-Formel gilt in der Regel für Korndurchmesser zwischen  $200 \mu\text{m} < d_{50} < 2000 \mu\text{m}$  und Wassertiefen größer 0,1 m.

### Meyer-Peter und Müller (1948)

MEYER-PETER und MÜLLER entwickelten 1948 eine Schwellenwertformel für die Transportkapazität. Sie führten 139 Versuche durch, bei denen die Abhängigkeit der transportierten Geschiebemenge vom Durchfluss und vom Wasserspiegelgefälle bei Normalabfluss sowie die Transportbedingungen bei stationären Verhältnissen untersucht wurden. Zusätzlich sind auch verschiedene Geschiebezusammensetzungen eingesetzt worden. Aus den Ergebnissen stellten MEYER-PETER und MÜLLER (1948) folgende empirische Formel auf:

$$\left(\frac{q}{\rho_w}\right)^{2/3} I_B = a \left(\frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w}\right)^{10/9} d + b \left(\frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w}\right)^{1/3} \left(\frac{q_s}{\rho_s - \rho_w}\right)^{2/3}$$

mit  $q$  als spezifischer Durchfluss pro Breitenmeter [ $\text{m}^3/(\text{m}\cdot\text{s})$ ],  $\rho_w$  als Dichte des Wassers [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ],  $I_B$  als Sohlgefälle [ $\text{m}/\text{mm}$ ],  $\rho_s$  als Dichte des Sediments [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ],  $a, b$  als Konstanten und  $d$  als Durchmesser [ $\text{m}$ ].

Dabei erkannten sie, dass der Transport im Bereich des Übergangs von strömendem und schießendem Abfluss stattfindet. Mit dieser Erkenntnis und der Einführung der Sohlschubspannung als Schwellenwert ergibt sich die Beziehung der Transportkapazität nach MEYER-PETER und MÜLLER (1948) zu

$$q_{BC} = 8 \frac{1}{\rho_w^{1/2} (\rho_s - \rho_w) g} (\tau_B - \tau_{cr})^{3/2}$$

Die Berechnung der Transportkapazität überschätzt im Allgemeinen den Geschiebetransport. Die Formel eignet sich besonders zur Transportberechnung von Sedimentmaterial größer als 1 mm. Darunter fallen grobe Sande und Kiese.

### Wiberg und Smith (1989)

WIBERG und SMITH (1989) ist es gelungen, den Ansatz von MEYER-PETER und MÜLLER (1948) für ein breites Spektrum von Transportregimen zu generalisieren:

$$q_{BC} = \alpha_s \frac{1}{\rho_w^{1/2} (\rho_s - \rho_w) g} (\tau_B - \tau_{cr})^n$$

mit  $n=3/2$  und

$$\alpha_s = 1.6 \ln(\theta_B) + 9.8 = 9.64 \theta_B^{0.166} \quad \text{sowie} \quad \theta_B = \frac{\tau_B}{(\rho_s - \rho_w) \cdot g \cdot d_{50}}$$

**Camenen und Larson (2005)**

$$q_{BC} = C \cdot \tau_c^{1.5} \exp\left(-4.5 \cdot \frac{\tau_{cr}}{\tau_c}\right) \quad \text{mit} \quad C = \frac{12}{g \sqrt{\rho} (\rho_s - \rho)}$$

**Engelund und Hansen (1967)**

Die 1967 von ENGELUND und HANSEN entwickelte Formel stellt unter den hier vorgestellten Ansätzen einen Sonderfall dar, da mit ihr die gesamte Feststofffracht (total load), d. h. die Summe aus Geschiebe- und Schwebstofftransport, abgeschätzt werden kann. Eine gesonderte Betrachtung des Schwebstoffs entfällt hierbei.

Die Grundlage des Ansatzes bilden nicht die Bodenschubspannungen und somit auch kein Schwellwert für den Bewegungsbeginn, sondern eine Energiebetrachtung. Hierbei wird die von der Strömung auf die Sedimentfracht ausgeübte Arbeit ins Verhältnis zu der Arbeit gesetzt, die erforderlich ist, um die Feststoffe über vorhandene Sohlstrukturen (Riffel, Dünen) hinwegzutransportieren.

Basierend auf diesem Ansatz wurden empirische Untersuchungen durchgeführt, die unter anderem einen konstanten Zusammenhang zwischen Länge und Höhe der Transportkörper an der Sohle lieferten und schließlich folgende Formulierung für die Gesamttransportrate ergaben:

$$q_{BC} = 0.05 \left( \frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w} \right)^2 \frac{u^5}{\sqrt{g} d_{50} C^3} ,$$

wobei  $C$  der Chezy-Koeffizient ist.

**2.3.2. Bestimmung des Schwebstofftransportes**

Für die Bestimmung der Schwebstofffracht wird eine zusätzliche tiefenintegrierte Transportgleichung gelöst:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -u_i \frac{\partial C}{\partial x_i} + \frac{1}{d} \frac{\partial}{\partial x_i} \left( dk \frac{\partial C}{\partial x_i} \right) + S ,$$

wobei  $C$  die tiefenintegrierte Schwebstoffkonzentration in  $g/l$ ,  $d$  die Wassertiefe und  $k$  der turbulente Diffusionskoeffizient ist. Der turbulente Diffusionskoeffizient ergibt sich direkt aus dem Turbulenzansatz des Strömungsmodells  $k := \nu_t$ . Die Suspensionsfracht wird durch Integration der Sedimentkonzentration über die Wassertiefe multipliziert mit der Strömungsgeschwindigkeit ermittelt:

$$q_s = \int_0^d \vec{u} \cdot C \, dz .$$

Das in Suspension Gehen und das Ablagern von Sediment wird unter Zuhilfenahme eines Quell- und Senkterms  $S$  realisiert. Bei der Formulierung des Quell- und Senkterms  $S$  wird davon ausgegangen, dass zu jeder Strömungssituation zu einem Zeitpunkt an einem Ort eine maximale

theoretisch mögliche Sedimentkonzentration bestimmt werden kann. Diese gesättigte Sedimentkonzentration  $C_{max}$  wird auf der Basis unterschiedlicher Ansätze ermittelt.

Auf der anderen Seite besteht infolge der Wasserbewegung schon eine aktuelle Konzentration am betrachteten Ort. Ist nun die aktuelle Sedimentkonzentration größer als die maximale, so kommt es zu Sedimentablagerungen und es wird von einer Senke gesprochen:

$$S = \frac{w_s}{d} (C_{max} - C) \quad .$$

Ist jedoch die aktuelle Konzentration kleiner als die maximale, so kommt es zu Erosionserscheinungen und S wird zu einer Quelle:

$$S = \lambda_e (C_{max} - C)$$

mit einer Anpassungszeit  $\lambda_e$  .

Zur Bestimmung der maximalen Konzentration des suspendierten Sedimentes können verschiedene Formeln gewählt werden:

#### Rossinsky und Debolsky (1980)

$$C_{max} = \frac{8.9 \cdot 10^{-5} u^3}{g w_s d} \quad .$$

#### Bagnold (1966)

BAGNOLD (1966) nutzt ein Energiegleichgewicht zur Bestimmung der Suspensionsfracht:

$$C_{max} = \frac{1}{d} \frac{e_s (1 - e_b)}{(\rho_s - \rho_w) g (w_s / u_b - \tan(\beta))} \tau_b$$

mit

$e_s \simeq 0.02$  und  $e_b \simeq 0.1$  als Effizienzfaktoren,

$u_b$  als bodennahe freie Strömungsgeschwindigkeit und

$\beta$  als Bodenneigung.

#### van Rijn (1984)

VAN RIJN (1984) hat gleichzeitig eine Formel für suspendierten Transport entwickelt:

$$C = \frac{0.015 \cdot \alpha \cdot d_{50} T^{1.5}}{\zeta D^{0.3}}$$

$$T = \frac{\tau_B - \tau_{cr}}{\tau_{cr}}$$

mit der Bodenschubspannung  $\tau_B$  infolge der Strömung und der kritischen Bodenschubspannung  $\tau_{cr}$ .

$\alpha$  ist ein Koeffizient ca. 1 und  $\zeta$  ist reference level (bed load layer thickness) or roughness height [m] – in Abhängigkeit von der Bodenschubspannung implementiert.

Die auf Experimenten beruhende van Rijn-Formel gilt in der Regel für Korndurchmesser zwischen  $180 \mu\text{m} < d_{50} < 700 \mu\text{m}$  und Wassertiefen größer 0,1 m.

### 2.3.2.1. Sinkgeschwindigkeit

OSEEN (1927) formuliert als Sinkgeschwindigkeit für einen großen Bereich von Korndurchmessern:

$$w_c = \sqrt{\frac{g}{18} \frac{w_c d^2}{\left(v + \frac{3}{16} w_c d\right)} \frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w}} .$$

Diese implizite Gleichung muss für die Sinkgeschwindigkeit iterativ gelöst werden, wobei sich als Startwert die Sinkgeschwindigkeit nach STOKES

$$w_{c_0} = \frac{g}{18 \cdot \nu} \cdot \frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w} \cdot d^2$$

anbietet.

Für Korndurchmesser bis etwa 0,1 mm bestimmen STOKES und OSEEN (1927) annähernd dieselben Sinkgeschwindigkeiten. Genau dann verlässt STOKES seinen Gültigkeitsbereich und wir sollten uns auf OSEEN (1927) verlassen, der damit wesentlich allgemeingültiger ist.

### 2.3.3. Bestimmung der Bodenschubspannung

Die auf die Sohle wirkenden Schubspannungen werden auf der Grundlage des Strickler-Gesetzes, welches eine Approximation des Gesetzes von NIKURADSE (1933) darstellt, aus den tiefengemittelten hydrodynamischen Größen ermittelt:

$$\vec{\tau}_B := \frac{\rho g}{h^{1/3} k_{Str}^2} \|\vec{u}\| \vec{u} .$$

Die Berechnung der Sohlschubspannung nach den klassischen Ansätzen ist nicht hinreichend an Orten mit steilen Sohlgradienten. Durch die Berücksichtigung eines zusätzlichen Terms kann dies korrigiert werden:

$$\vec{\tau}_{BX} = \begin{pmatrix} \rho \nu_c \left( 2 \frac{\partial u}{\partial x} \frac{\partial z_B}{\partial x} + \left( \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \frac{\partial z_B}{\partial y} \right) \\ \rho \nu_c \left( \left( \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \frac{\partial z_B}{\partial x} + 2 \frac{\partial v}{\partial y} \frac{\partial z_B}{\partial y} \right) \end{pmatrix},$$

wobei  $\nu_c$  die dynamische Viskosität des Wassers ist.

### 2.3.3.1. Sekundärströmungsanteil

Neben der Hauptströmung eines Gewässers entstehen in Kurven sogenannte Sekundärströmungen. Diese Strömungen führen neben einem zusätzlichen Impulsverlust in der Regel zu einer Erhöhung des Erosionsangriffs. Die Erhöhung der Bodenschubspannung wird durch

$$\tau_{\text{secondary current } x} = \beta \cdot r \frac{\rho g h}{(u^2 + v^2)} \left( u \frac{\partial \eta}{\partial y} - v \frac{\partial \eta}{\partial x} \right) (-v)$$

$$\tau_{\text{secondary current } y} = \beta \cdot r \frac{\rho g h}{(u^2 + v^2)} \left( u \frac{\partial \eta}{\partial y} - v \frac{\partial \eta}{\partial x} \right) (+u)$$

beschrieben. Hierbei ist  $r$  der Rauigkeitskoeffizient, der nach STRICKLER.

$$r = g / (k_{Str}^2 \cdot h^{1/3})$$

beträgt, und ergibt sich aus

$$\beta = \alpha \frac{2}{\kappa^2} \left( 1 - \frac{\sqrt{g}}{\kappa \cdot C} \right),$$

wobei  $\kappa$  die Karman-Konstante (0,4),  $C$  die Chezy-Zahl und  $\alpha$  ein Kalibrierungsfaktor (Standartwert =0,7) ist.

Für  $\beta$  wird auch häufig eine Konstante zwischen 7 und 10, einem glatten oder rauhen Gewässerboden entsprechend, gewählt.

Zur Basisliteratur zur Approximation von Sekundärströmungsanteilen gehören ROZOVSKII (1957), ENGELUND (1974) und STRUIKSMA et al. (1985).

### 2.3.3.2. Rutschen

Ist die Sohle nicht eben, so kann es auch bei keiner Einwirkung von Strömungen ab einer bestimmten Grenzneigung des Bodens zu sogenannten spontanen Sedimentumlagerungen kommen. Dieser Effekt wird durch die Vorgabe einer Grenzbodenneigung (z. B. 20°) und die additive Erhöhung der Bodenschubspannung um

$$\vec{\tau}_R = g \cdot (\text{grad } z_B - 20^\circ)$$

realisiert, wobei der Betrag des Neigungsterms auf 1 beschränkt wird. Dies bedeutet, dass für sehr steile Bodenreibungen die Erdbeschleunigung als zusätzliche Schubspannung auftritt.

### 2.3.4. Veränderliche Kornzusammensetzung

Bei Erosions- und Sedimentationserscheinungen kommt es neben der Veränderung der Lage der Gewässersohle in der Regel auch zu einer Veränderung der Sedimentzusammensetzung im Rahmen des verfügbaren Materials. So ist in Erosionsgebieten häufig eine Vergöberung der Kornzusammensetzung bis hin zur sogenannte Abpflasterung zu beobachten. Im Gegensatz hierzu zeichnen sich Sedimentationsbereiche in der Regel durch eher feines Material aus. In MARINA wird die Kornzusammensetzung über die zeitinvarianten Parameter  $\sigma_0$ ,  $d_{05}$  und  $d_{95}$  sowie die zeitvarianten Größen mittlerer Korndurchmesser ( $d_5 \leq d_{50}(t) \leq d_{95}$ ), Sortierung ( $\sigma(t)$ ) und Schiefe ( $sk(t)$ ) parametrisiert.

Der Veränderung der Kornzusammensetzung wird mittels einer zusätzlichen Transportgleichung für den mittleren Korndurchmesser ( $d_{50}$ ) Rechnung getragen:

$$\frac{\partial d_{50}}{\partial t} = q_x \cdot \frac{\partial d_{50}}{\partial x} + q_y \cdot \frac{\partial d_{50}}{\partial y} + S_{d_{50}}$$

wobei  $q$  der totale Sedimenttransport ist und die erosions- bzw. sedimentationsbedingten Änderungen in der Sedimentzusammensetzung durch folgenden Quell- und Senk-Term parametrisiert wird:

$$S_{d_{50}} = \frac{\partial z_B}{\partial t} \cdot \frac{\sigma_0}{1 + \|\nabla z_B\|} \cdot d_{50} \cdot \begin{cases} \min(1, \tau_b) \cdot \left(1 - \frac{d_{50}}{d_{95}}\right) & \text{für Erosion } \frac{\partial z_B}{\partial t} > 0 \\ \frac{1}{1 + \tau_b} \cdot \left(1 - \frac{d_{05}}{d_{50}}\right) & \text{für Sedimentation } \frac{\partial z_B}{\partial t} \leq 0 \end{cases}$$

mit Standardwerten  $\sigma_0 = 1$  (*<slope>*) und  $d_{95} = d_{50\_init} \cdot 10$  (*<upperGrainSize>*);  $d_{05} = d_{50\_init} / 10$  (*<lowerGrainSize>*).

Der Koeffizient  $\sigma_0$  kann als in der Umgebung mittlere relative Kornvariabilität (Sortierung) aufgefasst und wie folgt abgeschätzt werden:

$$\sigma_0 = \frac{d_{90} - d_{10}}{d_{50}} \quad . \quad \text{Für } \sigma_0 = 0 \text{ liegt Einkormmaterial und für großes } \sigma_0 \text{ liegt ein schlecht}$$

sortiertes Sediment vor. Der Term

$$\sigma(t) = \sigma_0 \cdot \left(1 - \frac{d_{50}(t)}{d_{95}}\right) \cdot \left(1 - \frac{d_{05}}{d_{50}(t)}\right)$$

beschreibt dann die Veränderung der Kornsortierung über die Zeit.

Die zeitvariante Schiefe  $sk(t)$  lässt sich durch

$$sk(t) = (d_{95} + d_5) / 2 - d_{50}(t)$$

approximieren.

Die Division durch  $1 + \|\nabla z_B\|$  parametrisiert zusätzlich das stärkere Durchmischen des Oberflächensedimentes mit dem darunter befindlichen Material bei steilen Bodengradienten.

### 2.3.5. Bestimmung der Porosität

Die Bestimmung der Porosität der Sedimentablagerung wird auf der Formel von KOMURA (1963) berechnet:

$$p = 0.13 + \frac{0.21}{(d_{50} + 0.002)^{0.21}}$$

mit  $d_{50}$  in mm.

*(Eine Erweiterung der Bestimmung der Porosität kann durch Einführung einer zusätzlichen Differentialgleichung erreicht werden, die die Differenz aus aktueller Porosität und der nach KOMURA (1963) als Quell-/Senkterm nutzt und bei Trockenfallen die Porosität mit der Verdunstung verringert. Eine Erhöhung geschieht aber nur, wenn Sedimentation vorherrscht - nicht implementiert)*

### 2.3.6. Vorhersage von Dünenparametern

Es werden sowohl die Dünenhöhen als auch die Dünenwellenlängen-Vektoren bestimmt. Basis der Modellierung bilden die Dünenprediktoren von VAN RIJN (1985):

$$\frac{\Delta_D(pred)}{d} = 0.11 \left( \frac{d_{50}}{d} \right)^{0.3} \left\{ 1 - \exp \left[ -0.5 \left( \frac{\tau_B}{\tau_c} - 1 \right) \right] \right\} \left( 26 - \frac{\tau_B}{\tau_c} \right)$$

und FLEMMING (1988):

$$\lambda_D = 27.8 \Delta_D^{1/0.8098}$$

Ist Bodenfracht vorhanden und die aktuelle Dünenhöhe geringer als die des Prädiktors, so erhöht sich die Düne und in gleicher Weise nähert sich der vorhandene Dünenlängen-Vektor dem prädektierten, ausgerichtet an der Strömung.

Es lässt sich folgende Entwicklungsgleichung formulieren:

$$\frac{\partial \Delta_D(t)}{\partial t} = \|q_b\| \cdot (\Delta_D(pred) - \Delta_D(t)) \cdot \begin{cases} \frac{1}{1 + \|\nabla z_B\|} & \text{für Dünenhöhenwachstum } (\Delta_D(pred) - \Delta_D(t)) > 0 \\ (1 + \|\nabla z_B\|) & \text{für Dünenhöhenabnahme } (\Delta_D(pred) - \Delta_D(t)) \leq 0 \end{cases}$$

## 2.4. SaltTransportModel2D

Die Simulation des Salztransportes kann mit dem Modul SaltTransportModel2D in Verbindung mit CurrentModel2D erfolgen. Das Modul basiert auf die tiefenintegrierte Transportgleichung für die tiefengemittelte Salzkonzentration C:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -u_i \frac{\partial C}{\partial x_i} + \frac{1}{d} \frac{\partial}{\partial x_i} \left( dk \frac{\partial C}{\partial x_i} \right) + S \quad ,$$

wobei  $d$  die Wassertiefe und  $k$  der Diffusionskoeffizient ist. Der Diffusionskoeffizient ergibt sich direkt aus dem Turbulenzansatz des Strömungsmodells erweitert um einen zusätzlichen Diffusionskoeffizienten für Salz:

$$k := \nu_t + 1.1 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s} \quad .$$

Der Term  $S$  beschreibt Salzkonzentrationsquellen, die in der rndwerte-Datei spezifiziert sind.

Ist ein Salztransportmodul vorhanden, werden im CurrentModel2D die Terme zur Berücksichtigung des dichteinduzierten Transportes aktiviert.

## 2.5. HeatTransportModel2D

In Analogie zum Salztransport wird auch die Dichteänderung durch Temperatureinfluss im tiefenintegrierten Strömungsmodell berücksichtigt. Der tiefenintegrierte Transport von Wärme wird durch

$$\frac{\partial T}{\partial t} = -u_i \frac{\partial T}{\partial x_i} + \frac{1}{d} \frac{\partial}{\partial x_i} \left( dk \frac{\partial T}{\partial x_i} \right) + \frac{a \cdot (T_L - T)}{d} + \frac{I_{sur}}{c \cdot d \cdot \rho_w}$$

beschrieben. Hierbei ist die mittlere Lufttemperatur  $T_L$ , die tiefengemittelte Wassertemperatur  $T$ , die Wassertiefe  $\eta + h$  und  $a$  der spezifische Wärmeübergangskoeffizient. Die Berücksichtigung der Sonneneinstrahlung erfolgt über einen effizienten Sonneneinstrahlungswert  $I_{sur}$ .

Sowohl der turbulente Wärmeaustausch als auch der Temperaturengleich im Wasser durch Wärmeleitung wird durch den Koeffizienten

$$k := \nu_t + 0.58 \frac{W}{mk}$$

approximiert.

## 2.6. AdvectionDispersionModel2D

Die Simulation konservativer gelöster Stoffe kann mit dem Modul AdvectionDispersionModel2D in Verbindung mit CurrentModel2D erfolgen. Das Modul basiert auf die tiefenintegrierte Transportgleichung für die tiefengemittelte Stoffkonzentration  $C$ :

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -u_i \frac{\partial C}{\partial x_i} + \frac{1}{d} \frac{\partial}{\partial x_i} \left( dk \frac{\partial C}{\partial x_i} \right) + S - \beta \cdot C$$

wobei  $k$  der Diffusionskoeffizient ist. Der Diffusionskoeffizient ergibt sich direkt aus dem Turbulenzansatz des Strömungsmodells erweitert um einen zusätzlichen Dispersionskoeffizienten  $\alpha$  für die molekulare Ausbreitung des gelösten Stoffes (<DispersionCoefficient>):

$$k := \nu_t + \alpha \quad .$$



Der Term  $\beta C$  beschreibt exponentielle Abbauprozesse des gelösten Stoffes ( $\beta$  = DegradationRate in x/s).

Der Term S beschreibt Stoffkonzentrationsquellen die in der rndwerte-Datei spezifiziert sind.

Die Höhe der Konzentration des gelösten Stoffes hat keinen Einfluss auf die Dynamik der tiefen-integrierten Strömungssimulation – keine Veränderung der Dichte bzw. Viskosität des Wassers.

## 2.7. GroundWaterModel2D

Für die Simulation der Grundwasserströmung kann ein zweidimensionales numerisches Grundwassermodell als Modul verwendet werden. Das hydrogeologische System wird im Modell durch drei separate Höhenmodelle beschrieben:

- Höhenlage der Geländeoberkante
- Höhenlage der Unterkante einer möglichen Deckschicht
- Höhenlage der Grundwasserbasis

Die lokale Mächtigkeit der Deckschicht ergibt sich aus der Differenz der ersten beiden, die lokale Mächtigkeit des Grundwasserleiters aus der Differenz der letzten beiden Höhenmodelle. Der Grundwasserleiter wird mit Hilfe eines horizontal ebenen Modellansatzes beschrieben. Hierbei wird davon ausgegangen, dass vertikale Geschwindigkeitskomponenten im Grundwasserleiter vernachlässigbar klein sind (Dupuit-Annahme). Unterhalb der Deckschichten kann es dabei lokal zu gespannten Strömungsverhältnissen kommen.

Die Grundwasserströmung wird als Schwerkraft getriebene Strömung modelliert. Die Bewegung des Grundwassers wird dabei durch das von DARCY (1856) aufgestellte Gesetz für die Durchströmung poröser Medien beschrieben. In Verbindung mit der Kontinuitätsgleichung ergibt sich die allgemeine dreidimensionale Strömungsgleichung für einen inhomogenen anisotropen gespannten Aquifer (Poisson-Gleichung):

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( K_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( K_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( K_z \frac{\partial h}{\partial z} \right) = S_s \frac{\partial h}{\partial t} .$$

In einem ungespannten Aquifer ändert sich mit der Standrohrspiegelhöhe  $h$  auch die Fähigkeit des Aquifers, Wasser zu leiten (Transmissivität  $T$ ). Daher ändert sich hier die Strömungsgleichung zu:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( K_x h \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( K_y h \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( K_z h \frac{\partial h}{\partial z} \right) = S_s \frac{\partial h}{\partial t} .$$

Für einen homogenen isotropen Aquifer vereinfacht sich die Gleichung und man erhält die sogenannte Boussinesq-Gleichung:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( h \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( h \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( h \frac{\partial h}{\partial z} \right) = \frac{S_s}{K} \frac{\partial h}{\partial t} .$$

Mit Hilfe der Dupuit- bzw. Dupuit-Forchheimer-Hypothese, welche besagt, dass bei großflächigen Aquiferen mit geringer Mächtigkeit das Potential über die Schicht bzw. den durchströmten Anteil

als konstant angenommen werden kann, lässt sich das dreidimensionale Problem auf ein zweidimensionales Problem reduzieren:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( h \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( h \frac{\partial h}{\partial y} \right) = \frac{S_s}{K} \frac{\partial h}{\partial t}$$

## 2.8. CurrentModel3D

Aus den Navier-Stokes-Gleichungen ergibt sich mit der Boussinesq-Approximation und unter Berücksichtigung der Erdrotation folgendes System instationärer partieller Differentialgleichungen:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = -u \frac{\partial u}{\partial x} - v \frac{\partial u}{\partial y} - w \frac{\partial u}{\partial z} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + v \cdot 2 \Omega \sin \varphi + (T_x - T_x^B + T_x^W)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} = -u \frac{\partial v}{\partial x} - v \frac{\partial v}{\partial y} - w \frac{\partial v}{\partial z} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} - u \cdot 2 \Omega \sin \varphi + (T_y - T_y^B + T_y^W)$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} = -u \frac{\partial w}{\partial x} - v \frac{\partial w}{\partial y} - w \frac{\partial w}{\partial z} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + g + T_w \quad .$$

Die Gleichung für die Bewegung der freien Oberfläche ergibt sich aus der Kontinuitätsgleichung:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0$$

und den Randbedingungen:

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} = -\frac{\partial q_x}{\partial x} - \frac{\partial q_y}{\partial y} \quad ,$$

wobei  $q_x$  und  $q_y$  die Durchflüsse aller Schichten sind und schichtweise berechnet werden. Damit kann  $w$  für die Schichtgrenze knotenweise aus der Summe der Divergenzen vom Boden ausgehend aufsummiert berechnet werden.

Das Modell wird durch die Festlegung einer beliebigen Anzahl vertikaler Schichten unterschiedlicher Schichtstärke diskretisiert.

### 3. Numerische Approximation

Die Modellgleichungen der Hydro- und Morphodynamik sind instationäre partielle Differentialgleichungen und werden mit stabilisierten Finiten Dreieckselementen numerisch approximiert (siehe MILBRADT (1994)). Die Modellgleichungen der zu beschreibenden physikalischen Prozesse werden in MARINA direkt gekoppelt gelöst. Werden für die Teilprozesse (Seegang -  $W$ , Strömung -  $U$  und Sedimenttransport -  $S$ ) exemplarisch die folgenden Differentialoperatoren

$$L_v \equiv A_{vi} \frac{\partial}{\partial x_i} - \frac{\partial}{\partial x_i} (K_{vij} \frac{\partial}{\partial x_j})$$

eingeführt, so können die Modellgleichungen in Form von

$$\begin{aligned} \frac{\partial W}{\partial t} + L_W W + Q_W &= 0 \\ \frac{\partial U}{\partial t} + L_U U + Q_U &= 0 \\ \frac{\partial S}{\partial t} + L_S S + Q_S &= 0 \end{aligned}$$

geschrieben werden. In der Regel hängen sowohl die Differentialoperatoren  $L_i$  als auch die Quell- und Senkterme  $Q_i$  von allen Unbekannten des Systems ab.

#### 3.1. Semi-diskrete stabilisierte Finite-Element-Approximation

Sei  $\Omega$  ein offenes beschränktes Gebiet im  $\mathbb{R}^n$  und  $\Gamma$  sein Rand. Gesucht ist eine zeitabhängige vektorwertige Funktion  $U: \Omega \rightarrow \mathbb{R}^m$ , die der Gleichung

$$\frac{\partial U}{\partial t} + L U + Q = 0$$

genügt. Hierbei sei  $L$  ein quasi-linearer Differentialoperator und  $Q$  wird als Quell- und Senkterm bezeichnet. Es wird davon ausgegangen, dass alle notwendigen Anfangswerte und Randbedingungen, die die Existenz der Lösung sicherstellen, gegeben sind. Der quasi-lineare Operator habe folgende Form:

$$L \equiv A_i \frac{\partial}{\partial x_i} - \frac{\partial}{\partial x_i} (K_{ij} \frac{\partial}{\partial x_j}) .$$

Hierbei ist  $A_i$  die  $i$ -te Transportmatrix und  $K_{ij}$  sind die Diffusionsmatrizen. Folglich kann der Operator  $L$  als Summe eines Transportoperators  $L_{adv}$  und eines Diffusionsoperators  $L_{diff}$  aufgefasst werden:

$$L = L_{adv} + L_{diff} .$$

Jeder Operator kann weiterhin in seine lokalen Komponenten zerlegt werden. So hat beispielsweise der Transportoperator die Form:

$$L_{adv} = \sum L_{adv_i} = \sum A_i \frac{\partial}{\partial x_i} .$$

Zur Approximation der Lösung der zugrundeliegenden Gleichungen mit der Methode der Finiten Elemente wird das Gebiet  $\Omega$  in  $n_{el}$  Finite Elemente  $\Omega_e$  diskretisiert. Auf der Basis dieser Zerlegung werden Ansatzfunktionen  $\Phi_i$  definiert, mit denen die unbekannte Lösung  $U \simeq \tilde{U} = \sum \Phi_i U^i$  approximiert wird. Hierbei können die  $U^i$  als die Knotenwerte der approximierten Funktion  $\tilde{U}$  aufgefasst werden.

Die Herleitung der semi-diskreten stabilisierten Finite-Element-Approximation erfolgt über die Kombination eines Standard-Galerkin-Verfahrens und einer kleinsten Quadrate-Approximation:

$$\int_{\Omega} \Phi_l \left( [\Phi_i]^T \left[ \frac{\partial U^i}{\partial t} \right] + L([\Phi_i]^T [U^i]) + Q \right) d\Omega + \sum_k \tau_k \int_{\Omega_k} L^T(\Phi_l) \left( [\Phi_i]^T \left[ \frac{\partial U^i}{\partial t} \right] + L([\Phi_i]^T [U^i]) + Q \right) d\Omega_k = 0$$

Das erste Integral beinhaltet die Galerkin-Approximation und in der zweiten Zeile stehen die Terme der kleinsten Quadrate-Stabilisierung, bestehend aus einer Summe von Integralen über das Innere der Elemente. Diese Approximation wird als semi-diskrete Galerkin-kleinste-Quadrate-Approximation (GLS) bezeichnet.

Eine besondere Rolle spielt die Bestimmung des Stabilisierungsparameters  $\tau$  für die Qualität der numerischen Approximation. In Anlehnung an die Bestimmung des upwinding-Koeffizienten im eindimensionalen skalaren Fall wird hier folgende Vorschrift, basierend auf den Spektralradien der quasilineareren Differentialoperatoren, verwendet:

$$\tau := \frac{\alpha_{opt} \cdot h_e}{2 \cdot \|L_{adv}\|}$$

In Anlehnung an die Definition des Betrages einer Zahl bzw. eines Vektors wird der Betrag des quasilineareren Differentialoperators wie folgt bestimmt:

$$\|L_{adv}\| := \sqrt{\sum \rho(A_i)^2},$$

wobei  $\rho(A_i)$  die Spektralradien der Operatorkomponenten sind:

$$\rho(A_i) := \max |\lambda_j(A_i)|$$

Der Parameter  $\alpha_{opt}$  wird in Analogie zum eindimensionalen Fall elementweise berechnet:

$$\alpha_{opt} := \coth(Pe) - \frac{1}{Pe}$$

mit der Element-Peclet-Zahl

$$Pe := \frac{\|L_{adv}\| \cdot h_e}{\|L_{diff}\|},$$

wobei  $h_e$  ein Maß für die Elementausdehnung ist. Die Berechnung der Elementausdehnung erfolgt unter Berücksichtigung der Transportrichtung.

### 3.2. Zeitliche Integration

Die Integration in der Zeit wird auf der Basis eines angepassten Adam-Bashfort-Verfahrens (siehe BUTCHER, J. C. (2003)) zweiter Ordnung realisiert:

$$x(t+\Delta t) = x(t) + (3x'(t) - x'(t-\Delta t))/2 \cdot \Delta t \quad .$$

## 4. Modellaufbau

Die numerischen Simulationsmodelle des Modellsystems MARINA erfordern ein Berechnungsnetz bestehend aus Dreieckselementen, welches die Topographie des Modellgebietes abbildet. Ferner müssen vom Modellierer an den offenen Modellrändern Randbedingungen bzw. -werte, mit denen die Simulation gesteuert wird, vorgegeben werden.

Neben dem Berechnungsnetz und den Randbedingungen benötigen die hydro- und morphodynamischen Simulationsmodelle zur Lösung ebenfalls Anfangswerte, die die Anfangszustände der zu simulierenden Systemgrößen flächenhaft im gesamten Modellgebiet definieren.

In der Regel sind drei alternative Vorgehensweisen bei der Spezifikation von Anfangswerten möglich:

- Die Vorgabe konstanter Größen ist über die Spezifikation von entsprechenden Einträgen in der XML-Datei möglich.
- Soll auf ein schon berechnetes Ergebnis aufgesetzt werden, kann ein Ergebnissatz einer Ergebnisdatei eingelesen werden.
- Die dritte Möglichkeit ergibt sich aus der Vorgabe einer entsprechenden ASCII-Datei.

Werden keine Angaben über die Spezifikation von Anfangsbedingungen in der Marina-XML-Datei gemacht, so sind in der Regel Algorithmen zur Bestimmung von geeigneten Anfangswerten implementiert.

An den Rändern des Modellgebietes müssen Randbedingungen angegeben werden. Zum einen können implizite Randbedingungen über die Randkennungen des Berechnungsnetzes vorgegeben und zum anderen über Dateien mit Zeitreihen für spezifizierte Knoten definiert werden.

Sowohl die Modellsteuerung als auch die Modellkonfiguration erfolgt über eine Marina-XML-Datei. Der komplette Aufbau und eine Beispieldatei kann dem Anhang entnommen werden.

### 4.1. Berechnungsnetz

Die Erstellung des Berechnungsnetzes kann beispielsweise mit dem Präprozessor JANET erfolgen. Hierbei handelt es sich um ein Werkzeug, mit dessen Hilfe die Modellerstellung über eine graphische Oberfläche interaktiv durchgeführt werden kann.

Ein Berechnungsnetz muss einem besonderen Anforderungsprofil entsprechen. Neben der wirklichkeitsgetreuen Tiefenabbildung des Gebietes und der adäquaten Abbildung von Bauwerken wie beispielsweise Buhnen sind eine Reihe von (geometrischen) Qualitätsmerkmalen zu erfüllen, um mit einem numerischen Modell gute Simulationsergebnisse erzielen zu können.

Als Qualitätsmerkmale eines formal geeigneten Netzes sind zu nennen:

- Elementqualität (möglichst gleichseitige Dreiecke verwenden); eine Maßzahl für die Elementqualität ist der Shape-Parameter. Degenerierte Elemente können mit Hilfe der Systemanalyse lokalisiert und bearbeitet werden.
- Homogene Elementübergänge benachbarter Elemente (Elementfläche benachbarter Elemente möglichst gleich)
- Keine Verwendung großer Patches

- Das Gitternetz darf keine überbestimmten Elemente haben (Elemente mit ausschließlich Randknoten).

Im Berechnungsnetz, welches sowohl im TicadSysDat- als auch im JanetBinary-Format vorliegen kann, können Kanten als undurchlässig gekennzeichnet werden. In den Strömungsmodellen führt diese Kennzeichnung zu no-slip und im Seegangmodell zu wellenabsorbierenden Randbedingungen. Solche, durch das Berechnungsnetz implizit gegebenen Randbedingungen, können durch explizit spezifizierte Randbedingungen überschrieben werden. Die Festlegung des Berechnungsnetzes erfolgt in der Marina-XML-Datei im Block `<ControlParameter>`. Das Schlüsselement heißt `<System>` mit dem untergeordneten Schlüssel `<TriangleMesh>` und erfordert die Spezifikation des Namens `<FileName>` und des Dateityps `<FileType>`.

## 4.2. Modellsteuerung

Die Modellsteuerung erfolgt in der Marina-XML-Datei über einen Block `<ControlParameter>`. Folgende Elemente können in diesem Block spezifiziert werden:

<code>&lt;BaseDir&gt;</code>	Festsetzung des Arbeitsverzeichnis
<code>&lt;NumberOfThreads&gt;</code>	Anzahl der zu nutzenden Prozessoren
<code>&lt;SystemTriangleMesh&gt;</code>	Spezifikation des Berechnungsnetzes
<code>&lt;FileName&gt;</code>	Name der Datei
<code>&lt;FileType&gt;</code>	Typ der Datei ( <i>JanetBinaryFile</i> , <i>SysDatFile</i> )
<code>&lt;SimulationTime&gt;</code>	Block zu Spezifikation des Lösungsintervalls
<code>&lt;StartTime&gt;</code>	Startzeit der Simulation
<code>&lt;EndTime&gt;</code>	Endzeit der Simulation
<code>&lt;ResultTimeStep&gt;</code>	Zeitschritt, für den Ergebnisse in die Datei geschrieben werden sollen

## 4.3. Modellkonfiguration

Die Modellkonfiguration erfolgt in einem zweiten Block mit dem Namen `<Configuration>` in der Marina-XML-Datei. In diesem Block wird definiert, welche Modellmodule für die Simulation verwendet werden sollen. Die einzelnen Module erfordern weitere Vorgaben, die ebenfalls in diesem Block angegeben werden.

### 4.3.1. CurrentModel2D

Die Parameter zum Steuern des Modellmoduls CurrentModel2D werden in einem Element `<CurrentModel2D>`, das dem Element `<Configuration>` unterstellt ist, angegeben.

Die Vorgabe von Randbedingungen erfolgt in einer Randwerte-Datei. Spezifiziert werden können Wasserspiegellagen, Geschwindigkeiten und relative sowie absolute Durchflüsse. Der Name und der Typ der Datei werden in dem Marina-XML-Element *<BoundaryCondition>*, welches in der Hierarchie direkt unter dem Element *<CurrentModel2D>* steht, definiert:

<i>&lt;BoundaryCondition&gt;</i>	Spezifikation der Randbedingungen
<i>&lt;FileName&gt;</i>	Name der Datei
<i>&lt;FileType&gt;</i>	Typ der Datei ( <i>RndwerteBAW</i> )

In dem Modellmodul stehen ebenfalls Elemente zum Spezifizieren von Anfangsbedingungen (*<InitialCondition>*), Bodenrauheit (*<BottomFriction>*) und der Trockenfall-Grenze (*<DryFallBound>*) zur Verfügung.

Wird beispielsweise eine Bodenrauheit im Modell vorgegeben, wird dieses entweder durch die Angabe eines Netzes mit ortsvariablen Manning-Strickler-Werten oder durch Angabe eines konstanten Manning-Strickler-Wertes erreicht. Für die Vorgabe der Anfangsbedingungen stehen ebenfalls alternative Elemente (*<StartFromResultFile>*, *<StartWithWaterLevel>*, *<ConstantWaterLevel>*) zur Verfügung.

Aus nachfolgender Tabelle können die zur Verfügung stehenden Elemente entnommen werden:



<b>CurrentModel2D</b>		
DryFallBound	double	Grenze, ab dem ein Knoten als trocken behandelt wird
BoundaryCondition FileName FileType	String String	Spezifikation von Randbedingungen Dateiname Typ: RndwerteBAW
Latitude	double	repräsentative geographische Breite des Modellgebietes
BottomFriction ManningStrickler TriangleMesh FileName FileType Constant Nikuradse TriangleMesh FileName FileType Constant	String String double String String double String String double	Spezifikation der Rauigkeiten Werte nach Manning-Strickler Netz mit ortsvariablen Manning-Strickler-Werten Dateiname Typ: JanetBinaryFile, SysDatFile konstanter Manning-Strickler-Wert Werte nach Nikuradse Netz mit ortsvariablen Nikuradse-Werten Dateiname Typ: JanetBinaryFile, SysDatFile konstanter Nikuradse-Wert
InitialCondition StartFromResult FileName FileType TimeStepCounter WaterLevel TriangleMesh FileName FileType Constant	String String int String String double	Spezifikation von Anfangswerten aus Ergebnisdatei lesen Dateiname Typ: TicadSysErg Datensatznummer Wasserspiegellagen initialisieren Netz mit ortsvariablen Wasserspiegellagen Dateiname Typ: JanetBinaryFile, SysDatFile ortskonstanter Wasserstand
WeirFile FileName FileType	String String	Datei mit Wehrdefinition Dateiname Typ: WeirsDat, Weirs2DXML
ResultFile FileName FileType	String String	Ergebnisdatei Dateiname Typ: Current3DErg, TicadSysErg

### 4.3.2. WaveHypModel

Die Parameter für das WaveHypModel werden in dem Element `<WaveHypModel>`, das dem Element `<Configuration>` unterstellt ist, angegeben.

Aus nachfolgender Tabelle können die zur Verfügung stehenden Elemente entnommen werden:

<b>WaveHypModel</b>		
ResultFile FileName FileType	String String	Ergebnisdatei Filename Typ: TicadSysErg
BoundaryCondition FileName FileType	String String	Spezifikation von Randbedingungen Filename Typ: RandnDat
InitialCondition StartFromResult FileName FileType TimeStepCounter	String String int	Spezifikation von Anfangswerten aus Ergebnisdatei lesen Dateiname Typ: TicadSysErg Datensatz
WaterLevelOffset	double	Spezifiziert eine orts- und zeitkonstante Auslenkung des Wasserspiegels relativ zu NN und positiv nach oben

### 4.3.3. SedimentTransportModel2D

Sedimenttransportsimulationen setzen immer ein Strömungsmodell, damit auch das Element *<CurrentModel2D>* in der Steuerdatei, voraus. Zusätzlich werden Prozesseinflüsse aus dem hyperbolischen Seegangmodell *WaveHypModel* berücksichtigt.

Randbedingungen sind implizit spezifiziert, indem angenommen wird, dass an den Rändern mit Strömungsrandbedingungen immer ein mit Sediment gesättigter Wasserkörper anschließt.

Zur Verfügung stehende Elemente sind nachfolgend aufgeführt:

<b>SedimentTransportModel2D</b>		
ResultFile FileName FileType	String String	Ergebnisdatei Filename Typ: TicadSysErg
MaxErosion TriangleMesh FileName FileType Constant	String String double	Maximale Erosionstiefe mit ortsvariablen Werten Netz mit ortsvariablen max. Erosionstiefen Dateiname Typ: JanetBinaryFile, SysDatFile konstante max. Erosionstiefe im gesamten Gebiet
GrainSize TriangleMesh FileName FileType Constant	String String double	Mittlerer Korndurchmesser ( $d_{50}$ ) des Sedimentes Netz mit ortsvariablen Korndurchmessern Dateiname Typ: JanetBinaryFile, SysDatFile konstanter Korndurchmesser im gesamten Gebiet
SuspendedLoadFormula	String	Typ: RossinskyDebolsky
BedLoadFormula	String	Typ: vanRijn84
BoundaryCondition FileName FileType	String String	Spezifikation von Randbedingungen Filename Typ: RndwerteBAW
InitialCondition StartFromResult FileName FileType TimeStepCounter Concentration TriangleMesh FileName FileType Constant	String String int String String double	Spezifikation von Anfangswerten aus Ergebnisdatei lesen Dateiname Typ: TicadSysErg Datensatz Konzentration des gelösten Sedimentes Netz mit ortsvariablen Konzentrationen Dateiname Typ: JanetBinaryFile, SysDatFile konstante Konzentrationen im gesamten Gebiet
MorphologicalFactor	int	Morphologischer Faktor

#### 4.3.4. SaltTransportModel2D

Eine Salztransportsimulation setzt immer ein Strömungsmodell (<CurrentModel2D>) voraus.

Die Vorgabe von Randbedingungen erfolgt in einer Randwertedatei (rndwerte.baw). Aus dieser Datei werden nur Werte für den Randwerteschlüssel 4 (ZWEIG) gelesen und berücksichtigt.

Näheres zu der Randwertedatei ist im Anhang I zu finden.

<b>SaltTransportModel2D</b>		
BoundaryCondition		Spezifikation von Randbedingungen
FileName	String	Filename
FileType	String	Typ: RndwerteBAW
InitialCondition		Spezifikation von Anfangswerten
StartFromResult		aus Ergebnisdatei lesen
FileName	String	Dateiname
FileType	String	Typ: TicadSysErg
TimeStepCounter	int	Datensatz
Concentration		Salzkonzentration
TriangleMesh		Netz mit ortsvariablen Konzentrationen
FileName	String	Dateiname
FileType	String	Typ: JanetBinaryFile, SysDatFile
Constant	double	konstante Salzkonzentration im gesamten Gebiet
ResultFile		Ergebnisdatei
FileName	String	Filename
FileType	String	Typ: TicadSysErg

### 4.3.5. HeatTransportModel2D

Das Wärmetransportmodell setzt immer ein Strömungsmodell (<CurrentModel2D>) voraus.

Die Vorgabe von Randbedingungen erfolgt in einer Randwertedatei (rndwerte.baw). Aus dieser Datei werden nur Werte für den Randwerteschlüssel 6 (ZWEIG) gelesen und berücksichtigt.

Näheres zu der Randwertedatei ist im Anhang I zu finden.

HeatTransportModel2D		
BoundaryCondition		Spezifikation von Randbedingungen
FileName	String	Filename
FileType	String	Typ: RndwerteBAW
InitialCondition		Spezifikation von Anfangswerten
StartFromResult		aus Ergebnisdatei lesen
FileName	String	Dateiname
FileType	String	Typ: TicadSysErg
TimeStepCounter	int	Datensatznummer
Temperature		Temperatur
TriangleMesh		Netz mit ortsvariablen Temperaturen
FileName	String	Dateiname
FileType	String	Typ: JanetBinaryFile, SysDatFile
Constant	double	konstante Temperatur im gesamten Gebiet
ResultFile		Ergebnisdatei
FileName	String	Filename
FileType	String	Typ: TicadSysErg
AirTemperature	double	Umgebungstemperatur

### 4.3.6. AdvectionDispersionModel2D

Eine Transportsimulation für gelöste Stoffe setzt immer ein Strömungsmodell (<CurrentModel2D>) voraus.

Die Vorgabe von Randbedingungen erfolgt in einer Randwertedatei (rndwerte.baw). Aus dieser Datei werden nur Werte für den Randwerteschlüssel 4 (ZWEIG) gelesen und berücksichtigt.

Näheres zu der Randwertedatei ist im Anhang I zu finden.

AdvectionDispersionModel2D		
BoundaryCondition		Spezifikation von Randbedingungen
FileName	String	Filename
FileType	String	Typ: RndwerteBAW
InitialCondition		Spezifikation von Anfangswerten
StartFromResult		aus Ergebnisdatei lesen
FileName	String	Dateiname
FileType	String	Typ: TicadSysErg
TimeStepCounter	int	Datensatz
Concentration		Salzkonzentration
TriangleMesh		Netz mit ortsvariablen Konzentrationen
FileName	String	Dateiname
FileType	String	Typ: JanetBinaryFile, SysDatFile
Constant	double	konstante Salzkonzentration im gesamten Gebiet
ResultFile		Ergebnisdatei
FileName	String	Filename
FileType	String	Typ: TicadSysErg

### 4.3.7. CurrentModel3D

Die Steuerung der Modellparameter des Moduls CurrentModel3D erfolgt analog zum Modellmodul CurrentModel2D.

Das Modul CurrentModel3D erfordert allerdings eine zusätzliche Angabe über die Tiefen, an denen die Prozessgrößen simuliert werden sollen (*<DepthLayer>*).

CurrentModel2D		
DryFallBound	double	Grenze, ab der ein Knoten als trocken behandelt wird
BoundaryCondition FileName FileType	String  String	Spezifikation von Randbedingungen Dateiname Typ: RndwerteBAW für tiefengemittelte Randbedingungen
BottomFriction TriangleMesh FileName FileType Constant	  String String double	Spezifikation der Manning-Strickler-Werte Netz mit ortsvariablen Manning-Strickler-Werten Dateiname Typ: JanetBinaryFile, SysDatFile konstanter Manning-Strickler-Wert
DepthLayer		Liste von Tiefen, an denen die Prozessgrößen simuliert werden
InitialCondition StartFromResult FileName FileType TimeStepCounter WaterLevel TriangleMesh FileName FileType Constant	  String String int  String String double	Spezifikation von Anfangswerten aus Ergebnisdatei lesen Dateiname Typ: Current3DErg, TicadSysErg Datensatznummer Wasserspiegellagen initialisieren Netz mit ortsvariablen Wasserspiegellagen Dateiname Typ: JanetBinaryFile, SysDatFile ortskonstanter Wasserstand
ResultFile FileName FileType	 String String	Ergebnisdatei Dateiname Typ: TicadSysErg

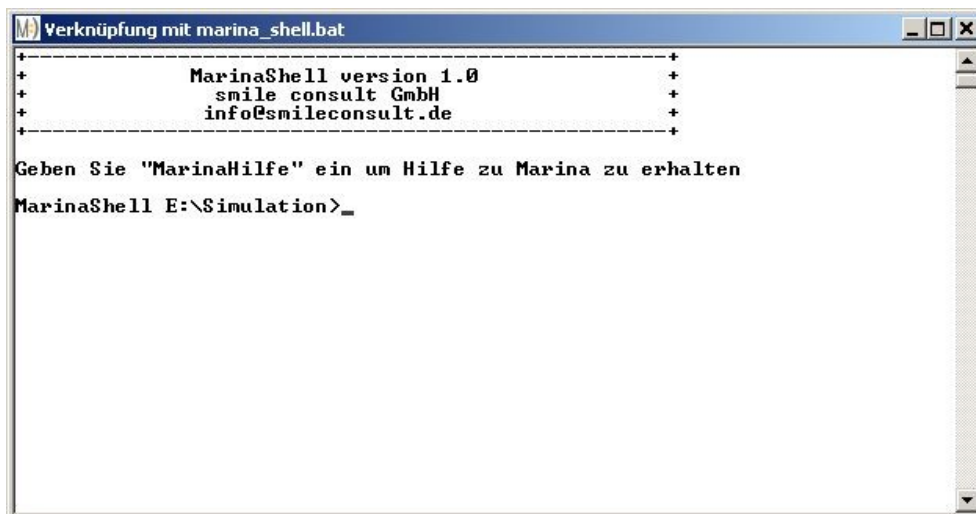


## 5. Starten einer Simulation

Folgende Dateien müssen mindestens vorhanden sein, um eine Simulation starten zu können:

- Modellgitter im Tiefenkoordinatensystem (d. h. positive Koordinatenachse zeigt nach unten)
- Randwerte-Datei
- Marina-XML-Datei

Gestartet wird die Simulation in einer speziellen Konsole (Eingabeaufforderung), die über die Batchdatei „marina\_shell.bat“ geöffnet wird:



```

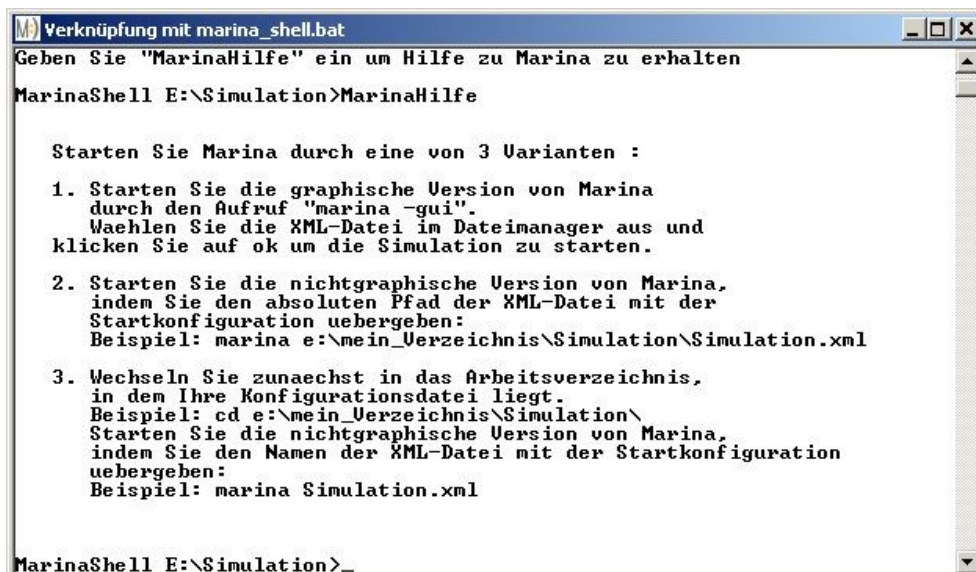
Verknüpfung mit marina_shell.bat
+-----+
+          MarinaShell version 1.0          +
+          smile consult GmbH              +
+          info@smileconsult.de             +
+-----+

Geben Sie "MarinaHilfe" ein um Hilfe zu Marina zu erhalten
MarinaShell E:\Simulation>_

```

In dieser speziell für Marina konfigurierten Shell sind die Umgebungsvariablen bereits gesetzt, so dass eine numerische Simulation sofort gestartet werden kann.

Nach der Eingabe des Begriffs „MarinaHilfe“ und betätigen der Enter-Taste erhält der Benutzer Informationen zum Starten einer Simulation.



```

Verknüpfung mit marina_shell.bat
Geben Sie "MarinaHilfe" ein um Hilfe zu Marina zu erhalten
MarinaShell E:\Simulation>MarinaHilfe

Starten Sie Marina durch eine von 3 Varianten :

1. Starten Sie die graphische Version von Marina
   durch den Aufruf "marina -gui".
   Wählen Sie die XML-Datei im Dateimanager aus und
   klicken Sie auf ok um die Simulation zu starten.

2. Starten Sie die nichtgraphische Version von Marina,
   indem Sie den absoluten Pfad der XML-Datei mit der
   Startkonfiguration uebergeben:
   Beispiel: marina e:\mein_Verzeichnis\Simulation\Simulation.xml

3. Wechseln Sie zunaechst in das Arbeitsverzeichnis,
   in dem Ihre Konfigurationsdatei liegt.
   Beispiel: cd e:\mein_Verzeichnis\Simulation\
   Starten Sie die nichtgraphische Version von Marina,
   indem Sie den Namen der XML-Datei mit der Startkonfiguration
   uebergeben:
   Beispiel: marina Simulation.xml

MarinaShell E:\Simulation>_

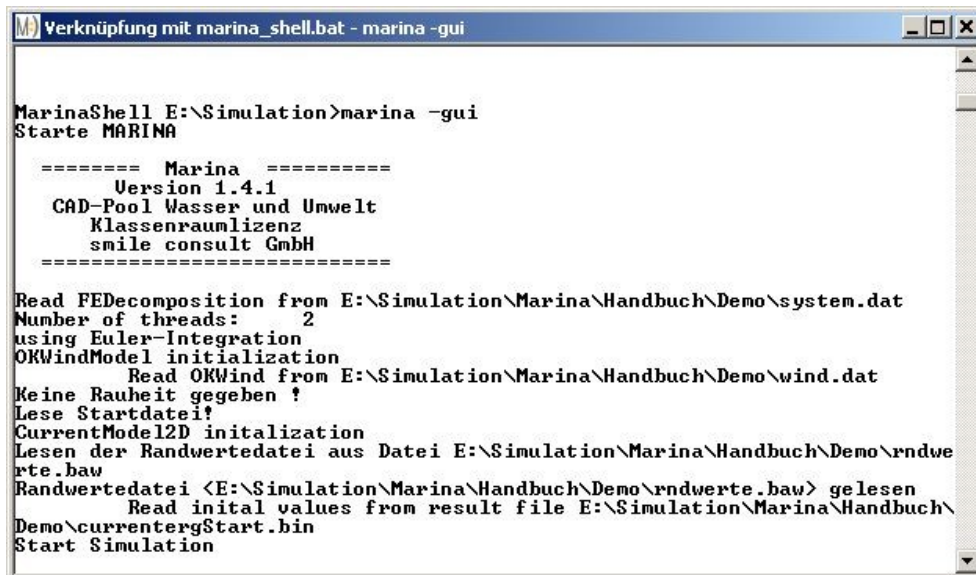
```

Die erste Möglichkeit zum Starten einer Simulation erfolgt nach Eingabe des Aufrufs „marina -gui“. Es öffnet sich ein Dateidialog-Fenster in dem die XML-Steuerungsdatei ausgewählt werden kann. Nach dem Übernehmen der Eingabe wird die Simulation gestartet.

Eine numerische Simulation kann alternativ über die Konsole gestartet werden. Hierzu übergibt man beim Startaufruf die zu verwendende XML-Datei als Parameter (Beispiel: „marina Simulation.xml“).

Nach erfolgreichem Starten der Simulation wird das System aus der system.dat und die Randbedingungen aus der rndwerte.baw eingelesen. Wurden in der XML-Datei weitere Konfigurationsparameter (z. B. Wind, Sediment usw.) verwendet, werden auch diese vom Simulationssystem eingelesen. In der Konsole wird beim Vorbereiten der Simulation der aktuelle Status ausgegeben. Sollte beispielsweise die Randwerte-Datei fehlerhaft sein, bricht die Simulation beim Einlesen der Randwerte-Datei mit einer Fehlermeldung ab. In diesem Fall muss der Anwender die Randwerte-Datei korrigieren und die Simulation erneut starten.

Nachdem alle Dateien und Parameter fehlerfrei eingelesen sind, beginnt die Simulation, was in der Konsole durch die Ausgabe `Start Simulation` zu erkennen ist.



```
Verknüpfung mit marina_shell.bat - marina -gui

MarinaShell E:\Simulation>marina -gui
Starte MARINA

===== Marina =====
      Version 1.4.1
CAD-Pool Wasser und Umwelt
Klassenraumlizenz
smile consult GmbH
=====

Read FEdecomposition from E:\Simulation\Marina\Handbuch\Demo\system.dat
Number of threads:      2
using Euler-Integration
OKWindModel initialization
      Read OKWind from E:\Simulation\Marina\Handbuch\Demo\wind.dat
Keine Rauheit gegeben !
Lese Startdatei!
CurrentModel2D initalization
Lesen der Randwertedatei aus Datei E:\Simulation\Marina\Handbuch\Demo\rndwe
rte.baw
Randwertedatei <E:\Simulation\Marina\Handbuch\Demo\rndwerte.baw> gelesen
      Read inital values from result file E:\Simulation\Marina\Handbuch\
Demo\currentergStart.bin
Start Simulation
```

Die berechneten Ergebnissätze werden in die in der XML-Datei angegebene Ergebnisdatei (Resultfile) geschrieben und können mit dem Postprozessor DAVIT visualisiert und ausgewertet werden.

## 6. Quellenverzeichnis

- BAGNOLD, R. A.: An Approach to the Sediment Transport Problem from General Physics. Geological Survey Prof, Paper 422-I, Washington, 1966.
- BIJKER, E.W.: Littoral drift as function of waves and currents. International Conference on Coastal Engineering, 1968
- BUTCHER, J. C.: Numerical Methods for Ordinary Differential Equations, John Wiley, ISBN 978-0-471-96758-3, 2003.
- CAMENEN, B. and LARSON, M.: A general formula for non-cohesive bed load sediment transport. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 63, 249-260, 2005.
- EINSTEIN, H.A: The Bed-Load Function for Sediment Transportation in Open Channel Flow. Technical Bulletin 1026, U.S. Department of Agriculture, Washington D.C., 1950.
- ELDER, J. W.: The dispersion of marked fluid in turbulent shear flow. In: Journal of Fluid Mechanics, 5, 544–560, 1959.
- ENGELUND, F.: Flow and Bed Topography in Channel Bends. In: Journal of the Hydraulics Division, Vol. 100, No. HY11, 1974.
- ENGELUND, F. and HANSEN, E.: A Monograph on Sediment Transport in Alluvial Streams. Teknisk Vorlag, Copenhagen/Denmark, 1967.
- FITTSCHEN, TH.: Wellenmessungen in der Weser vor Bremerhaven, Forschungsbericht, 1999
- GLADKOW, G. L. und SÖHNGEN, B.: Modellierung des Geschiebetransportes mit unterschiedlicher Korngröße in Flüssen. In: Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau Nr. 82, 2000.
- KOMURA, S.: Discussion of 'Sediment transportation mechanics: Introduction and properties of sediment.'. In: J. Hydraul., 89(1), 263–266, 1963.
- LONGUET-HIGGINS, M. S. and STEWART, R. W.: Radiation stresses in water waves, a physical discussion with applications. In: Deep Sea Research, 11, 529–562, 1964.
- MAI, S.: Seegangsausbreitung in Hever und Heverstrom, Mitteilungsheft des Franzius-Institutes der Universität Hannover, Nr.:87, S. 98 - 141, 2002
- MEYER-PETER, E. and MÜLLER, R.: Formulas for bed-load transport. Proc. IAHR, Stockholm, 1948.
- MILBRADT, P.: Zur Mathematischen Modellierung großräumiger Wellen- und Strömungsvorgänge, Dissertation, Institut für Bauinformatik, Universität Hannover, Hannover, 1995
- NIKURADSE, J.: Strömungsgesetze in rauhen Röhren. Forschungsheft 361, VDI, 1933.
- OSEEN, C. W.: Neuere Methoden und Ergebnisse in der Hydrodynamik. Akademie-Verlag, Leipzig, 1927.
- ROSSINSKY, K. I. und DEBOLSKY, V. K.: Riverine load. Nauka (Moscow), 216 pp., in russisch, 1980
- ROZOVSKII, I. L.: Flow of Water in Bends of Open Channels. English Translation, Academy of Science of the Ukrainian SSR, Institute of Hydrology and Hydraulic Engineering, Kiev, 1957.

- SMAGORINSKY, J.: General Circulation Experiments with the Primitive Equations. In: Mon. Weath. Rev., Vol 91, No. 3, 99-165, 1963.
- SMITH, S. D. and BANKE, E. G.: Variation of the sea surface drag coefficient with wind speed. In: Quart. J. Met. Soc., 101, 665-673, 1975.
- STRUIKSMA, N.; OLESEN, K. W.; FLOKSTRA, C. and DE VRIEND, H.: Bed deformation in curved alluvial channels. In: Journal of Hydraulic Research, Vol. 23, No. 1, 1985.
- VAN RIJN, L. C.: Sediment pick-up-function. In Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 110(10), 1494-1502, 1984.
- WIBERG, P. L. and SMITH, J. D.: Model for Calculating Bed-Load Transport of Sediment. In: Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 115(1), 101-123, 1989.
- YEE-CHUNG, J. and STEFFLER, P. M.: Predicting Flow In Curved Open Channels By Depth-Averaged Method. In: Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 119, No. 1, 1993.

## 7. Anhang I: Dateibeschreibungen

### ANLAGE 1

Sysdat-Format .....	45
---------------------	----

### ANLAGE 2

Rndwerte-Format .....	47
-----------------------	----

### ANLAGE 3

StricklerDat .....	52
--------------------	----

### ANLAGE 4

WaterLevelDat .....	53
---------------------	----

### ANLAGE 5

WindDat .....	54
---------------	----

### ANLAGE 6

MaxErosionDat .....	55
---------------------	----

### ANLAGE 7

Nicht erodierbarer Horizont .....	56
-----------------------------------	----

### ANLAGE 8

WaveRandnDat .....	57
--------------------	----

### ANLAGE 9

Marina-XML-Format .....	59
-------------------------	----

Einführung in XML .....	59
-------------------------	----

Aufbau der Marina-XML-Datei .....	59
-----------------------------------	----

## Sysdat-Format

Die system.dat ist eine Textdatei und enthält das Berechnungsnetz im TICAD-Format. Die system.dat besteht im Prinzip aus zwei Teilen, der Zusammenstellung des Knoten- und Elementverzeichnisses. Zeilen, die mit `C` beginnen, sind Kommentarzeilen und werden nicht ausgewertet.

Das Knotenverzeichnis besteht aus der Festlegung der Anzahl der Rand- und Gebietsknoten. Die Randknoten sind die ersten Knoten im Knotenverzeichnis und beschreiben ein Polygon, welches entgegengesetzt dem Uhrzeigersinn nummeriert ist. Danach folgen alle weiteren Knoten. Die Gesamtknotenzahl ergibt sich aus der Summe der Anzahl der Randknoten und der Anzahl der Gebietsknoten.

```
C Anzahl der Randknoten:
      35
C Anzahl der Gebietsknoten:
      151
```

Nach der Festlegung der Knotenanzahl folgt die Liste der Knoten mit Knotennummer, x- und y-Koordinate und Tiefenwert. Zur Trennung der Werte können Leerzeichen oder Tabstops verwendet werden. Die Knotennummern werden in der Elementliste verwendet, die x- und y-Koordinaten werden in float gelesen und in der Ergebnisdatei wieder als float gespeichert. Die Gauss-Krüger-Koordinaten sollten um die nicht relevanten höchstwertigen Stellen verringert werden (mit dem Präprozessor JANET kann eine Koordinatentransformation für alle Knoten eines Netzes in einem Schritt durchgeführt werden). Der Skalarwert der Tiefe ist nach unten positiv bzgl. NN definiert.

```
C Koordinaten und Skalarwerte der Knoten
C -----
C Zuerst die Randknoten (Anzahl s.o.),
C dann die Gebietsknoten (Anzahl s.o.).
C -----+-----+-----+-----
C   Nr.      | x-Koord.  | y-Koord.  | Skalarwert
C -----+-----+-----+-----
      0      | 0.0000    | 10000.0000 | 10.0000
      1      | 0.0000    | 9000.0000  | 10.0000
      2      | 0.0000    | 8000.0000  | 10.0000
```

Nach der Knotenliste folgt der Block Elementverzeichnis, bestehend aus der Anzahl der Elemente und der Liste der Elemente selbst.

Jedes Element besteht aus drei Knoten, gegen den Uhrzeigersinn nummeriert, und hat eine Nummer. Der vierte Wert ist eine Kennung, die festlegt, welche Kanten des Dreiecks geschlossen sind. Das Schließen von Elementkanten kann sowohl zur Beschreibung von geschlossenen Rändern als auch zur Modellierung von Bauwerken wie beispielsweise von Spundwänden oder Bühnen im Gebiet verwendet werden.

Die Kennung wird über Bitkombinationen (Summation der Zahlen) realisiert (siehe Sysdat.java):

- Bit Nr. 0 (1) steht für Kante j-k geschlossen
- Bit Nr. 1 (2) steht für Kante k-i geschlossen
- Bit Nr. 2 (4) steht für Kante i-j geschlossen

```
C
-----
C Anzahl der Elemente:
    324
C Elementverzeichnis
C
-----
C   Knoten i   Knoten j   Knoten k   Kennung   Nr.
    154       80       81         0         0
    164       10       11         1         1
    119       53       34         0         2
    159       94      158         0         3
```

## Rndwerte-Format

Die rndwerte.baw ist eine ASCII-Datei und dient im Wesentlichen der Randwerte-Steuerung der tiefenintegrierten Modelle des Modellsystems MARINA. Das Dateiformat ist angelehnt an die Formate im System TICAD. Es wurde seinerzeit an der Universität Hannover entwickelt und von der BAW-DH angepasst, siehe:

<http://www.baw.de/vip/abteilungen/wbk/Publikationen/fkb/rndw/rndw-de.html>

Nachfolgend ist zunächst eine vollständige Randwertedatei gegeben, die Bedeutung der einzelnen Zeilen wird im Anschluss an die Beispieldatei ausführlich beschrieben. Zeilen, die mit `C` beginnen, sind Kommentarzeilen und werden nicht ausgewertet.

```
C Gesamtzahl Knoten, fuer die Randwerte anzugeben sind
    15
C Zeitintervall (sec), fuer das Randwerte aufbereitet werden
    44700
C IDRIB/ZWEIG/ITYP/INTER/INTPER/SUMMA/FAKTZ/FAKTH
    5     3     2     8     0     0.     1.     1.
C Knotennummern mit identischen Randbedingungen
    0     1     2     3     4
C Zeitreihe beginnt bei t in s
    0.0           0.605
    447.0         0.629
    894.0         0.651
    1341.0        0.669
    1788.0        0.685
    2235.0        0.7
    2682.0        0.712
    3129.0        0.722
    44700.0       0.605
C IDRIB/ZWEIG/ITYP/INTER/INTPER/SUMMA/FAKTZ/FAKTH
    10     3     2     1     0     0.     1.     1.
C Knotennummern mit identischen Randbedingungen
    5     6     7     8     9
    10    11    12    13    14
C Zeitreihe beginnt bei t in s
    0.0           0.605
    44700.0       0.605
```



Jede Datei beginnt mit der Anzahl der unterschiedlichen Randwertzeitreihen. Zu beachten ist hierbei, dass ein Knoten mehrfach gezählt wird, wenn für ihn Zeitreihen für unterschiedliche Randbedingungen (z. B. vx, vy und h) vorgegeben werden.

```
C Gesamtzahl Knoten, fuer die Randwerte anzugeben sind
15
```

Die zweite Zahl der Randwerte-Datei gibt ein Zeitintervall in Sekunden, für das Randwerte aufbereitet werden, an. Diese Information muss in der Datei vorhanden sein, wird für die Steuerung des Simulationssystems MARINA jedoch **nicht** ausgewertet, da die Zeitinformation implizit aus dem Anfangszeitpunkt und dem Endzeitpunkt der Simulation berechnet und berücksichtigt wird.

```
C Zeitintervall (sec), fuer das Randwerte aufbereitet werden
44700
```

Nun folgen Blöcke, in denen für Knoten die Zeitreihen vorgegeben werden.

```
C IDRB/ZWEIG/ITYP/INTER/INTPER/SUMMA/FAKTZ/FAKTH
5 3 2 8 0 0. 1. 1.
C Knotennummern mit identischen Randbedingungen
0 1 2 3 4
C Zeitreihe beginnt bei t in s
0.0 0.605
447.0 0.629
... ..
```

Bevor auf die Bedeutung der unterschiedlichen Zahlen im Einzelnen eingegangen wird, wird nachfolgend zunächst der Zusammenhang der einzelnen Blöcke anhand der Beispieldatei erläutert. Die Gesamtzahl (15) entspricht der Summe aller Zeitreihenknoten der unterschiedlichen Blöcke (5+10).

```
C Gesamtzahl Knoten, fuer die Randwerte anzugeben sind
15
C Zeitintervall (sec), fuer das Randwerte aufbereitet werden
44700
C IDRB/ZWEIG/ITYP/INTER/INTPER/SUMMA/FAKTZ/FAKTH
5 3 2 8 0 0. 1. 1.
C Knotennummern mit identischen Randbedingungen
0 1 2 3 4
C Zeitreihe beginnt bei t in s
0.0 0.605
... ..
44700.0 0.605
```

```

C IDRB/ZWEIG/ITYP/INTER/INTPER/SUMMA/FAKTZ/FAKTH
    10   3   2   1   0   0.   1.   1.
C Knotennummern mit identischen Randbedingungen
    5     6     7     8     9
    10    11    12    13    14
C Zeitreihe beginnt bei t in s
    0.0           0.605
    44700.0      0.605

```

Innerhalb eines Blockes für die Zeitreihendefinition entspricht die erste Zahl (10) der Summe aller angegebenen Knotennummern (5-14).

```

C IDRB/ZWEIG/ITYP/INTER/INTPER/SUMMA/FAKTZ/FAKTH
    10   3   2   1   0   0.   1.   1.
C Knotennummern mit identischen Randbedingungen
    5     6     7     8     9
    10    11    12    13    14

```

Die vierte Zahl (1) gibt an, wie viele Zeitreiheneinträge auf den ersten Zeitreiheneintrag folgen.

```

C IDRB/ZWEIG/ITYP/INTER/INTPER/SUMMA/FAKTZ/FAKTH
    10   3   2   1   0   0   1.   1.
C Knotennummern mit identischen Randbedingungen
    5     6     7     8     9
    10    11    12    13    14
C Zeitreihe beginnt bei t in s
    0.0           0.605
    44700.0      0.605

```

Beim Erstellen einer rndwerte-Datei ist darauf zu achten, dass die oben beschriebenen Zusammenhänge stets konsistent sind, da andernfalls eine Simulation nicht gestartet werden kann.

Nachdem die Zusammenhänge der Blöcke beschrieben wurden, soll nun auf den Block für die Zeitreihendefinition detailliert eingegangen werden.

```

C      IDRB/ZWEIG/ITYP/INTER/INTPER/SUMMA/FAKTZ/FAKTH
    5     3     2     100   0     0.   1.   1.

```

Die erste Zeile liefert eine Reihe von Informationen, die Folgendes bedeuten:

<i>IDRB:</i>	Anzahl der Knoten mit identischen Randbedingungen / integer
<i>ZWEIG:</i>	Art der Randbedingung / integer
<i>ITYP:</i>	Interpolationstyp ist immer 2 / integer
<i>INTER</i>	Anzahl der spezifizierten Intervalle / integer
<i>INTPER</i>	Anzahl der zu erzeugenden Intervalle / integer (>0 periodische Randbedingungen)
<i>SUMMA</i>	Offset der Größe / double
<i>FAKTZ</i>	/ double (wird nicht genutzt)
<i>FAKTH</i>	Faktor zur Skalierung der Größe / double

Zur Trennung der Werte können Leerzeichen oder Tabstopps verwendet werden.  
Es wird erst skaliert und dann summiert.

**Art der Randbedingung (ZWEIG) / integer:**

1.	<i>spezifischer Durchfluss (qx) in x-Richtung</i>	m <sup>3</sup> /m/s	CurrentModel2D
2.	<i>spezifischer Durchfluss (qy) in y-Richtung</i>	m <sup>3</sup> /m/s	CurrentModel2D
3.	<i>Wasserstand (positiv nach oben über NN)</i>	m	CurrentModel2D/3D
4.	<i>Salzgehalt</i>	ppt	SaltTransportModel2D
5.	<i>Wasserstand (auf inneren Gitterpunkten)</i>		nicht genutzt
6.	<i>Temperatur</i>	°C	HeatTransportModel2D
7.	<i>Wärmemenge</i>		nicht genutzt
8.	<i>Schwebstoffkonzentration</i>	g/l	SedimentModel2D
9.	<i>Schwebstoffmenge</i>		nicht genutzt
10.	<i>Bodenlage (positiv nach unten bzgl. NN)</i>	m unter NN	SedimentModel2D
11.	<i>mittlerer Korndurchmesser d<sub>50</sub></i>	mm	SedimentModel2D
12.	<i>Geschwindigkeit in x-Richtung</i>	m/s	CurrentModel2D/3D)
13.	<i>Geschwindigkeit in y-Richtung</i>	m/s	CurrentModel2D/3D
14.	<i>Durchfluss (Qx) in x-Richtung</i>	m <sup>3</sup> /s	CurrentModel2D

15.	Durchfluss ( $Q_y$ ) in $y$ -Richtung	$m^3/s$	CurrentModel2D
16.	Sauerstoffgehalt	$mg/l$	OxygenModel2D
17.	- nicht genutzt -		
18.	- nicht genutzt -		
19.	- nicht genutzt -		
20.	Punktquelle $Q$	$m^3/s$	
21.	Punktquelle $h$	$m/m^2/s$	

Alle Arten der Randbedingungen ZWEIG (1 bis 13 sowie 20 und 21) sind knotenbezogen und können für einen oder mehrere Knoten gleichzeitig angegeben werden.

### Q-Steuerung:

Die Randbedingungen 14 und 15 sind querschnittsbezogen. Um eine korrekte Berücksichtigung zu erreichen, müssen mindestens zwei Knoten angegeben werden. Während der Simulation werden an den angegebenen Knoten Geschwindigkeitsrandbedingungen dynamisch (iterativ) generiert, so dass der Durchfluss durch die Querschnittsfläche (begrenzt durch den Gewässerboden und die Wasseroberfläche) dem vorgegebenen Durchfluss in  $m^3/s$  entspricht.

### Grundlage der zu erzeugenden Zeitfunktion (ITYP):

1. Summe aus mehreren Cosinus-Funktionen (nicht genutzt)
2. lineare Interpolation zwischen nicht äquidistanten Stützstellen
3. kubische Spline-Interpolation zwischen nicht äquidistanten Stützstellen (nicht genutzt)
4. Im Modellsystem ist nur die lineare Interpolation implementiert. Ist eine andere Zahl angegeben, so wird eine Warnung beim Lesen der Datei ausgegeben und es wird intern linear interpoliert.

In der nächsten Zeile werden die Knoten spezifiziert, für die die folgende Zeitreihe gilt:

```
C Knotennummern mit identischen Randbedingungen
    0     1     2     3     4
```

Danach folgen die Zeitreihen-Daten (hier ist die Anzahl INTER+1):

```
C Zeitreihe beginnt bei t in s
    0           0.739
  447          0.711
  894          0.68
 1341          0.647
  . . . . .
```

### StricklerDat

Zur Beschreibung ortsvariabler Bodenreibung im tiefenintegrierten und dreidimensionalen Strömungsmodell können **optional** Strickler-Koeffizienten angegeben werden. Die strickler.dat ist eine ASCII-Datei und besitzt dasselbe Format wie die system.dat (TICAD-Format). Anstelle der Tiefenwerte in der Knotenliste stehen in der strickler.dat die Strickler-Koeffizienten.

Beim Einlesen dieser Datei wird nur geprüft, ob die Anzahl der Knoten mit der Anzahl der Knoten in der verwendeten system.dat übereinstimmt. Das Elementverzeichnis wird nicht mehr gelesen.

#### **Standardwert:**

Wird keine strickler.dat eingelesen, so wird im gesamten Gebiet ein Strickler-Koeffizient von 48 verwendet.

### WaterLevelDat

Als Anfangswerte für das dreidimensionale und tiefenintegrierte Strömungsmodell kann **optional** eine Anfangswasserspiegellage über eine ASCII-Datei vorgegeben werden. Die waterlevel.dat ist eine Textdatei und besitzt dasselbe Format wie die system.dat (TICAD-Format). Anstelle der Tiefenwerte in der Knotenliste steht in der waterlevel.dat die Wasserspiegellage. Die Wasserspiegellage ist nach oben positiv bzgl. NN definiert.

Beim Einlesen dieser Datei wird nur geprüft, ob die Anzahl der Knoten mit der Anzahl der Knoten in der verwendeten system.dat übereinstimmt. Das Elementverzeichnis wird nicht mehr gelesen.

## WindDat

Die wind.dat ist eine Textdatei und beinhaltet eine Zeitreihe für Wind in der Höhe von 10 m. Die wind.dat wird zur Erzeugung meteorologischer Modelldaten zur Beschreibung ortskonstanter und zeitlich variabler Windfelder im Gebiet verwendet.

In der ersten Zeile der wind.dat steht die Anzahl der Stützstellen der folgenden Zeitreihe (anders als in der rndwerte.baw, wo die Anzahl der Intervalle angegeben ist). Danach folgen die Stützstellen der Wind-Zeitreihe mit Zeit,  $w_x$  und  $w_y$ . Zur Trennung der Werte können Leerzeichen oder Tabstopps verwendet werden.

### Bemerkung:

Windrichtungen sind mathematisch orientiert und nicht meteorologisch.

```
100
0 0.0 5.0
447 0.31395259764656686 4.990133642141358
894 0.6266661678215213 4.9605735065723895
1341 0.936906572928623 4.911436253643443
1788 1.243449435824274 4.842915805643155
```

### MaxErosionDat

Um erodierbare Horizonte im Sedimenttransportmodell vorgeben zu können, kann **optional** eine ASCII-Datei verwendet werden. Die maxerosion.dat ist eine Textdatei und besitzt dasselbe Format wie die system.dat (TICAD-Format). Anstelle der Tiefenwerte in der Knotenliste stehen in der maxerosion.dat die erodierbaren Tiefen ausgehend von den Tiefen im Berechnungsnetz. Eine erodierbare Tiefe von 0 bedeutet also, dass an dieser Stelle keine Erosion unterhalb der Tiefe des Berechnungsnetzes erlaubt wird. Sedimentation und anschließende Erosion oberhalb der Tiefe z ist möglich.

Beim Einlesen dieser Datei wird nur geprüft, ob die Anzahl der Knoten mit der Anzahl der Knoten in der verwendeten system.dat übereinstimmt. Das Elementverzeichnis wird nicht mehr gelesen.

#### **Standardwert:**

Wird keine maxerosion.dat eingelesen, so wird im gesamten Gebiet eine erodierbare Tiefe von 100 m verwendet.



### Nicht erodierbarer Horizont

Um erodierbare Horizonte im Sedimenttransportmodell vorgeben zu können, kann **optional** eine ASCII-Datei verwendet werden. Die noErodibleHorizon.dat ist eine Textdatei und besitzt dasselbe Format wie die system.dat (TICAD-Format). Anstelle der Tiefenwerte in der Knotenliste stehen in der noErodibleHorizon.dat die Tiefen, bis zu denen der Gewässerboden erodiert werden kann. Sedimentation und anschließende Erosion oberhalb der Tiefe  $z_h$  ist möglich.

## WaveRandnDat

Die Definition der Randbedingungen für das Wellenmodell erfolgt mit einer ASCII-Datei im WaveRandnDat-Format.

```

RANDWERTEDATEI
pegelwavetimeseries{
  pegel{
    interpolation{ 0 }
    coordinate{ 0.0 0.0 0.0 }
    wavetimeseries{ 102
0      1.0  0.  5.0
447    1.2  2.  5.1
894    1.12  4.  5.12
..
134100 0.0  0.  5.0
    }
    knotennumbers{ 55 56 57 58 59 60
72 73 74 75 76 77 78 79
    }
  }
  pegel{
    interpolation{ 0 }
    coordinate{ 0.0 0.0 0.0 }
    wavetimeseries{ 102
0      1.0  0.  4.9
447    1.0  2.  5.0
.....
134100 1.0  0.  5.0
    }
    knotennumbers{ 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9
10 11 12 13 14 15 16 17 18 19
20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30
    }
  }
}
Ende der Datei

```

In den Zeitreihen stehen die Wellenhöhe, -anlaufrichtung und -periode. Die Wellenanlaufrichtung wird in Grad und mathematischer Ausrichtung beschrieben.

## Marina-XML-Format

### Einführung in XML

Bevor näher auf die Marina-XML-Datei eingegangen wird, werden an dieser Stelle zunächst einige grundlegende Konzepte des XML-Formates erläutert.

Ein wichtiger Bestandteil eines XML-Dokumentes sind Elemente. Sie bestimmen die Struktur eines XML-Dokumentes und können weitere Elemente enthalten. Das in der Hierarchieebene am höchsten stehende Element wird Wurzelement genannt. In einem Dokument darf es nur ein Wurzelement geben.

Ein Element besteht aus einer öffnenden Marke (Tag), einem optionalen Inhalt und einem schließenden Tag. Das öffnende Tag besteht aus einem Kleiner-Als-Zeichen „<“, dem Namen des Elements, das keine Leerzeichen enthalten darf und dessen erstes Zeichen ein Buchstabe sein muss, und einem Größer-Als-Zeichen „>“.

Der schließende Tag besteht aus einem Kleiner-Als-Zeichen „<“, einem nach links oben aufsteigenden Schrägstrich (Slash) „/“, dem Namen des Elementes und einem Größer-Als-Zeichen „>“.

```
<Projectname> Mein erstes Projekt </Projectname>
```

Es besteht die Möglichkeit Kommentare in XML-Dateien einzufügen. Sie werden, wie in jeder anderen Programmiersprache, in der Regel beim Verarbeiten der Datei ignoriert und dienen ausschließlich der Bereitstellung von Hinweisen und Anmerkungen. Ein Kommentar besteht aus einem Kleiner-Als-Zeichen „<“, einem Ausrufezeichen „!“, zwei Minuszeichen „--“ und dem Inhalt des Kommentars. Darauf folgen zwei Minuszeichen „--“ und ein Größer-Als-Zeichen „>“.

```
<!-- Dieses ist ein Kommentar -->
```

Kommentare sind vor allem dann praktisch, wenn man einzelne Modellmodule nicht verwenden möchte, ohne die entsprechenden Steuerelemente aus der Marina-XML-Datei zu löschen.

Die Strukturierung der XML-Datei wird durch sog. Kindelemente, die sich zwischen öffnendem und schließendem Tag eines Elementes befinden, erreicht.

### Aufbau der Marina-XML-Datei

Ein wohlgeformtes XML-Dokument zur Steuerung von Marina besteht aus dem Wurzelement `<Marina>` vom Typ „MarinaType“. Da das Wurzelement in der Hierarchie des XML-Dokumentes am höchsten eingeordnet ist, muss es dementsprechend das zuerst geöffnete und zuletzt geschlossene Tag im Dokument sein.

Definitionsgemäß muss das Wurzelement `<Marina>` die Kindelemente `<ControlParameter>` und `<Configuration>` enthalten. Der Block `<ControlParameter>` spezifiziert Parameter zur Steuerung der gekoppelten Modelle. Der Block `<Configuration>` dient der Modellkonfiguration.

Mit den nachfolgend aufgeführten optionalen Kindelementen können zusätzliche Informationen in der XML-Datei gespeichert werden:

<b>&lt;Description&gt;</b>	zusätzliche Beschreibung
<b>&lt;Projectname&gt;</b>	Projektname
<b>&lt;Author&gt;</b>	Autor
<b>&lt;Date&gt;</b>	Datum

### Beispiel:

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<tns:Marina xmlns:tns="http://www.smileconsult.de/Marina"
xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
xsi:schemaLocation="http://www.example.org/Marina Marina.xsd ">

  <Version>
    <Major>2</Major>
    <Minor>7</Minor>
  </Version>

  <ControlParameter>
    <BaseDir>./</BaseDir>
    <NumberOfThreads>1</NumberOfThreads>
    <TimeIntegrationScheme>Euler</TimeIntegrationScheme>
    <System>
      <TriangleMesh>
        <FileName>system.dat</FileName>
        <FileType>SysDatFile</FileType>
      </TriangleMesh>
    </System>
    <SimulationTime>
      <StartTime>0</StartTime>
      <EndTime>447000.</EndTime>
      <ResultTimeStep>447.</ResultTimeStep>
    </SimulationTime>
  </ControlParameter>

  <Configuration>
    <CurrentModel2D>
      <DryFallBound>0.1</DryFallBound>
      <BoundaryCondition>
        <FileName>rndwerte.baw</FileName>
        <FileType>RndwerteBAW</FileType>
      </BoundaryCondition>
      <InitialCondition>
        <StartFromResult>
          <FileName>currentergStart.bin</FileName>
        </StartFromResult>
      </InitialCondition>
    </CurrentModel2D>
  </Configuration>
</Marina>
```

```
        <FileType>TicadSysErg</FileType>
        <TimeStepCounter>0</TimeStepCounter>
    </StartFromResult>
</InitialCondition>
<ResultFile>
    <FileName>currenterg.bin</FileName>
    <FileType>TicadSysErg</FileType>
</ResultFile>
</CurrentModel2D>
</Configuration>
</tns:Marina>
```

Eine vollständige Aufstellung aller zulässigen Elemente und ihrer Hierarchieebene kann Anhang II entnommen werden.

## 8. Anhang II: Überblick XML-Elemente

### ÜBERBLICK

XML-Elemente .....	64
--------------------	----

### ANLAGE 1

Marina .....	65
--------------	----

### ANLAGE 2

ControlParameter .....	66
System TriangleMesh Type .....	66

### ANLAGE 3

Configuration .....	67
CurrentModel2D .....	69
BoundaryCondition .....	69
BottomFrictionTriangleMesh .....	69
InitialCondition .....	70
ResultFile .....	70
GroundWaterModel2D .....	71
BoundaryCondition .....	71
SurfaceWater .....	72
Permeability .....	72
Impermeable .....	72
InitialCondition .....	72
ResultFile .....	73
ResultFile .....	73
SaltTrandportModel2D .....	74
BoundaryCondition .....	74
InitialCondition und ResultFile .....	74
HeatTransportModel2D .....	75
BoundaryCondition .....	75
InitialCondition und ResultFile .....	75
SedimentTransportModel2D .....	76
BoundaryCondition .....	77
InitialCondition und ResultFile .....	77
AdvectionDispersionModel2D .....	78
BoundaryCondition .....	78
InitialCondition und ResultFile .....	78

WaveHypModelType .....	79
BoundaryConditionType .....	79
CurrentModel3D .....	80



## XML-Elemente

Wie bereits im Anhang I / Anlage 9 beschrieben, besteht ein XML-Element aus genau einem Wurzelement (hier `<Marina>` vom Typ: „MarinaType“) und mehreren Kindelementen mit einer beliebig komplexen Struktur.

Die Struktur des Marina-XML-Dokumentes ist in einem sog. XML-Schema definiert (Marina.xsd). Das XML-Schema unterscheidet zwischen einfachen und komplexen Datentypen. Ein Typ bezeichnet im Nachfolgenden eine abstrakte Definition der Struktur eines Elementes.

Einfache Typen sind beispielsweise `string` oder `int`. Komplexe Typen bieten im Gegensatz zu den einfachen Typen die Möglichkeit, Kindelemente eines Elementes zu definieren (Beispiel: `ControlParameterType`).

Kindelemente können auf unterschiedliche Arten kombiniert werden. Die zulässigen Werte sind im Schema definiert und werden in den nachfolgenden Tabellen in der mittleren Spalte (Kardinalität) aufgeführt:

- ein Kindelement kann 0- oder 1-fach auftreten [0..1]
- ein Kindelement muss genau einmal auftreten [1..1]

Wenn aus einer Liste von Elementen genau eins ausgewählt werden muss, so ist dieses in den Tabellen mit dem Wort „choice“ gekennzeichnet.

## Marina

Marina		
Kindelement	Kardinalität	Typ
ControlParameter	[1..1]	ControlParameterType
Configuration	[1..1]	ConficurationType
Description	[0..1]	string
Author	[0..1]	string
Date	[0..1]	string
Projectname	[0..1]	string

ControlParameter		
Kindelement	Kardinalität	Typ
BaseDir	[1..1]	string
NumberOfThreads	[0..1]	int
SystemTriangleMesh	[1..1]	SystemTriangleMeshType
TimeIntegrationScheme	[0..1]	TTimeIntegrationScheme
SimulationTime	[1..1]	SimulationTimeType

ConfigurationtrolParameter		
Kindelement	Kardinalität	Typ
CurrentModel2D	[0..1]	CurrentModel2DType
GroundWaterModel2D	[0..1]	GroundWaterModel2DType
CurrentModel3D	[0..1]	CurrentModel3DType
MeteorologyCondition	[0..1]	MeteorologyConditionType
SaltTransportModel2D	[0..1]	SaltTransportModel2DType
HeatTransportModel2D	[0..1]	HeatTransportModel2DType
SedimentTransportModel2D	[0..1]	SedimentTransportModel2DType
WaveHypModel	[0..1]	WaveHypModelType

## ControlParameter

SystemTriangleMeshType		
FileName	[1..1]	string
FileType	[1..1]	TMeshFileType

SimulationTimeType		
StartTime	[1..1]	double
EndTime	[1..1]	double
ResultTimeStep	[1..1]	double

TTimeIntegrationScheme	
Heun	choice
Euler	choice

## System TriangleMesh Type

TMeshFileType	
JanetBinaryFile	choice
SysDatFile	choice

## Configuration

<b>CurrentModel2DType</b>		
DryFallBound	[0..1]	double
BoundaryCondition	[1..1]	BoundaryConditionType
BottomFriction	[0..1]	BottomFrictionType
InitialCondition	[0..1]	InitialConditionType
ResultFile	[1..1]	ResultFileType

<b>GroudWaterModel2DType</b>		
BoundaryCondition	[1..1]	BoundaryConditionType
Permeability	[0..1]	PermeabilityType
ImpermeableLayerDepth	[1..1]	ImpermeableLayerDepthType
InitialCondition	[0..1]	InitialConditionType
ResultFile	[1..1]	ResultFileType

<b>CurrentModel3DType</b>		
DryFallBound	[0..1]	double
BoundaryCondition	[1..1]	BoundaryConditionType
BottomFriction	[0..1]	BottomFrictionType
DepthLayer	[1..1]	TDepthLayer
InitialCondition	[0..1]	InitialConditionType
ResultFile	[1..1]	ResultFileType

<b>MeteorologyConditionType</b>		
FileName	[1..1]	string

<b>SaltTransportModel2DType</b>		
BoundaryCondition	[1..1]	BoundaryConditionType
InitialCondition	[0..1]	InitialConditionType
ResultFile	[1..1]	ResultFileType

<b>HeatTransportModel2DType</b>		
BoundaryCondition	[1..1]	BoundaryConditionType
InitialCondition	[0..1]	InitialConditionType
ResultFile	[1..1]	ResultFileType

<b>SedimentTransportModel2DType</b>		
ResultFile	[1..1]	ResultFileType
MaxErosion	[1..1]	MaxErosionFileType
NoErodibleHorizon	[1..1]	NoErodibleHorizonFileType
GrainSize	[1..1]	GrainSizeFileType
DuneParameter	[1..1]	choice
SuspendedLoadFormula	[1..1]	TSuspendedLoadFormula
BedLoadFormula	[1..1]	TBedLoadFormula
InitialCondition	[0..1]	InitialConditionType
MorphologicalFactor	[0..1]	double

<b>WaterHypModelType</b>		
ResultFile	[1..1]	ResultFileType
BoundaryCondition	[1..1]	BoundaryConditionType
InitialCondition	[1..1]	InitialConditionType
WaterLevelOffset	[1..1]	double

## CurrentModel2D

<b>BoundaryConditionType</b>		
FileName	[1..1]	string
FileType	[1..1]	TCurrent2DBoundaryFileType

<b>BottomFrictionType</b>		
BottomFrictionTriangleMesh	choice	BottomFrictionTriangleMeshType
ConstantBottomFriction	choice	double

<b>InitialConditionType</b>		
StartFromResult	choice	StartFromResultType
StartWithWaterLevel	choice	StartWithWaterLevelType
ConstantWaterLevel	choice	double

<b>ResultFileType</b>		
FileName	[1..1]	string
FileType	[1..1]	TResultFileType

### ***BoundaryCondition***

<b>TCurrent2DBoundaryFileType</b>	
RndwerteBAW	choice
MarinaCurrent2DXML	choice

### ***BottomFrictionTriangleMesh***

<b>TCurrent2DBoundaryFileType</b>		
FileName	choice	string
FileType	[1..1]	TMeshFileType

<b>TMeshFileType</b>	
JanetBinaryFile	choice
SysDatFile	choice

***InitialCondition***

<b>StartFromResultType</b>		
FileName	[1..1]	string
FileType	[1..1]	TResultFileType
TimeStepCounter	[1..1]	int

<b>StartWithWaterLevelType</b>		
FileName	[1..1]	string
FileType	[1..1]	TMeshFileType

<b>TResultFileType</b>	
TicadSysErg	choice
Current3DErg	choice

<b>TMeshFileType</b>	
JanetBinaryFile	choice
SysDatFile	choice

***ResultFile***

<b>TResultFileType</b>	
TicadSysErg	choice

## GroundWaterModel2D

<b>BoundaryConditionType</b>		
FileName	[1..1]	string
FileType	[1..1]	TGroundwater2dBoundaryFileType

<b>PermeabilityType</b>		
PermeabilityTriangleMesh	choise	PermeabilityTriangleMeshType
ConstantPermeability	choise	double

<b>ImpermeableLayerDepthType</b>		
ImpermeableLayerDepthTriangleMesh	choise	ImpermeableLayerDepthTriangleMeshType
ConstantImpermeableLayerDepth	choise	double

<b>InitialConditionType</b>		
StartFromResult	choise	StartFromResultType
StartWithWaterLevel	choise	StartWithWaterLevelType
ConstantWaterLevel	choise	double

<b>ResultFileType</b>		
FileName	[1..1]	string
FileType	[1..1]	TResultFileType

### **BoundaryCondition**

<b>TGroundWater2DBoundaryFileType</b>	
RndwerteBAW	choise
MarinaGroundWater2DXML	choise



### **SurfaceWater**

<b>TGroundWater2DSurfaceWaterFileType</b>		
FileName	[1..1]	string
FileType	[1..1]	TMeshFileType

### **Permeability**

<b>PermeabilityTriangulationMeshType</b>		
FileName	[1..1]	string
FileType	[1..1]	TMeshFileType

<b>TMeshFileType</b>	
JanetBinaryFile	choise
SysDatFile	choise

### **Impermeable**

<b>ImpermeableLayerDepthTriangleMeshType</b>		
FileName	[1..1]	string
FileType	[1..1]	TMeshFileType

<b>TMeshFileType</b>	
JanetBinaryFile	choise
SysDatFile	choise

### **InitialCondition**

<b>StartFromResultType</b>		
FileName	[1..1]	string
FileType	[1..1]	TResultFileType
TimeStepCounter	[1..1]	int

<b>StartWithWaterLevelType</b>		
FileName	[1..1]	string
FileType	[1..1]	TMeshFileType

<b>TResultFileType</b>	
TicadSysErg	choise
Current3DErg	choise

<b>TMeshFileType</b>	
JanetBinaryFile	choise
SysDatFile	choise

***ResultFile***

<b>TResultFileType</b>	
TicadSysErg	choise
Current3DErg	choise

**ResultFile**

<b>TResultFileType</b>	
TicadSysErg	choise
Current3DErg	choise

## SaltTrandportModel2D

<b>BoundaryConditionType</b>		
FileName	[1..1]	string
FileType	[1..1]	TSalt2DBoundaryFileType

<b>InitialConditionType</b>		
StartFromResult	choice	StartFromResultType
Constant	choice	double

<b>ResultFileType</b>		
FileName	[1..1]	string
FileType	[1..1]	TResultFileType

### *BoundaryCondition*

<b>TSalt2DBoundaryFileType</b>	
RndwerteBAW	choice
MarinaSalt2DXML	choice

### *InitialCondition und ResultFile*

Beschreibung der Kindelemente siehe Abschnitte "InitialCondition,, (Seite 71) sowie „ResultFile,, (Seite 71).

## HeatTransportModel2D

<b>BoundaryConditionType</b>		
FileName	[1..1]	string
FileType	[1..1]	THeat2DBoundaryFileType

<b>InitialConditionType</b>		
StartFromResult	choice	StartFromResultType
ConstantWaterLevel	choice	double

<b>ResultFileType</b>		
FileName	[1..1]	string
FileType	[1..1]	TResultFileType

### ***BoundaryCondition***

<b>TSalt2DBoundaryFileType</b>	
RndwerteBAW	choice
MarinaHeat2DXML	choice

### ***InitialCondition und ResultFile***

Beschreibung der Kindelemente siehe Abschnitt „ResultFile„ (Seite 71).

## SedimentTransportModel2D

ResultFileType		
FileName	[1..1]	string
FileType	[1..1]	TResultFileType

MaxErosion		
TriangleMesh	choice	string
Constant	choice	double [mm]

GrainSize		
TriangleMesh	choice	
Constant	choice	double [mm]

TSuspendedLoadFormula		
RossinskyDebolosky	choice	
Bagnold1966	choice	
vanRijn84	choice	

TBedLoadFormula		
vanRijn84	choice	
MPM48	choice	
Wiberg_Smith_1989	choice	
EngelundHansen67	choice	
CamenenLarson2005	choice	

InitialConditionType		
StartFromResult	[0..1]	StartFromResultType

### ***BoundaryCondition***

<b>TSediment2DBoundaryFileType</b>	
RndwerteBAW	choice
MarinaSediment2DXML	choice

### ***InitialCondition und ResultFile***

Beschreibung der Kindelemente siehe Abschnitt „ResultFile„ (Seite 71).

## AdvectionDispersionModel2D

<b>BoundaryConditionType</b>		
FileName	[1..1]	string
FileType	[1..1]	TAD2DBoundaryFileType

<b>InitialConditionType</b>		
StartFromResult	choice	StartFromResultType
Constant	choice	double

<b>ResultFileType</b>		
FileName	[1..1]	string
FileType	[1..1]	TResultFileType

### *BoundaryCondition*

<b>TSalt2DBoundaryFileType</b>	
RndwerteBAW	choice
MarinaSalt2DXML	choice

### *InitialCondition und ResultFile*

Beschreibung der Kindelemente siehe Abschnitte "InitialCondition,, (Seite 71) sowie „ResultFile,, (Seite 71).

## WaveHypModelType

<b>BoundaryConditionType</b>		
FileName	[1..1]	string
FileType	[1..1]	TWaveBoundaryFileType

<b>InitialConditionType</b>		
StartFromResult	[0..1]	StartFromResultType

<b>ResultFileType</b>		
FileName	[1..1]	string
FileType	[1..1]	TResultFileType

## *BoundaryConditionType*

<b>TSalt2DBoundaryFileType</b>	
RndwerteBAW	choice
MarinaWaveXML	choice



## CurrentModel3D

<b>BoundaryConditionType</b>		
FileName	[1..1]	string
FileType	[1..1]	TCurrent2DBoundaryFileType

<b>BottomFrictionType</b>		
BottomFrictionTriangleMesh	choice	BottomFrictionTriangleMeshType
ConstantBottomFriction	choice	double

<b>TDepthLayer</b>		
Depth	[1..1]	double

<b>InitialConditionType</b>		
StartFromResult	choice	StartFromResultType
StartWithWaterLevel	choice	StartWithWaterLevelType
ConstantWaterLevel	choice	double

<b>ResultFileType</b>		
FileName	[1..1]	string
FileType	[1..1]	TResultFileType

Die Kindelemente der aufgeführten Elemente bzw. Typen entsprechen den Kindelementen der entsprechenden Hierarchieebene des Elementes CurrentModel2D. Eine Beschreibung der Kindelemente (z. B. TCurrent2DBoundaryFile) ist in Abschnitt „ResultFile„ (Seite 71) zu finden.

# Stichwortverzeichnis

## A

AdvectionDispersionModel2D ..... 24, 39  
Anfangswerte ..... 30

## B

Berechnungsnetz ..... 30  
Bodenrauheit ..... 32  
BoundaryCondition ..... 32

## C

CurrentModel2D ..... 9, 32  
CurrentModel3D ..... 25, 40

## D

Düne ..... 23

## E

Einführung in XML ..... 59  
Element-Peclet-Zahl ..... 28

## F

Finite-Element-Approximation ..... 27  
Formrauheit ..... 11

## G

GroundWaterModel2D ..... 24

## H

HeatTransportModel2D ..... 23, 38

## M

Manning-Strickler-Wert ..... 32  
marina\_shell ..... 41  
Marina-XML-Format ..... 59  
Marina.xsd ..... 64  
Marina2D ..... 8  
Marina3D ..... 8  
MaxErosionDat ..... 55  
Modellkonfiguration ..... 31

Modellsteuerung ..... 31

## Q

Q-Steuerung ..... 51

## R

radiation stress ..... 12  
Randkennung ..... 30  
Reynolds-Gleichungen ..... 9  
Rndwerte-Format ..... 47

## S

SaltTransportModel2D ..... 23, 37  
Salztransport ..... 23  
Salztransportsimulation ..... 37  
SedimentTransportModel2D ..... 15, 35  
Seegangmodell ..... 14, 35  
Shape-Parameter ..... 30  
Standard-Galerkin-Verfahren ..... 28  
StricklerDat ..... 52  
Sysdat-Format ..... 45

## T

TICAD ..... 53  
Transportrate ..... 15  
Trockenfall-Grenze ..... 32

## W

Wärme ..... 23  
Wärmetransportmodell ..... 38  
WaterLevelDat ..... 53  
WaveHypModel ..... 13  
WaveRandnDat ..... 57  
WindDat ..... 54

## Z

ZWEIG ..... 50