

Bestimmung der Mischungstiefe

Ulf Gräwe¹

¹Leibniz Institute for Baltic Sea Research, Warnemünde, Germany

Correspondence: Ulf Gräwe (ulf.graewe@io-warnemuende.de)

1 Diagnostiken

1.1 Wasseralter

Um das Alter von Wassermassen zu bestimmen greife ich auf die Arbeiten von (Delhez et al., 1999) zurück. Hierzu wird zusätzlich eine prognostische Gleichung gelöst:

$$5 \quad \frac{\partial \alpha}{\partial t} + \nabla \cdot (u \cdot \alpha - K \cdot \nabla) = 1. \quad (1)$$

Hier ist α das Alter der Wassermasse, u das Geschwindigkeitsfeld und K die vertikale und horizontale Diffusivität. Die α -Gleichung wird im Modell also genauso behandelt wie Temperatur oder Salzgehalt. Da ich das Alter der Wassermassen bestimmen möchte die zuletzt Kontakt mit der Oberfläche hatten, wird das Alter an der Oberfläche auf 0 gesetzt. Um die Mischungstiefe zu bestimmen wird dann die Tiefe gesucht, in der das Alter z.B. 1 Tag ist.

- 10 Da ich das Alter einer Wassermasse bestimmen will, ist die Randbedingung von 0 an der Oberfläche relativ klar. Da kann aber noch erweitert werden. So könnte eine Relaxation von 0 eingebaut werden mit einer Zeitkonstante von $\tau = ?$ h. Das müsstet ihr aber sagen. Ich könnte auch eine Temperaturabhängigkeit einbauen.

Beachtet bitte, dass das Wasseralter ein kontinuierlicher Prozess ist und ich somit eine zeitliche Auflösung von Minuten habe.

15 1.2 Well-mixed Ansatz

- 20 Bernd hat den "Well-mixed-Ansatz" vorgeschlagen: Injizieren einen inerten Tracers in die oberste Gitterzelle und lasse ihn sich vertikal vermischen. Nach 24 h wird wieder alles auf Null gesetzt und der nächste Vermischungszyklus kann beginnen. Es wird sodann für jeden Tag das Verhältnis des Tracerpulses (mol/m^2) zur Konzentration des Tracers in der Gitterzelle, die der Ansaugtiefe auf der FINNMAID am nächsten kommt, bestimmt. Dieses Verhältnis, das die Dimension m hat, stellt so etwas wie eine operationelle Eindringtiefe dar (Schneider et al., 2014). Dieser Ansatz beruht auf der Annahme, dass die oberflächenschicht homogen durchmischt ist, was meistens gerechtfertigt ist. Bernd hatte aber schon angemerkt, dass dieses Maß nur z.B. alle 24 Stunden berechnet werden keine.

Table 1. Zusammenfassung der verschiedenen Masse zu Bestimmung der Mischungstiefe.

Maß	Vorteil	Nachteil
Wassermassenalter	- kontinuierlich	- Festlegung eines Grenzwertes
Uniform mixing	- kein Grenzwert	- diskrete Werte - Länge der Zyklus - Uniform mixing Annahmen
Constant release	- keine Annahme	- diskrete Werte - Länge der Zyklus - Festlegung eines Grenzwertes
Richardson Numbe	- keine Annahme - kontinuierlich	- numerische Probleme - Festlegung eines Grenzwertes

1.3 Continous-release Ansatz

Ich hatte den “Continous-release-Ansatz” vorgeschlagen: Hierzu wird ein inerter Tracers in die oberste Gitterzelle injizieren und die Tracerkonzentration in der dieser Zelle auf 1 gehalten. Das ganze kann sich den schön vertikal vermischen. Nach 24 h wird wieder alles auf Null gesetzt und der nächste Vermischungszyklus kann beginnen.

- 5
- Am Ende eines jeden Zyklus wird die Tiefe gesucht in der die Tracerkonzentration auf $1/e$ abgefallen ist. In diesen Ansatz wird nichts über die Mischung in der Oberflächenschicht angenommen. Wie aber schon beim “Well-mixed-Ansatz” ist dieses Mass nur z.B. alle 24 Stunden berechenbar. Außerdem muss ein Grenzwert festgelegt werden ($1/e$).

1.4 Richardson number

- 10
- Ein physikalischer Ansatz wäre z.B. die Mischungstiefe über die Richardson Zahl abzuschätzen,

$$Ri = \frac{N^2}{S^2},$$

(2)

also das Verhältnis aus Schichtung und Scherung. Dann wird die Wassertiefe gesucht, in der $Ri > Ri_{crit}$ ist. Ri_{crit} wird meistens mit 0.5 angenommen. Dieser Ansatz ist natürlich wieder kontinuierlich, birgt aber einige unschöne numerische Probleme. Da N^2 und S^2 sehr klein werden können, ist der Quotient nicht immer gut definiert. Dieser

- 15
- Ansatz sollte aber einen physikalischen Vergleichswert liefern

1.4.1 Zusammenfassung

2 Modellierung

Um die Implementierung der verschiedenen Ansätze zu testen, habe ich GOTM (General Ocean Turbulence Model, Umlauf and Burchard (2005)) für das Gotland Tief aufgesetzt. Ich modelliere eine 1D Wassersäule, mit 400 Schichten

5 und einem Zooming der Schichten Richtung Oberfläche. Das Modell läuft für 1.5 Jahre.

In Bild 1 ist die Entwicklung der Temperatur und des Wassermassenalters dargestellt. Man sieht schön, wie sich die Thermokline aufbaut. Man sieht auch klar den Einfluss der Thermokline auf das Wasseralter. Im Winter und Frühling ist die Mischungstiefe bei ca. 70-80 m. In diesem Bereich beträgt das Alter maximal 4-6 Tage. Sobald sich die Thermokline aufbaut, ist das "Tiefenwasser" entkoppelt und fängt an zu altern. Die oberflächenschicht dagegen hat immer noch Werte von 1-3 Tagen.

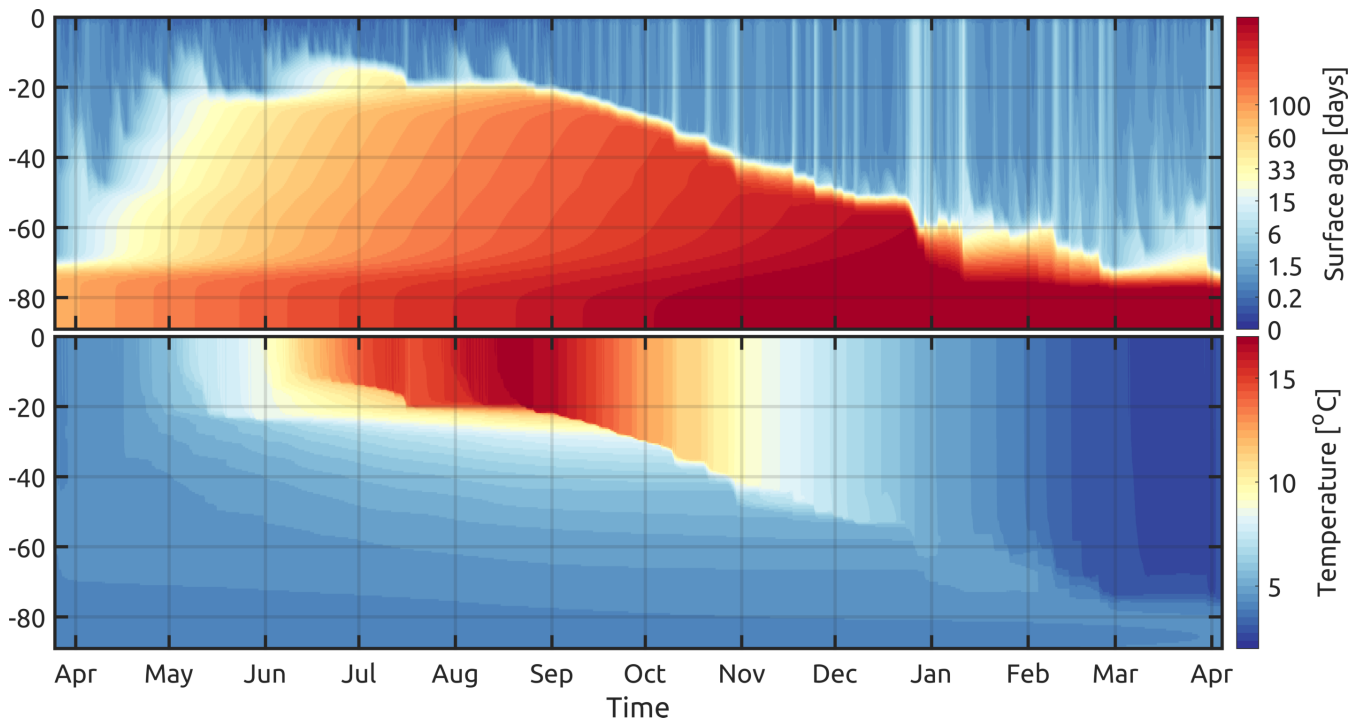


Figure 1. Oberes Panel: Wassermassenalter in Tagen. Unteres Panel: Temperatur

10

Um die verschiedenen Masse zu testen, zeige ich im folgenden den Vergleich für Sommer und Winter.

2.1 Sommer

In Bild 2 zeige ich den Vergleich für eine Sommersituation.

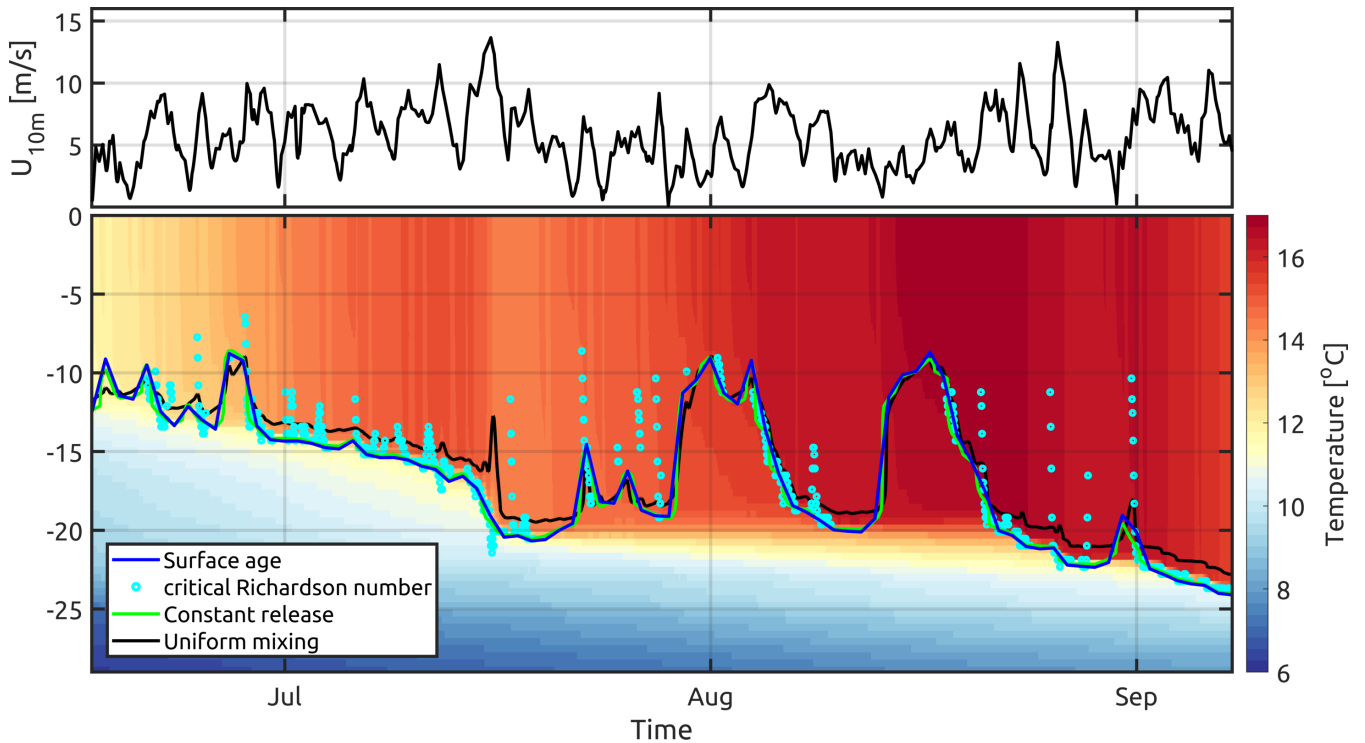


Figure 2. Oberes Panel: Windgeschwindigkeit. Unteres Panel: Temperatur. Die Linien stellen die Abschätzung der Mischungstiefe dar.

Wenn man die 4 Diagnostiken vergleicht, wird deutlich, dass sie dicht beieinander liegen. Der “Uniform-mixing-Ansatz” unterschätzt leicht die Mischungstiefe. Alle 4 Ansätze weisen aber deutliche Korrelationen auf, d.h. der zeitliche Verlauf ist sehr ähnlich auch wenn ein leichtes Offset existiert.

2.2 Winter

5 In Bild 3 zeige ich den Vergleich für eine Wintersituation.

Im Winter treten deutliche Unterschiede auf. Das Wassermassenalter und der “Richardson-number-Ansatz” stimmen gut überein, sowohl in der Tiefe als auch im zeitlichen Verlauf. Der “Uniform-mixing-Ansatz” überschätzt die Mischungstiefe, der “Constant-release-Ansatz” unterschätzt die Mischungstiefe.

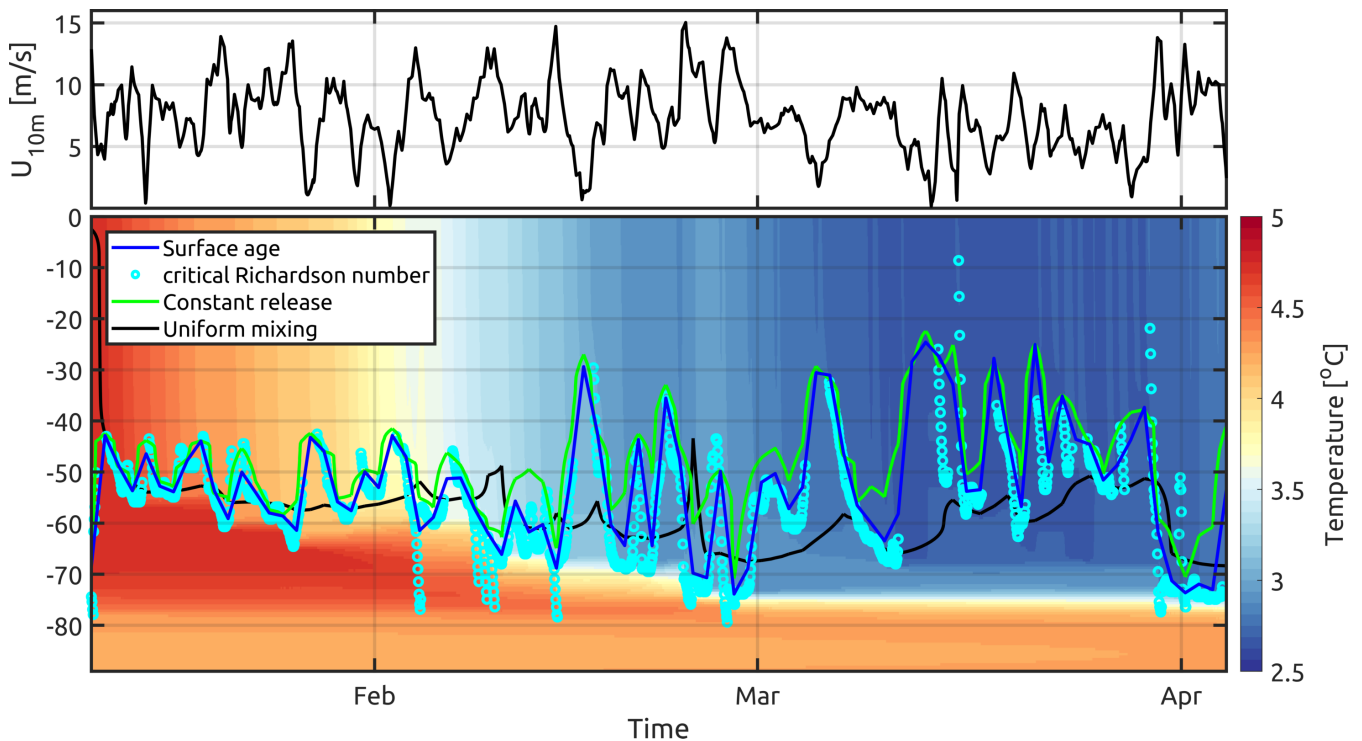


Figure 3. Oberes Panel: Windgeschwindigkeit. Unteres Panel: Temperatur. Die Linien stellen die Abschätzung der Mischungstiefe dar.

3 Diskussion

Alle vier Ansätze zeigen im Sommer nahezu identische Abschätzungen. Im Winter werden aber deutliche Abweichungen sichtbar. Ein Problem des “Uniform-mixing-Ansatz” könnte sein, dass dieser Ansatz sensitiv auf die Tracerkonzentration in der Oberflächenzelle ist. Im Falle von Regen, wird die Tracerkonzentration in der obersten Zelle stark verringert, da im derzeitigen Setup die Oberflächenzellen eine Dicke von nur 20 cm hat. Dadurch wird die Mischungstiefe künstlich erhöht. In einer vollen 3D Simulation sollte dieses Luxusproblem aber nicht mehr da sein.

Die anderen drei Ansätze beruhen noch auf einen Grenzwert, der gewählt werden muss. Aber wie es scheint, sind die Parameter ziemlich robust, aber ich kann ja noch ein bisschen rumtesten.

Zusammenfassung Ich habe 4 Ansätze in GOTM verbaut um eine Methode zu finden die Mischungstiefe abzuschätzen. Alle 4 Methoden liefern ähnliche Ergebnisse. Im Sommer sind die Unterschiede marginal, im Winter etwas deutlicher. Vor allem der “Uniform-mixing-Ansatz” reagiert sensitiv auf Regen, wenn die Oberflächenzelle zu dünn ist. Dieses Problemchen kann aber gelöst werden.

Persönlich würde ich das Wassermassenalter als Ansatz bevorzugen. Es ist eine klar definierte und erklärbare Größe. Außerdem ist die Interpretation problemlos. Zusätzlich kann das Alter kontinuierlich bestimmt werden. Ein weiterer Pluspunkt wäre, dass eine Zeitkonstante im Oberflächenaustausch eingebaut werden kann. Zur Zeit wird das Alter in der obersten Zellen auf 0 gesetzt, d.h. der Austausch geschieht unendlich schnell. Das könnte
5 natürlich realistischer modelliert werden. Für das Wasseralter könnten natürlich verschiedene Grenzwerte genutzt werden, z.B. 1,3,5 Tage.

Etwas, was für alle Ansätze möglich wäre, ist ein temperaturabhängiger Abbau des Tracers einzubauen. Die Frage wäre aber, wie kompliziert man das alles machen will und wie genau die Mischungstiefe abgeschätzt werden muss.

References

- Delhez, É. J. M., Campin, J.-M., Hirst, A. C., and Deleersnijder, É.: Toward a general theory of the age in ocean modelling, *Ocean Modelling*, 1, 17–27, [https://doi.org/10.1016/S1463-5003\(99\)00003-7](https://doi.org/10.1016/S1463-5003(99)00003-7), <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1463500399000037>, 1999.
- 5 Schneider, B., Gustafsson, E., and Sadkowiak, B.: Control of the mid-summer net community production and nitrogen fixation in the central Baltic Sea : An approach based on pCO₂ measurements on a cargo ship, *Journal of Marine Systems*, 136, 1–9, <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2014.03.007>, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmarsys.2014.03.007>, 2014.
- Umlauf, L. and Burchard, H.: Second-order turbulence closure models for geophysical boundary layers. A review of recent work, *Continental Shelf Research*, 25, 795–827, 2005.