

6 Vergleich mit dem regionalen Klimamodell (BALTIMOS)

In diesem Kapitel wird der im Rahmen des Projektes BALTIMOS (BALTIMOS: Entwicklung und Validierung eines gekoppelten Klimamodellsystems für das Ostseegebiet) durchgeführte Vergleich vorgestellt. Es werden Modellergebnisse mit satellitengestützten Messungen verglichen. Das regionale Klimamodell (BALTIMOS) berechnete den aufwärtsgerichteten Strahlungsfluss für das Jahr 2002. Hierbei wurde der Jahres- und Tagesgang sowie die räumliche Verteilung für das Jahresmittel des aufwärtsgerichteten Strahlungsflusses betrachtet (Hünerbein *et al.*, 2006). In den folgenden Abschnitten werden zuerst das regionale Klimamodell beschrieben, die Ergebnisse des Vergleichs vorgestellt und mögliche Gründe der Diskrepanzen diskutiert.

6.1 Das regionale Klimamodell - BALTIMOS

BALTIMOS ist ein vollständig gekoppeltes Klimamodell. Es besteht aus folgenden Modellkomponenten: REMO für die Atmosphäre (Jacob, 1997), BSIOM für den Ozean und das Meereis (Lehmann, 1995) sowie LARSIM für die Hydrologie (Richter *et al.*, 2003; Bremicker, 2000). Diese wurden mit einander gekoppelt (siehe Abb. 6.1). Eine detaillierte Beschreibung des gekoppelten Modellsystems BALTIMOS ist in Lorenz *et al.* (2006) zu finden. Die horizontale Auflösung des Modells beträgt $1/6^\circ \times 1/6^\circ$ ($\sim 18\text{km}$) für eine Gitterbox. Das Modellgebiet umfasst die Ostsee und den Einzugsbereich der Flüsse. BALTIMOS ist vertikal in 20 atmosphärische Schichten und 60 ozeanische Schichten unterteilt.

Wichtig für den Vergleich ist das regionale Klimamodell REMO und sein Strahlungsschema. Das REMO ging aus dem EUROPA-Modell (EM) (Majewski, 1991), dem ehemaligen Vorhersagemodell des Deutschen Wetterdienstes, hervor. Die physikalische Parameterisierung basiert auf dem globalen Klimamodell ECHAM4 (Roeckner *et al.*, 1996). Das Strahlungsschema basiert mit einigen Modifizierungen auf dem ECMWF-Schema (*European Centre for Medium-Range Weather Forecasts*, ECMWF Res. Dep., 1991). Für die kurzwellige Strahlung werden zwei Bereiche betrachtet, zum einen der sichtbare ($0,2\text{-}0,68\ \mu\text{m}$) und zum anderen der nahe infrarote ($0,68\text{-}4,0\ \mu\text{m}$) Bereich des Sonnenspektrums. Der Zeitschritt des Atmosphären-Modells für die meisten Parameter beträgt 120 Sekunden, wobei der solare Strahlungsfluss nur jede Stunde berechnet wird. Somit wird die Strahlungseinwirkung der Wolken jede Stunde aktualisiert.

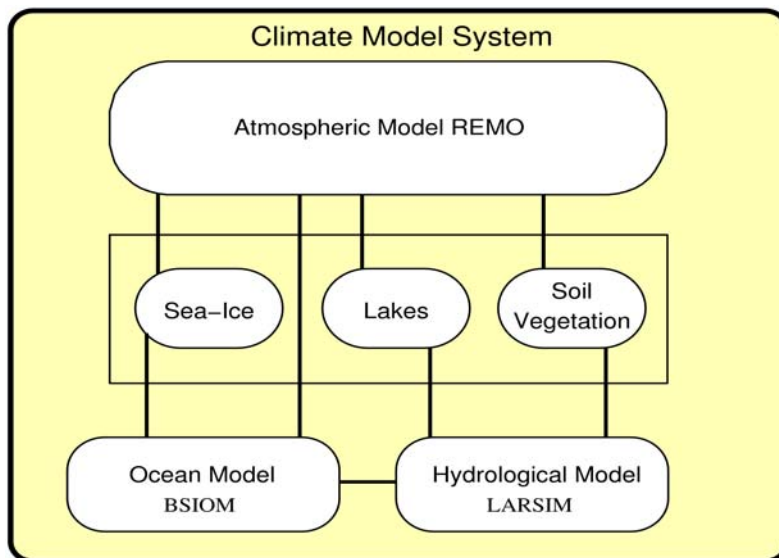


Abb. 6.1: Schema von BALTIMOS von Lorenz (2006)

Vergleichsstrategie

Die BALTIMOS Simulationen sind von Februar bis Dezember 2002 mit einer stündlichen Ausgabe für die wichtigsten Parameter durchgeführt worden. Es ist im Klimamode betrieben. Dies bedeutet, dass es anfangs an jeder Gitterbox und später kontinuierlich am Rand mit ECMWF-Analysen angetrieben wurde.

Die gemessenen Werte von MODIS liegen im Durchschnitt für das simulierte Gebiet zweimal am Tag vor. Zum Selektieren der bewölkten Atmosphäre wird die an der Freien Universität Berlin entwickelte Wolkenmaske benutzt. Um den Datensatz auf ein einheitliches Gitter zu bringen, werden die gemessenen Daten von MODIS auf das Gitter des regionalen Klimamodells interpoliert. Für den Vergleich wurden nur komplett bewölkte Gitterboxen verwendet.

Im BALTIMOS wird der aufwärtsgerichtete Strahlungsfluss nicht in bewölkte und wolkenlose Atmosphäre unterteilt. Darum wird zusätzlich die Wolkenbedeckung des Modells für jede Gitterbox mit berücksichtigt.

Da MODIS nicht immer das ganze Modell-Gebiet abdeckt, werden nur die sich überschneidenden Bereiche verglichen. Die Vergleichszeit ist bestimmt durch den Satellitenüberflug. Der Zeitunterschied zwischen der Messung und der Simulation darf maximal 30 Minuten betragen.

6.2 Ergebnisse des Vergleichs für das Jahr 2002

Für einen Zeitraum von Februar bis Dezember 2002 über dem Ostseegebiet wurde der aus BALTIMOS berechnete reflektierte Strahlungsfluss am Oberrand der Atmosphäre mit MODIS-Messungen verglichen. Das regionale Klimamodell BALTIMOS wurde in einem gekoppelten und ungekoppelten System verwendet. Das ungekoppelte System BALTIMOS (ohne Ozeanmodell) zeigte ähnliche Ergebnisse wie das gekoppelte BALTIMOS.

In Abbildung 6.2 ist ein Frontensystem über Europa in den Satellitenmessungen und in der Simulation für den 2. Mai 2002 zu erkennen. Auf den ersten Blick fällt auf, dass der gemessene Strahlungsfluss eine höhere räumliche Variabilität aufweist. Dies liegt an der unterschiedlichen zeitlichen Auflösung. Bei dem simulierten Strahlungsfluss handelt es sich um ein stündliches Mittel. Im Gegensatz dazu sind die Beobachtungen Echt-Zeit-Messungen.

An diesem zweiten Mai 2002 überquert eine Okklusionsfront Europa, die sich in einem Bogen von Nordskandinavien bis zu den Alpen erstreckt. Das Bodentief befindet sich über dem Nord-Ost-Atlantik. Eine weniger ausgeprägte Front befindet sich östlich des betrachteten Gebietes. Sowohl die Messung als auch das Modell lassen die Wolkenformation des Frontensystems erkennen, welche große Bereiche von Mitteleuropa und Teile der Ostsee bedeckt. Allerdings sind deutliche Unterschiede in der räumlichen Ausbreitung und der Position zu erkennen. Das östliche Frontensystem wurde mit dem Modell nicht erfasst. Von der Gegebenheit ausgehend, dass die Vergleiche mit Simulationen im Klimamodus gemacht wurden, werden im Weiteren nur gemittelte Größen verglichen.

Die Differenz des Jahresmittels des reflektierten Strahlungsflusses von BALTIMOS und MODIS ist in Abbildung 6.3 dargestellt. Die Abweichungen sind im Bereich von $\pm 150 \text{ W/m}^2$. Für die meisten Bereiche ist die Differenz unter 50 W/m^2 . Der größte Unterschied ist über der Ostsee und den Alpen erkennbar. Das BALTIMOS Modell zeigt im Vergleich zu den MODIS Messungen höhere Werte über der Ostsee und niedrigere über den Alpen. Mit der FUB-Wolkenmaske ist die Erkennung von schneebedeckten Gebieten, wie z.B. den Alpen, problematisch. Wenn die Wolkenmaske die schneebedeckten Gebiete falsch klassifiziert, dann verändert sich der Mittelwert des reflektierten Strahlungsflusses zu höheren Werten.

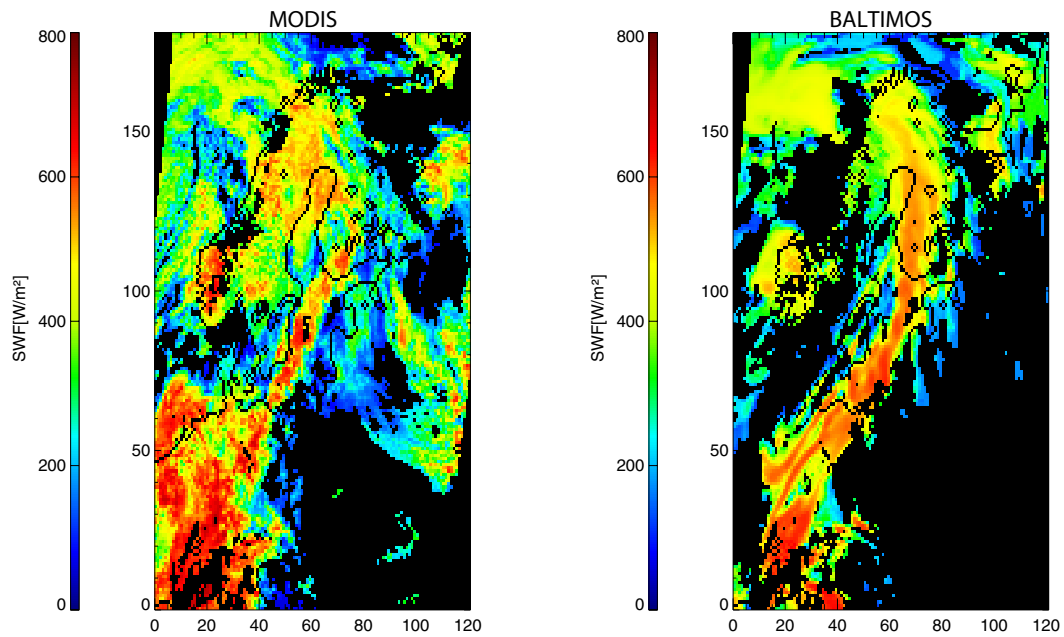


Abb. 6.2: Überflug von MODIS am 2. Mai 2002 um 10:00 UT (links) und Modellergebnisse (rechts): Reflektierter Strahlungsfluss am Oberrand der Atmosphäre über den Wolken

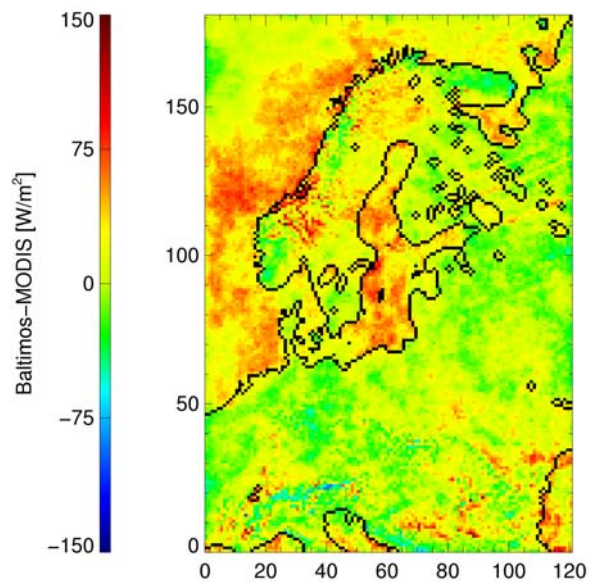


Abb. 6.3: Differenz des Jahresmittels des reflektierten Strahlungsflusses über den Wolken

Sowohl in globalen als auch in regionalen Klimamodellen ist es schwierig konvektive Bewölkung zu simulieren. Frontalsysteme im Modell sind hauptsächlich durch die vorgegebene Information am Rand des Gebietes angetrieben. Im Gegensatz dazu berechnet das Modell im Inneren des Modellgebietes seine Wolken unabhängig davon und weicht damit von der Beobachtung ab. Dies führt bei dem Vergleich zu verschiedenen Wolkenfeldern.

Der Jahresgang ist in Abbildung 6.4 dargestellt. In Abbildung 6.4a ist der Vergleich für alle Wolken durchgeführt, dagegen wurden in 6.4b nur optisch dicke Wolken für den Vergleich benutzt. Die Unterteilung in optisch-dicke und -dünne Wolken konnte nur durch Einführen eines zusätzlichen Schwellwertes geschehen. Da in den Modell-Simulationen nicht in unterschiedliche Wolkentypen unterschieden wird, wurde ein Schwellwert definiert, der dünne Wolken von dicken Wolken trennt. Die dünnen Wolken umfassen hauptsächlich Cirren. Cirruswolken sind aufgrund ihrer physikalischen Eigenschaften generell problematisch. Mit einem Schwellwert von 40% Albedo kann angenommen werden, dass der Vergleich keine Cirren enthält (Jacobson, 1999; von Storch *et al.*, 1999). Mit diesem zusätzlichen Parameter wurde der Jahresgang in 6.4b erzeugt. Der Verlauf der Monatsmittelwerte spiegelt den Jahresgang der Sonne für unsere Breiten wieder. In den Monaten Mai, Juni, Juli und August überschätzt das Modell den aufwärtsgerichteten Strahlungsfluss über Wolken (6.4a). Dagegen zeigt das Ergebnis mit dem benutzten Schwellwert eine gute Übereinstimmung.

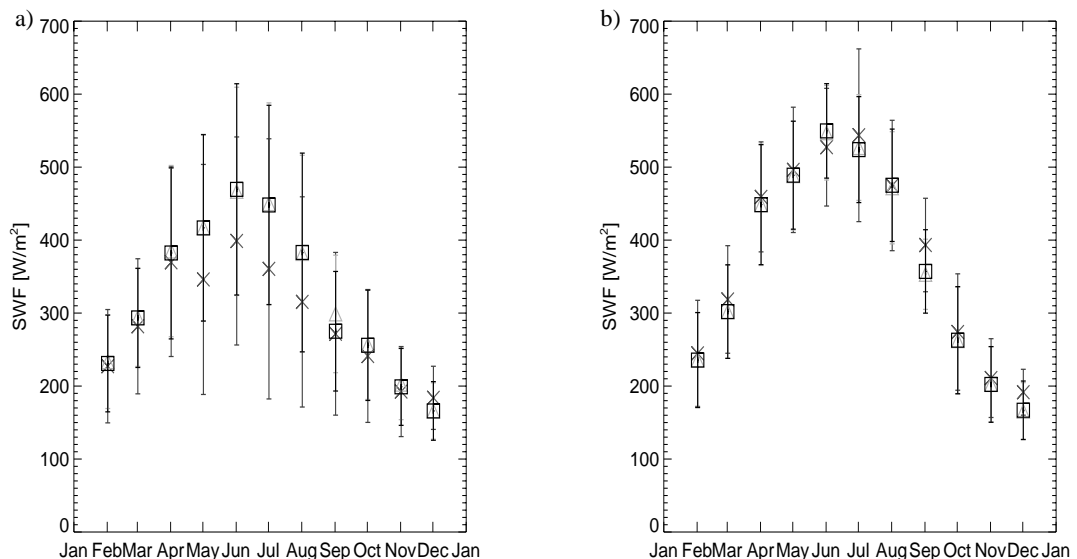


Abb. 6.4: Jahresgang des kurzwelligen aufwärtsgerichteten Strahlungsflusses am Oberrand der Atmosphäre über den Wolken (SWF). Kreuz: MODIS, Dreieck: BALTIMOS-R (ungekoppelt), Viereck: BALTIMOS (gekoppelt), a) für alle Wolken, b) ohne dünne Wolken

Der räumlich gemittelte Tagesgang von 8 bis 13 Uhr ist in der Abbildung 6.5 dargestellt. Das Tagesmaximum um 12 Uhr stimmt erwartungsgemäß mit dem Maximum des Sonnenstandes überein. Die simulierten Ergebnisse passen gut zu den beobachteten Werten. Der Jahres- und Tagesgang weist keine Phasenverschiebung auf.

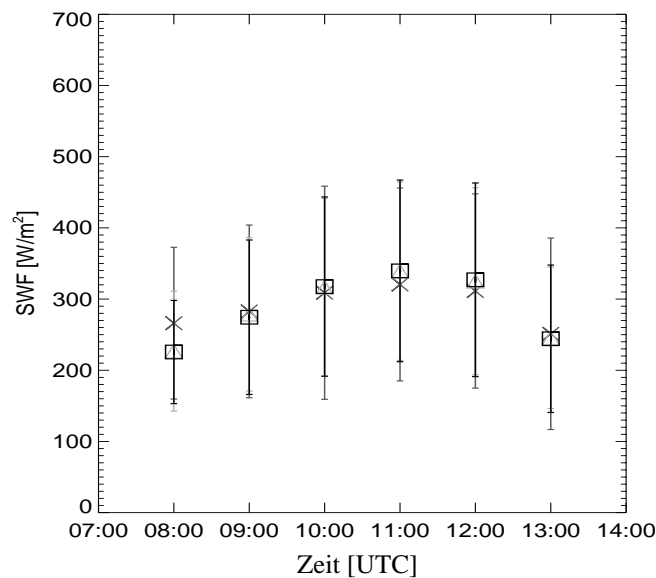


Abb. 6.5: Tagesgang des kurzwelligen aufwärtsgerichteten Strahlungsflusses am Oberrand der Atmosphäre über den Wolken (SWF). *Kreuz*: MODIS, *Dreieck*: BALTIMOS-R (ungekoppelt), *Viereck*: BALTIMOS (gekoppelt)

Die beobachteten Unterschiede sind auf verschiedene Ursachen zurückzuführen:

- **Schnee/Eis-Erkennung der Wolkenmaske für die MODIS-Daten-Verarbeitung**
Wie vorausgehend erörtert, führen Probleme bei der Szenenerkennung von Schnee und Eis zu einer Überschätzung des reflektierten Strahlungsflusses für die Satellitenmessung. Über den Alpen tritt dieses Problem verstärkt auf.
- **Unterschiedliche Wolkenfelder**
Das regionale Klimamodell beschreibt Frontensysteme gut, welche hauptsächlich von den vorgegebenen Randinformationen angetrieben werden. Im Inneren gebildete Wolkenfelder, wie Konvektivebewölkung, unterscheiden sich in Ort und Ausdehnung von den gemessenen Daten. Diese Diskrepanz ist erkennbar in der hohen Schwankung der räumlichen Verteilung des verglichenen reflektierten Strahlungsflusses.

- Cirrusbewölkung

Die zu hohe Wolkenreflexion des regionalen Klimamodells im Jahresgang wird in den Sommermonaten verursacht. Die Gründe für diese hohen Werte können mit dem eingeführten Schwellwert nicht eindeutig begründet werden. Aber, die Ergebnisse deuten auf Probleme in der Parameterisierung der mikrophysikalischen Prozesse in Cirren hin.

	räumliche Verteilung ¹	a) Jahresgang ²	b) Jahresgang ²
Bias W/m ²	13	35	11
RMSE W/m ²	28	51	17
Korrelation	0,77	0,97	0,99
Tab.6.1: Statistische Werte zwischen MODIS und BALTIMOS für die zeitliche Mittelung (1) und räumliche Mittelung (2). a) für alle Wolken, b) ohne dünne Wolken			

Zusammenfassend sind in Tabelle 6.1 die statistischen Werte für die zeitliche und die räumliche Mittelung berechnet. Die Ergebnisse zeigen, dass die MODIS-Messungen und die BALTIMOS-Werte gut übereinstimmen. Der Jahresgang ohne dünne Wolken und die räumliche Verteilung sind im Bereich der Messgenauigkeit. Die niedrige Korrelation der räumlichen Verteilung spiegelt das Betrachten unterschiedlicher Wolkenfelder miteinander wieder.

Weiterführend würde eine Untersuchung mit einer Einteilung in einzelne Wolkenklassen nützlich sein und zu einer detaillierteren Aussage führen.

