

Deutscher Wetterdienst

Abteilung
Hydrometeorologie

Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand



DWD

SNOW, Vers. 4.0,

Neuerungen und Verifikation für den Winter 2011/2012

Bearbeiter:

**Dr. Uwe Böhm
Dr. Thomas Reich
Gerold Schneider**

Inhaltsverzeichnis

1. MODELLÄNDERUNGEN.....	3
2. DATEN-BEREITSTELLUNG UND -VERFÜGBARKEIT	5
3. STABILITÄT DES OPERATIONELLEN BETRIEBS UND ABARBEITUNGSZEITEN ...	6
4. HYDROMETEOROLOGISCHE SITUATION WINTER 2011/12	7
5. MODELLVERIFIKATION	11
6. ZUSAMMENFASSUNG	16

1. Modelländerungen

Gegenüber dem Vorjahr wurde eine Reihe von Änderungen im Modell vorgenommen, mit denen mehrheitlich Anregungen seitens der SNOW-Nutzer aufgegriffen wurden.

Zum einen wurde in diesem Winter ein **neues**, auf SRTM-Höhendaten in 250 m Horizontalauflösung basierendes **Höhenmodell** zugrunde gelegt, in dem nicht mehr die über die Rasterfläche von einem Quadratkilometer gemittelte Geländehöhe, sondern die Höhe des dem Gitterpunkt am nächsten gelegene SRTM-Messpunktes verwendet wurde.

Weiterhin wurde eine Reihe von **Parametern für das Interpolationsmodul** geändert:

- ◆ Es wurde ein Höhenabgleich zwischen Stations- und Gitterpunkthöhe vorgenommen, d.h. falls für das entsprechende Rasterfeld ein gesicherter Messwert vorliegt, wurde die Gitterpunkthöhe der der Messstelle angeglichen.
- ◆ Das Gewicht für die Geländehöhen­differenz bei der Entfernungsberechnung wurde vergrößert; auf diese Weise konnte die Schneegrenze genauer bestimmt werden.
- ◆ Die Schätzung der zur Berechnung der Interpolationsgewichte erforderlichen räumlichen Korrelationsfunktion r wurde nicht mehr auf der Grundlage der CANBERRA-Metrik ($r = f(d^{-1})$), sondern statt dessen anhand der räumlichen Struktur­funktion ($r = f(d^{-2})$) vorgenommen – d.h. „nahe“ Stationen erhalten ein höheres Gewicht als früher –, was die Interpolation in gegliedertem Gelände verbessert.
- ◆ Die Verwendung von METEOSAT–SEVIRI-Daten zur Ermittlung der Schneebedeckung wurde im vergangenen Winter schrittweise durch räumlich höher aufgelöste NOAA–AVHRR-Daten ergänzt. Darüber hinaus werden nun auch Satellitendaten vom Nachmittag ($t \geq 12:00$ UTC) des jeweiligen Vortages einbezogen. MODIS-Daten können vom Regionalisierungsmodul zwar prinzipiell verwendet werden, sind im Routinebetrieb aber derzeit nicht verfügbar.
- ◆ Es wurde keine abschließende Glättung des Feldes mehr vorgenommen.

Darüber hinaus wurde eine **Datenergänzung für fehlende Werte der Schneehöhe und des spezifischen Wasseräquivalents** eingeführt und während des Winters schrittweise verbessert. Sie umfasst die folgenden Komponenten:

- ◆ Ergänzung der in der Regel nicht gemeldeten Schneehöhe $D_n = 0$ cm für Stationen bis zu einer (jahreszeitlich variablen) maximalen Geländehöhe in Abhängigkeit von einem (ebenfalls jahreszeitlich variablen) Temperaturschwellenwert.
- ◆ Ergänzung ausgefallener Schneehöhenwerte anhand von an Vortermi­nen gemessenen Werten derselben Station. Die Anzahl der Vortermine ist variabel und derzeit auf drei (Tage) festgelegt. Darüber hinaus wurde auf Ergänzung verzichtet, wenn die letzte gemessene Schneehöhe geringer als 5 cm war, *oder* wenn die durchschnittliche Schneehöhen­änderung größer war als die lokale Schneehöhe selbst – also bei massiven Schmelzprozessen oder sehr starkem anhaltendem Schneefall.

Neuentwicklungen am Nachführungsmodul kamen im vergangenen Winter nicht zum Einsatz im Routinebetrieb. Einzelheiten dazu werden im nächsten Bericht beschrieben werden.

Die Auswirkungen der dargestellten Modelländerungen wurden punktuell untersucht. Dabei wurde Bezug auf Anregungen genommen, die auf dem SNOW-Nutzerforum 2011 geäußert wurden. Für die zwei Stationen Mittelwald-Buckelwiesen und Seefeld (Österreich) im alpinen Raum wurden Anfang März 2011 deutliche Unterschiede zwischen gemessenen und regionalisierten Schneehöhen sowie Wasseräquivalenten diagnostiziert. Abb. 1 zeigt beide Größen beispielhaft für Mittenwald-Buckelwiesen. Die Schneehöhen sind als Quadrate dargestellt, die Wasseräquivalente als Rauten. Deutlich sind die Unterschiede zwischen den Messwerten (hellblau) einerseits und den regionalisierten Messwerten (dunkelblau), den SNOW 4-Simulationsresultaten und den Modell-Updates (rot) andererseits zu erkennen. Fallen grüne und rote Kurve zusammen, erfolgte ein Heranziehen des Modells an die regionalisierten Beobachtungen. Diese sind durchgehend höher als die Stationswerte, so dass im

Modell bei einem entsprechenden Update immer wieder eine zu mächtige Schneedecke produziert wurde.

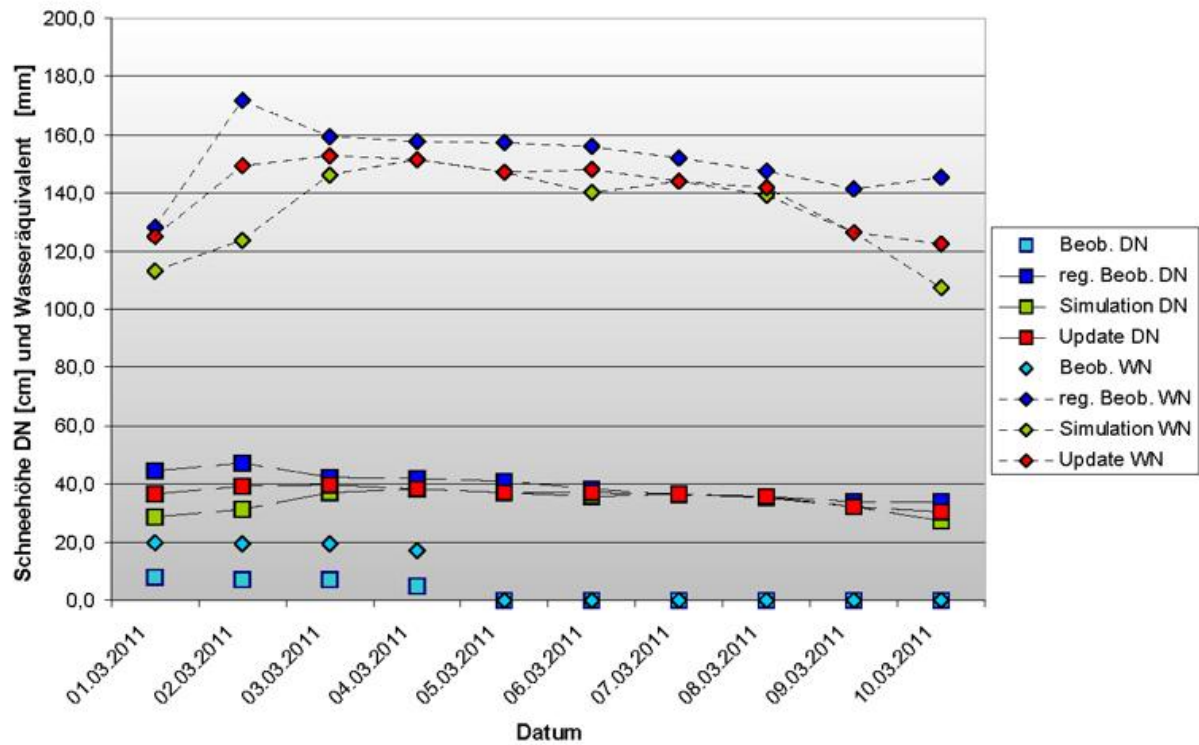


Abbildung 1: Schneehöhe DN [cm] und Wasseräquivalent WN [mm] an Station und Gitterpunkt Mittelwald-Buckelwiesen vom 01.-10. März 2011, Modellversion Winter 2010/11

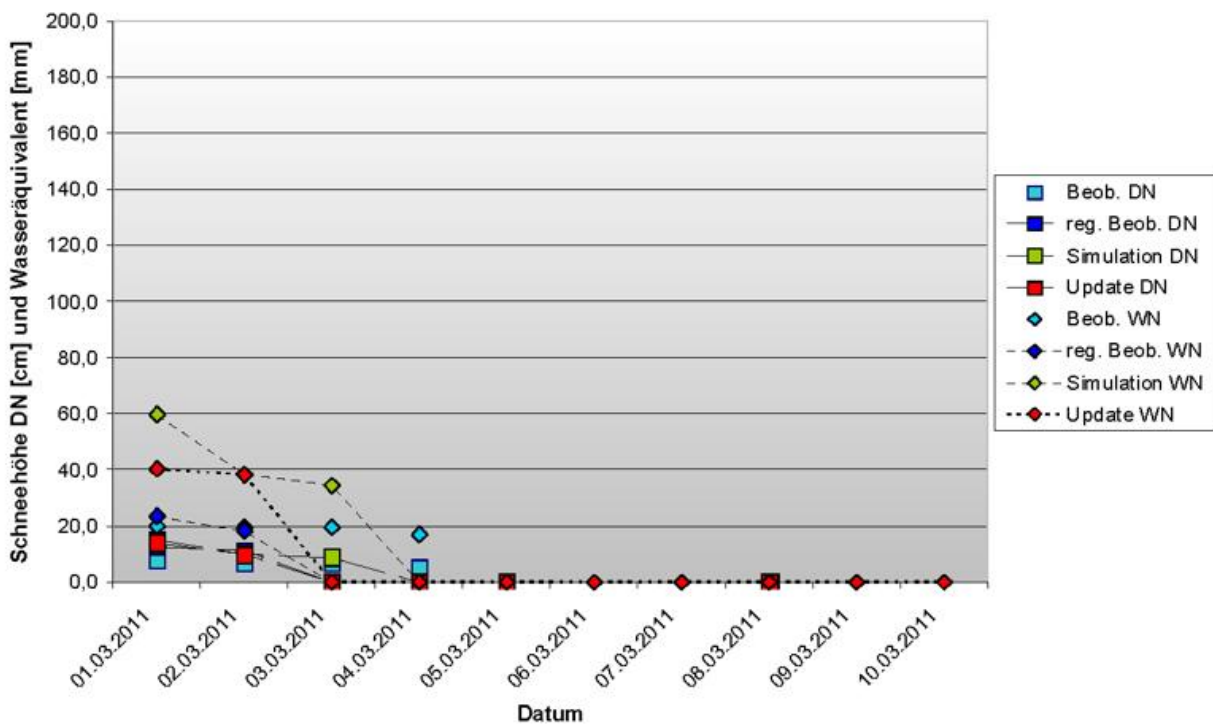


Abbildung 2: Schneehöhe DN [cm] und Wasseräquivalent WN [mm] an Station und Gitterpunkt Mittelwald-Buckelwiesen vom 01.-10. März 2011, Modellversion Winter 2011/12

dadurch zwar um eben diese sechs bzw. zwölf Stunden, die Vorhersage basierte aber auf dem anhand der neuen Messdaten aktualisierten Startzustand.

Besondere Probleme im Zusammenhang mit den Bodendaten sollen hier nur kurz genannt werden:

- ◆ Bei der Schneedatenbereitstellung kann man deutlich die Einschränkungen im Dateninput am Wochenende bzw. Feiertags erkennen.
- ◆ Messstellen innerhalb (hauptamtliche Wetterwarten) und außerhalb Deutschlands melden nahezu einheitlich keine Schneehöhen $D_n = 0$ cm, obwohl solchen Meldungen zur Bestimmung der Schneegrenze hohe Bedeutung zukommt. Ohne diese Informationen werden Schneegebiete unnötig „breit gewischt“. Innerhalb des DWD werden die gewünschten Informationen entweder den Meldungen zum Erdbodenzustand oder den Daten der automatischen Schneehöhensensoren entnommen. Gespräche mit den ausländischen Partnern (MeteoFrance, ZAMG) haben ergeben, dass entsprechende Informationen von diesen Diensten nicht zu bekommen sind.
- ◆ Ebenso liegen außerhalb Deutschlands nur wenige Messungen des Wasseräquivalents vor (Tirol und Vorarlberg). Die von SNOW an solchen Stellen vorgenommenen Extrapolationen verringern definitiv die Genauigkeit der Modellergebnisse. Es ist weiterhin nach zusätzlichen Datenquellen zu suchen.
- ◆ Aus einem Nachbarland (Polen) liegt derzeit noch kein hinreichendes Angebot von Bodendaten vor. Auch hier sind begonnene bilaterale Gespräche fortzusetzen.

3. Stabilität des operationellen Betriebs und Abarbeitungszeiten

Im gesamten Zeitraum kam es zu *keinem* Ausfall des Modells. Bei den in Kapitel 2 erwähnten Terminen mit Datenausfall griffen die Module entweder auf Daten der Vortermine zurück, oder sie versuchten, an Hand der verbliebenen Daten auftretende Lücken zu überbrücken.

Auch die Abarbeitungszeit blieb an den meisten Tagen unterhalb der Stunden-Grenze, wie in Abb. 4 gezeigt wird, was erstens dem relativ schneearmen Winter und zweitens der leistungsfähigeren Hardware, die seit Anfang Januar zum Einsatz kam, geschuldet ist.

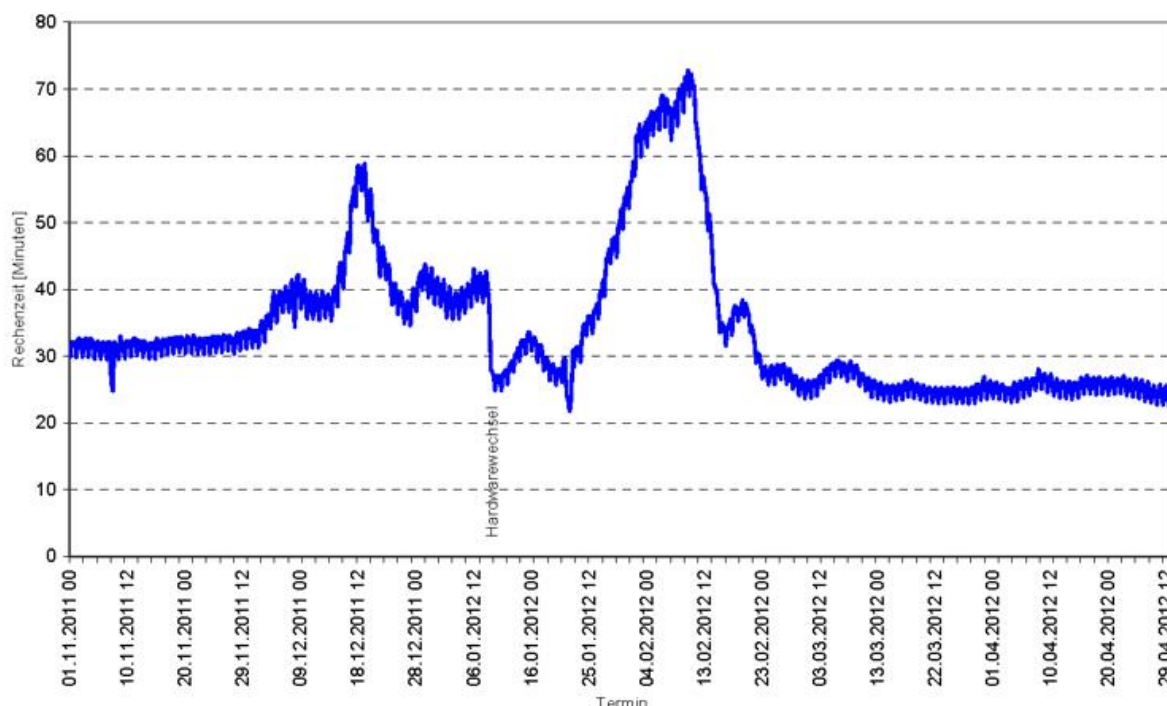


Abbildung 4: Rechenzeit von SNOW 4 in Winter 2011/12

Speziell dieser Aspekt erbrachte eine Reduktion der Rechenzeit um mehr als 30%, wie aus dem Beispiel für die 4 Simulationen vom 19. Dezember 2012 06 UTC – 20. Dezember 2012 00 UTC in Tabelle 1 erkennbar ist:

Tabelle 1: Abarbeitungszeiten des Modells auf der bisherigen (Server alt) und der neuen (Server neu) Hardware-Plattform für einen 24h-Zeitraum im Dezember 2011

Datum	Uhrzeit [UTC]	Abarbeitungszeit [s]	
		Server alt	Server neu
19.12.2011	06:00	3485	2336
19.12.2011	12:00	3528	2348
19.12.2011	18:00	3269	2169
20.12.2011	00:00	3012	2014
Mittel		3324	2217
Einsparung			33,3%

Starttermin für die Abarbeitung der Module war stets genau eine Stunde nach dem jeweiligen Vorhersagezeitpunkt. Der Output für die Nutzer stand mithin in der Regel zwei bis drei Stunden nach dem Vorhersagezeitpunkt auf den FTP-Servern des DWD bereit. Zu dieser Zeit ist noch die Abarbeitungszeit des Moduls *LMRegio* (Anpassung des COSMO-EU-Outputs an das SNOW-Gitter) von etwa 20 Minuten hinzuzurechnen; da es aber in der Regel eine Stunde vor dem Vorhersagezeitpunkt gestartet wird, hat seine Abarbeitungsdauer keinen Einfluss auf die Bereitstellungszeit der Ergebnisdateien.

4. Hydrometeorologische Situation Winter 2011/12

Zur Beurteilung der hydrometeorologischen Situation werden – wie im Abschnitt zur Modellvalidierung weiter unten – regionalisierte Werte des Wasseräquivalents der Schneedecke von 06:00 UTC und keine Stationsbeobachtungen als Referenz verwendet. Es wird dabei postuliert, dass Fehler der Beobachtungen (z.B. Messfehler, Einfluss von Verwehungen) durch die Regionalisierung reduziert werden können. Ebenfalls analog dazu werden für quantitative Aussagen zum Wasseräquivalent nur solche SNOW 4-Gitterboxen berücksichtigt, in denen mindestens eine Referenzstation liegt (maximal 439 Gitterboxen; bis auf Seefeld/Österreich alle in Deutschland). Der betrachtete Zeitraum beginnt zum Modellstart am 05. September 2011 und endet am 30. Juni 2012. Es werden nur Werte des Wasseräquivalents ≥ 10 mm als repräsentativ angesehen und zur Beurteilung der hydrometeorologischen Situation verwendet. Da für das Niederschlagsdargebot keine Messungen verfügbar sind, werden Analysen des Modells SNOW 4 für die 24 Stunden vor dem Termin 06:00 UTC zur Beschreibung dieser Größe herangezogen. Weiterhin beschränkt sich die Analyse des Winters 2011/12 auf Risiko-Situationen mit Tagessummen des Niederschlagsdargebots von mindestens 50 mm innerhalb Deutschlands und auf Ereignisse unter Beteiligung von Schneeschmelzprozessen. Die Analyse der für den Auf- und Abbau einer Schneedecke relevanten Witterung basiert auf entsprechenden Auswertungen des monatlichen Witterungsreports Express des DWD (<http://www.dwd.de/wr>).

Am 18. September 2011 brachten teilweise ergiebige Niederschläge in der Südosthälfte Deutschlands oberhalb von ca. 1000 m in den Alpen erste Schneefälle. Der Schnee lag nur wenige Tage in lokal eng begrenzten Bereichen (z.B. maximale Schneehöhe auf der Zugspitze am 20. September 50 cm) und taute danach rasch ab.

Am 07. Oktober erfolgte ein Kaltluftvorstoß, mit ersten Schneefällen in den Hochlagen der Mittelgebirge (bis 22 cm Schneehöhe auf dem Feldberg im Schwarzwald). In den Alpen schneite es durch Nordstau stark (maximale Schneehöhe auf der Zugspitze 90 cm). Gleichzeitig fiel Regen in Lagen darunter, so dass am 08. und 09. Oktober hohe Niederschlagsdargebote in der Schwäbischen Alb und im Schwarzwald auftraten. Am 09. Oktober erfolgte von

Westen ein Warmluftvorstoß, der in Verbindung mit einem umfangreichen Regengebiet zur raschen Schneeschmelze auf den Mittelgebirgsgipfeln führte. Am 11.10. waren hohe Niederschlagsdargebote ≥ 70 mm an der Alpennordseite zu verzeichnen.

Am 19. Oktober kam es in Verbindung mit der Verlagerung einer Kaltfront nach Süden zu einem deutlichen Temperaturrückgang und einem winterlichen Intermezzo in den Hochlagen des Schwarzwaldes (Feldberg: 24 cm). Am 20. Oktober schmolz der Schnee unter dem Einfluss von Hoch „Ulla“ rasch wieder ab.

Im sehr trockenen November mit stabilen Hochdrucklagen und anhaltenden Inversionen in den Hochlagen der Mittelgebirge und Alpen kam es zu keinen nennenswerten Schneefällen.

Im zu warmen Dezember fielen übernormal viele Niederschläge nur teilweise als Schnee und führten in den oberen Lagen der Mittelgebirge und in den Alpen zur Ausbildung einer durchgängig bis Anfang März vorhandenen Schneedecke. In der ersten Dezemberhälfte überquerten rasch aufeinanderfolgend mehrere Tiefdruckgebiete Deutschland. Ab 05.12.2011 begann mit Schauerniederschlägen in kalter Meeresluft die Entwicklung einer Schneedecke in weiten Bereichen der Mittelgebirge und der Alpen. Die Passage der Frontensysteme der Tiefs führte zu einem Wechsel von Abbau und Regeneration der Schneedecke, meist ohne nennenswerte Beiträge der Schneeschmelze zum Niederschlagsdargebot. Lediglich im Schwarzwald waren am 10. Dezember aus der Kombination von Schneeschmelze und hohen Niederschlägen als Schneeregen beim Durchzug der Kaltfront des Orkantiefs „Friedhelm“ (Feldberg: 71 mm) hohe Niederschlagsdargebote zu verzeichnen.

Am 15. Dezember floss Kaltluft ein, die in den Mittelgebirgen Schneefall mit sich brachte. Es folgte die Passage von Sturmtief „Joachim“, mit weiteren Schneefällen in den nördlichen Mittelgebirgen. Im Süden fielen die Niederschläge als Regen und verursachten am 16. und 17. Dezember speziell im nördlichen Schwarzwald hohe Niederschlagsdargebote.

Auf der Rückseite des Sturmtiefs drang feuchte und kühle Meeresluft nach Deutschland vor. Damit verbunden waren insbesondere im Bergland verbreitet Schneefälle. Es folgte am 20. Dezember das Tief „Louis“ mit einem ausgeprägten Schneefallgebiet. Die Schneedecke hatte um diese Zeit in Deutschland ihre größte Ausdehnung erreicht, wobei der Nordosten mit Ausnahme der Mittelgebirge noch schneefrei blieb (Abb. 5). In der Folge floss erneut milde

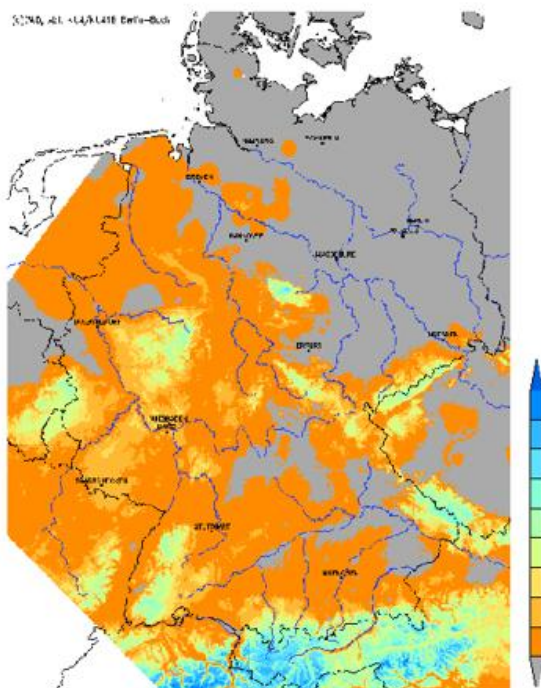


Abbildung 5: regionalisierte gemessene Schneehöhe [cm] am 20.12.2011 06 UTC

Luft ein, die vor allem im Nordschwarzwald mit ergiebigen Niederschlägen verbunden war. Am 23. Dezember wurde dort eine Tagessumme von über 70 mm registriert, die erneut zu hohen Niederschlagsdargeboten in dieser Region führte.

Die regnerische und warme Witterung führte dazu, dass es verbreitet in tiefen und mittleren Lagen keine weiße Weihnacht gab, ohne dass (mit Ausnahme des Nordschwarzwaldes) beim Abtauen der im Flachland oft nur wenige Zentimeter hohen Schneedecke mit Wasseräquivalenten von höchstens 10 mm größere Mengen an Niederschlagsdargebot freigesetzt wurden.

Bis 29. Dezember ging die Schneedecke unter dem Einfluss von milden Luftmassen und danach im Bereich des Nordrandes des Hochs „Cora“ bei Ausbildung von Inversionen weiter zurück.

Kurz vor dem Jahreswechsel brachte ein weiteres Niederschlagsgebiet den Mittelgebirgen erneut Schneefälle, die die Schneedecke z.B. auf dem großen Arber auf 135 cm, auf dem

Feldberg auf 95 cm und auf dem Brocken auf 116 cm anwachsen ließ. Anschließend überquerte am 31. Dezember eine Warmfront mit umfangreichen Niederschlägen südlich einer Linie Osnabrück – Schwarzenberg/Vogtland Deutschland, die bis auf den Südosten überwiegend als Regen fielen.

Schneesmelze und Regen verursachten, wie aus Abb. 6 ersichtlich, am 01. Januar 2012 hohe Werte des Niederschlagsdargebots im Schwarzwald und am Oberlauf der Iller. Am 02. Januar setzte sich das Tauwetter in der milden Luft fort und erbrachte zusammen mit Regen erneut Niederschlagsdargebote ≥ 50 mm in den Hochlagen von Schwarzwald, Harz, Thüringer Wald und Rothaargebirge.

Am 04.01. 06 UTC führte Starkregen am Vortag im Schwarzwald nochmals zu hohen Summen des Niederschlagsdargebots für den 24-stündigen Zeitraum davor. So wurden z.B. auf dem Feldberg am 03.01. bei Schneereggen 34 mm registriert.

Der wiederholte Durchzug von Tiefdruckgebieten bzw. Hochdruckwetter mit geringen Niederschlägen verhinderten bis zum letzten Monatsdrittel die Ausbildung einer Schneedecke bis in die Niederungen.

Am 19. Januar brachte Sturmtief „Fabienne“ erneut ergiebige Regenfälle und milde Luft nach Deutschland, die zusammen am 20. Januar für hohe Werte des Niederschlagsdargebots im

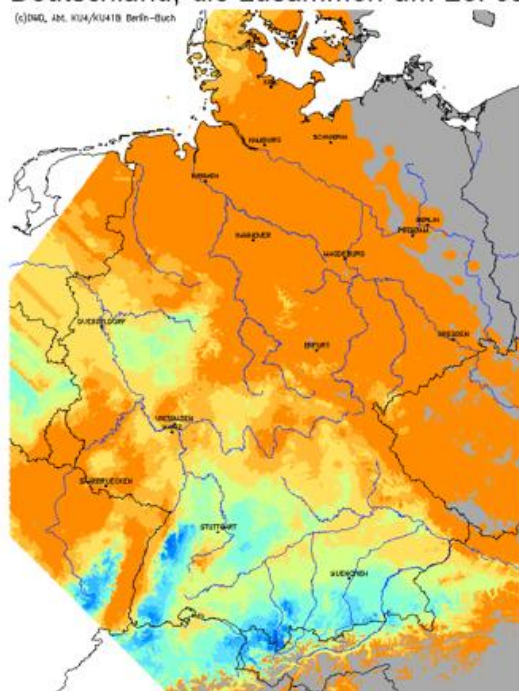


Abbildung 6: Summe des Niederschlagsdargebots [mm] für die 24 Stunden bis 01.01.2012 06 UTC

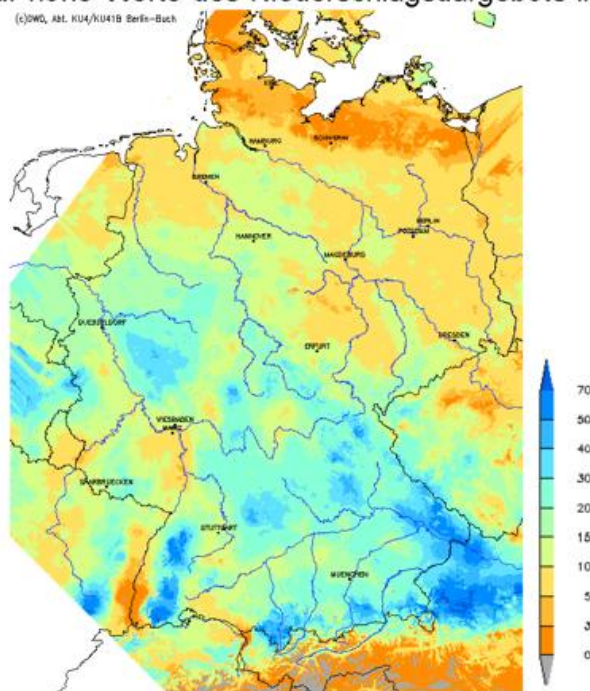


Abbildung 7: Summe des Niederschlagsdargebots [mm] für die 24 Stunden bis 20.01.2012 06 UTC

Schwarzwald, im Bayerischen Wald und am Alpennordrand sorgten (Abb. 7).

Am 20. Januar ließen die Schneefälle der Kaltfront des Tiefs die Schneedecke in den Mittelgebirgen und in Süddeutschland vorübergehend anwachsen.

Am 21. Januar drang Warmluft aus Westen ein, die – wiederum im Schwarzwald – zu Tauwetter bis in die Hochlagen und hohen Niederschlagsdargeboten führte.

Zum Ende des Monats setzte sich von Osten her im Einflussbereiches eines Hochs allmählich Kaltluft durch. Vor der Luftmassengrenze kam es zu Schneefällen von Schleswig-Holstein bis Süddeutschland. Die Schneedecke breitete sich in einem von Norden nach Süden verlaufenden Streifen mit seinem Zentrum auf einer Linie von Schwerin nach München aus. In der Folge weiteten meist schwache Schneefälle bei frostigen Temperaturen die

Schneeflächen mit einzelnen Lücken bis zur Monatsmitte auf fast ganz Ost- und Südostdeutschland aus (Abb. 8).

Vom 12. Februar an führten Tiefausläufer von Nordwesten her allmählich wieder Warmluft

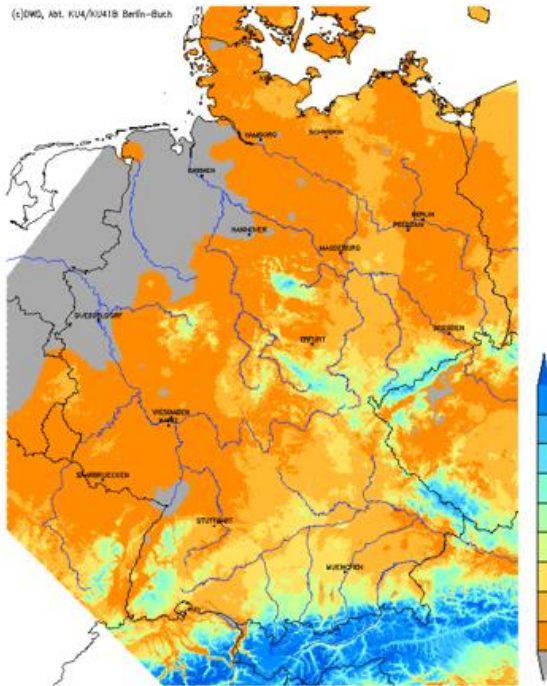


Abbildung 8: regionalisierte gemessene Schneehöhe [cm] am 14.02.2012 06 UTC

heran, die anfangs neue Schneefälle und später Regen und einsetzendes Tauwetter brachten. Bis Ende Februar zog sich unter teilweisem Hochdruckeinfluss besonders im Süden die Schneedecke allmählich bis in die höheren Regionen der Mittelgebirge und die Alpen zurück, wobei nur relativ geringe Niederschlagsdargebote verursacht wurden.

Im März dominierten Hochdruckgebiete, die eine insgesamt zu warme Witterung bedingten und die neuerliche Ausbildung einer nennenswerten Schneedecke außerhalb dieser Bereiche verhinderten. Bis Ende März zog sich die Schneebedeckung auch dort deutlich zurück.

Ende des Monats überquerten Tiefausläufer Deutschland. Damit verbundene Regenfälle und Tauwetter bedingten in den Bayerischen Voralpen und im Chiemgau erhöhte Werte des Niederschlagsdargebots.

Zwischen dem 07. und 13. April kam es beim Durchzug von Tiefs kurzzeitig zu einer geringfügigen Regeneration der Schneedecke im Bergland von Harz, Erzgebirge, Bayerischen

Wald und im Alpenvorland. Im weiteren Verlauf nahm die Schneebedeckung wieder ab. Die Schneeschmelze wurde Ende des Monats durch aus Süden einfließende sehr warme Luft begünstigt.

Am 28. und 29. April traten letztmalig, diesmal in den Bayerischen Voralpen und im Berchtesgadener Land und lokal sehr begrenzt, durch Tauwetter verursachte hohe Niederschlagsdargebote auf.

Anfang Mai hatte sich der Schnee in die Alpen zurückgezogen und kehrte nur am 16. und 17. Mai kurz in die Hochlagen von Schwarzwald und Bayerischen Wald zurück.

Zusammenfassend war der Winter 2011/12 nicht durch eine ununterbrochene Schneebedeckung mit anschließender Tauphase, sondern eher durch ein mehrfaches Anwachsen und Abtauen der Schneedecke charakterisiert. Diese war in den verschiedenen Höhenlagen entsprechend auch von unterschiedlichen Andauern gekennzeichnet.

Für die oberen Lagen der Mittelgebirge und der Alpen wird das Vorhandensein von mindestens 10 Stationen mit Messungen der Schneehöhe und Schneedichte > 0 als repräsentativ postuliert. Mit diesem Kriterium wurde an 359 Terminen und im Mittel an 129 Stationen eine Schneedecke analysiert. Sie lag mit einer Unterbrechung von maximal 4 Tagen vom 06. Dezember 2011 bis zum 13. März 2012.

Eine weiter ausgedehnte Schneedecke mit einer Mindestanzahl von 25 Stationen mit Schneemessungen wird als repräsentativ auch für tiefere Lagen der Mittelgebirge angesehen. Dieses Kriterium wurde an lediglich 155 Terminen und im Mittel an 224 Stationen erfüllt. Dabei zog sich der Schnee mehrfach in höhere Lagen zurück. Eine erste Periode mit einer derart ausgedehnten Schneedecke trat vom 19. bis zum 23. Dezember auf. Danach wurde lediglich zu Silvester und nach dreiwöchiger Pause erneut am 21. Januar sowie vom 24. Januar bis 24. Februar 2012 eine entsprechende Schneebedeckung registriert.

Zur Beurteilung der größten Werte der Schneehöhe über die gesamte betrachtete Winterperiode wird das mit der schneebedeckten Fläche gewichtete Mittel aller Schneehöhen > 0 cm im SNOW-Gitter verwendet. Diese Größe erscheint aussagekräftiger als das einfache arithmetische Mittel, wo z.B. Verzerrungen in Situationen möglich sind, wenn nur wenige Bergstationen hohe Werte aufweisen.

Die größten Schneehöhen traten um den 17. Februar auf, nachdem Ausläufer des Sturmtiefs „Olivia“ den Mittelgebirgen und Süddeutschland teils ergiebigen Neuschneemengen und im weiteren Verlauf eine Warmfront dem südlichen Bayern weitere Schneefälle brachte. Die räumliche Verteilung ist Abb. 9 ersichtlich.

Die höchsten Wasseräquivalente der Schneedecke waren zum gleichen Termin zu verzeichnen (Abb. 10); dazu trug sicherlich auch die Tatsache bei, dass ein Teil der Niederschläge als Regen fiel und vorübergehend in der Schneedecke zurückgehalten werden konnte.

Die hohen Wasseräquivalente der Schneedecke Mitte Februar wurden allerdings bedingt durch die wechselhafte Witterung in der zweiten Februarhälfte eher allmählich abgebaut und beschränkten sich – wie oben bereits erwähnt – nach dem 24. Februar auf die höheren Lagen der Mittelgebirge und die Alpen. Daher resultierten aus diesem Potential großräumig keine hohen Werte des Niederschlagsdargebots.

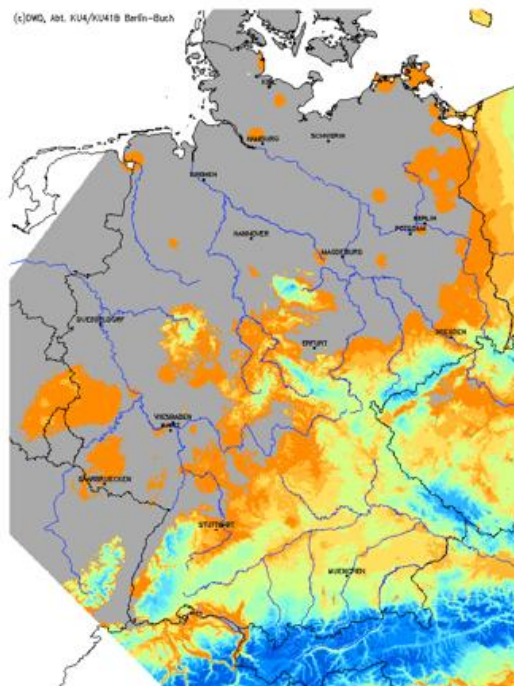


Abbildung 9: regionalisierte gemessene Schneehöhe [cm] am 17.02.2012 06 UTC

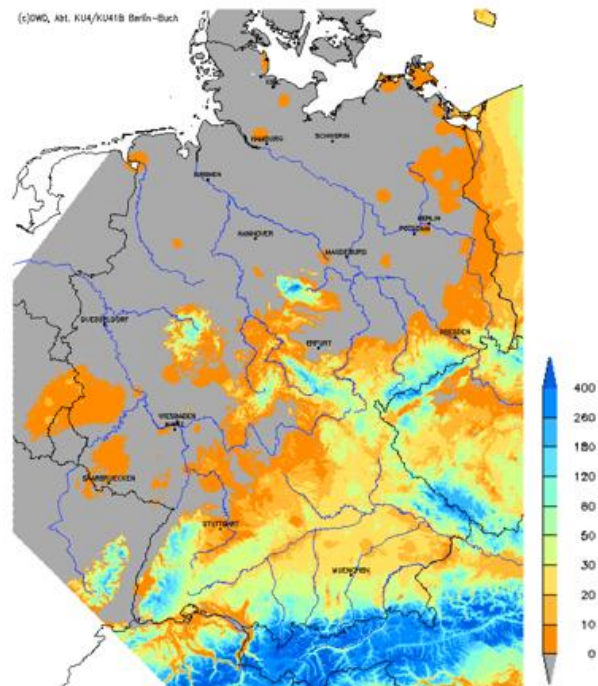


Abbildung 10: regionalisiertes gemessenes Wasseräquivalent [mm] am 17.02.2012 06 UTC

5. Modellverifikation

Im Folgenden werden die Ergebnisse eines Vergleichs der im Winter 2011/12 (September bis Mai) berechneten Modellwerte von SNOW, Version 4, mit den zeitnah gesicherten Schneedeckenwerten des Lokalmodells COSMO-EU und den regionalisierten Messwerten präsentiert.

Basis des Vergleichs sind – wie in den Vorjahren – die regionalisierten Messwerte. Die Unterschiede zwischen diesen Referenzwerten, den Messwerten und Modelldaten sind in Tabelle 2 zusammengefasst. Dabei fließen nur Daten aus SNOW-Gitterboxen ein, in denen sich mindestens eine der 439 verfügbaren Messstationen befindet. Es werden nur Termine

betrachtet, an denen eine bestimmte Mindestanzahl von Schneemessungen vorliegt, um die Repräsentanz der Ergebnisse zu gewährleisten. Konsistent zu Kapitel 4 wird auch für die Modellverifikation das Vorhandensein von mindestens 10 Stationen mit Messungen sowohl der Schneehöhe als auch der Schneedichte > 0 als repräsentativ für die oberen Lagen der Mittelgebirge und der Alpen postuliert, und eine weiter ausgedehnte Schneedecke mit einer Mindestanzahl von 25 Stationen mit Schneemessungen wird als repräsentativ auch für tiefere Lagen der Mittelgebirge angesehen.

Die Mittelwerte der Stations-Messwerte und der regionalisierten Werte erweisen sich als weitgehend identisch. Dieser Effekt ist vorrangig der Verwendung des neuen SRTM-basierten Höhenmodells und den Änderungen der Parameter für das Interpolationsmodul zuzuschreiben. Bemerkenswert ist auch der trotz einer verhältnismäßig großen Varianz der Messungen geringe Wert des mittleren quadratischen Fehlers *rmse*.

Tabelle 2: Abweichungen des Wasseräquivalents W_n [mm] für die unterschiedlichen Modelle im Winter 2011/2012 (Auswertung von insgesamt 1062 Terminen vom 05.09.2011 bis 31.05.2012; N = mittlere Anzahl der berücksichtigten Stationen; μ = Mittelwert der Abweichungen; σ = Standardabweichung; *rmse* = mittlerer quadratischer Fehler)

Wasseräquivalent [mm] im Winter 2011 / 2012	≥ 10 Messwerte (359 Termine)			≥ 25 Messwerte (155 Termine)		
	N	μ	<i>rmse</i>	N	μ	<i>rmse</i>
Primärstatistik der regionalisierten Werte [mm]	129	84,8	$\sigma = 152,2$	224	44,6	$\sigma = 113,2$
Absolute Differenzen [mm Wasseräquivalent W_n]						
Messwerte – regionalisierte Werte	30	0,0	0,6	50	0,0	0,8
COSMO-EU – regionalisierte Werte	129	-48,6	130,6	224	-9,3	89,3
SNOW 4 – regionalisierte Werte	129	-4,4	26,8	224	-0,5	13,5
Relative Differenzen [% von Mittelwert μ der Primärstatistik]						
COSMO-EU – regionalisierte Werte	–	-57,3	154,0	–	-20,8	200,1
SNOW 4 – regionalisierte Werte	–	-5,1	31,6	–	-1,2	30,2

Im Hinblick auf die Übereinstimmung von SNOW mit den regionalisierten Werten ist eine relativ gute Übereinstimmung festzustellen. Abweichungen erreichen *im Durchschnitt* gerade einmal 5 %. Die Differenz von -1,2 % bei den Terminen mit mehr als 25 Messungen ist nahezu vernachlässigbar.

Bei Einbeziehung der Termine mit weniger starker Schneebedeckung ist die Tendenz der Modelle zur Unterschätzung der durch Messung belegten Verhältnisse zu erkennen – wobei die Abweichung der COSMO-EU-Daten deutlich stärker ist.

Der **Root Mean Square Error (rmse)** beträgt unabhängig von der Ausbreitung der Schneedecke etwa ein Drittel der Flächenmittel und ist damit vergleichbar zu den Werten des vergangenen Winters.

Um die Qualität der Modellresultate in ihrem zeitlichen Verlauf und insbesondere beim Auf- und Abbau der Schneedecke beurteilen zu können, wurden Zeitreihen des Wasseräquivalents der Schneedecke an Beispielstationen in interessierenden Subregionen des Modellgebiets, die verschiedenen Höhenstufen angehören, analysiert. Als Referenz wurden wiederum die regionalisierten Messwerte verwendet und sowohl SNOW 4-Resultate als auch COSMO-EU-Ergebnisse betrachtet.

Abb. 11 zeigt die Ergebnisse dieser Analyse für den nördlichen Schwarzwald, eines der Gebiete, die im Winter 2011/12 häufig von verhältnismäßig hohen Niederschlagsdargeboten betroffen waren. Die meisten der zahlreichen Akkumulations- und Tauphasen werden von beiden Modellen erfasst. COSMO-EU zeigt eine Neigung zur Unterschätzung der Werte im Januar 2012 und zum zu frühen Abbau der Schneedecke im Februar 2012. Im zeitlichen Mittel simuliert SNOW 4 ein um 0,3 mm bzw. 2,3 % zu hohes, COMSO-EU ein um 5,2 mm bzw. 42,5 % zu niedriges Wasseräquivalent. Die Differenzen verhalten sich damit in dieser Region anders als das Gebietsmittel.

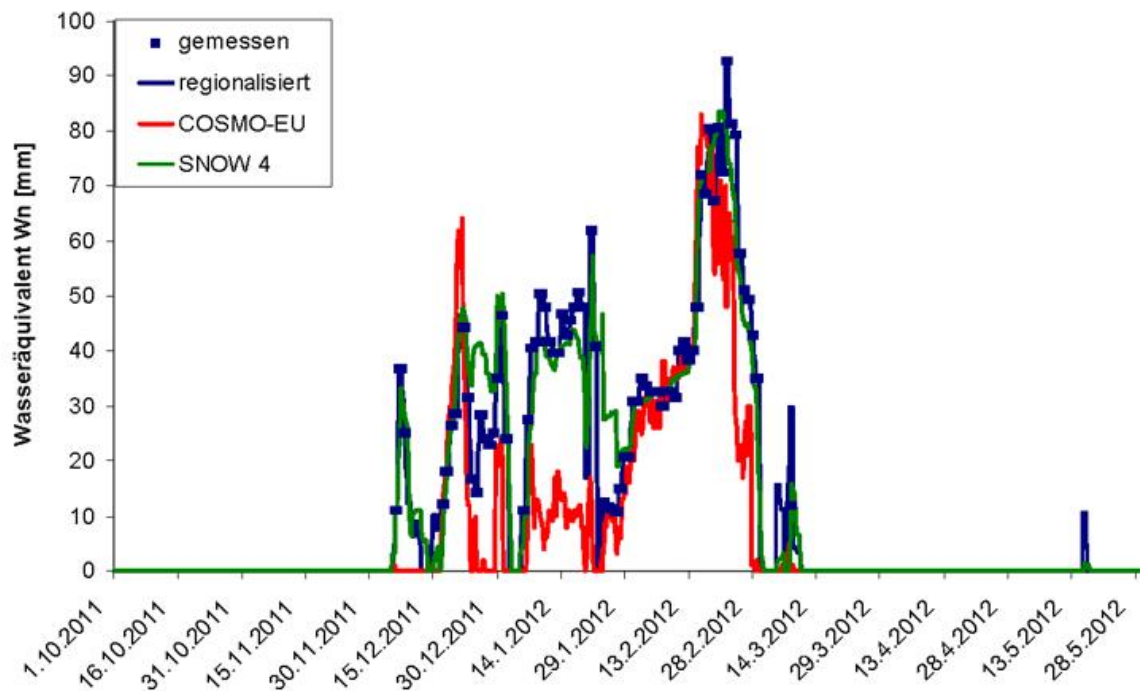


Abbildung 11: Zeitverlauf des Wasseräquivalents der Schneedecke an der Station Freudenstadt im Winter 2011/12

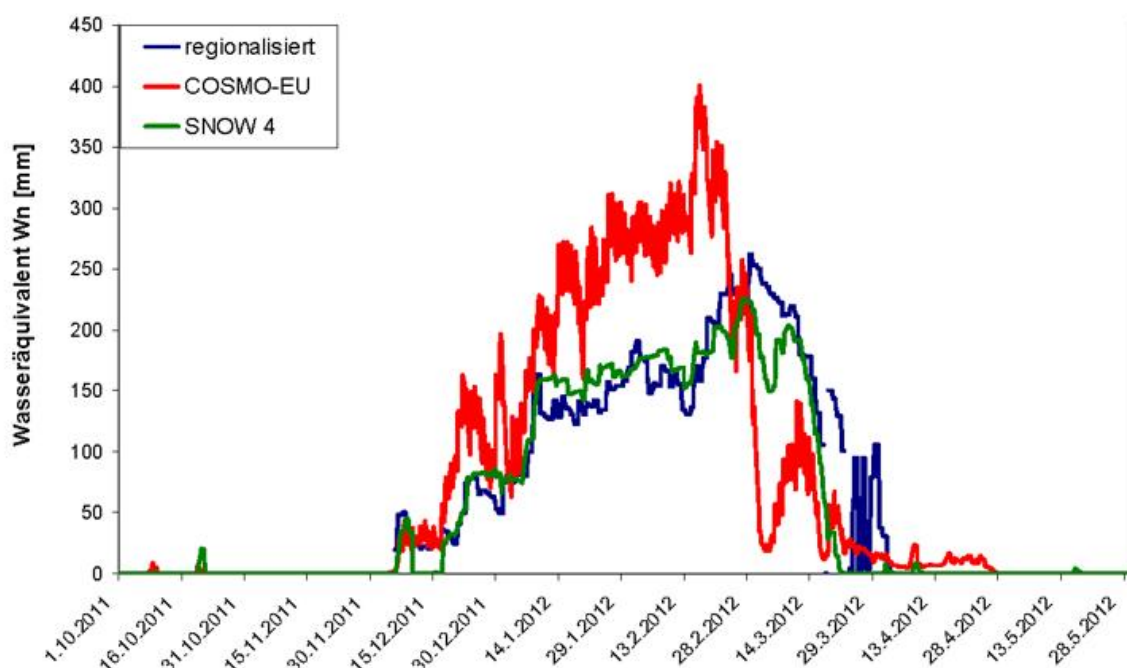


Abbildung 12: Zeitverlauf des Wasseräquivalents der Schneedecke an der Station Mittenwald-Buckelwiesen im Winter 2011/12

Als Beispiele aus dem alpinen Bereich wurden die Gitterboxen untersucht, in denen die Stationen Mittenwald-Buckelwiesen und Seefeld liegen. Aus Abb. 12 ist ersichtlich, dass sich die Modelle im Bereich Mittenwald-Buckelwiesen qualitativ invers zur Station Freudenstadt verhalten, allerdings bei höheren regionalisierten Wasseräquivalenten in einer durchgängigen Periode mit Schneebedeckung und einer allmählicher verlaufenden Tauphase. Quantitativ unterschätzt SNOW 4 das zeitliche Mittel der regionalisierten Messwerte um 4,6 mm bzw. 7,6 %, wohingegen COSMO-EU dieses um 14,6 mm bzw. 23,9 % überschätzt. Messungen des Wasseräquivalents für weitergehende Diagnosen waren im betrachteten Zeitraum an beiden Stationen nicht verfügbar. Im Gitterelement, das die Station Seefeld beinhaltet, ist gemäß Abb. 13 ebenfalls eine Periode durchgehender Schneebedeckung mit deutlich höheren Maxima zu verzeichnen. Für COSMO-EU ist wie schon für Mittenwald-Buckelwiesen ein spürbarer Phasenfehler zu erkennen, und das Modell unterschätzt den zeitlich gemittelten Referenzwert im Mittel um 39,1 mm bzw. 31,0 %. Auch SNOW 4 unterschätzt hier das Wasseräquivalent, allerdings lediglich um 4,1 mm bzw. 3,2 %. Beide Beispiele zeigen, dass die Repräsentanz von punktuellen Analysen zumindest in stark strukturiertem Gelände auch bei nur ca. 200 m Höhenunterschied zwischen beiden Stationen begrenzt ist, im vorliegenden Fall auf einen Radius von weniger als etwa 18 km.

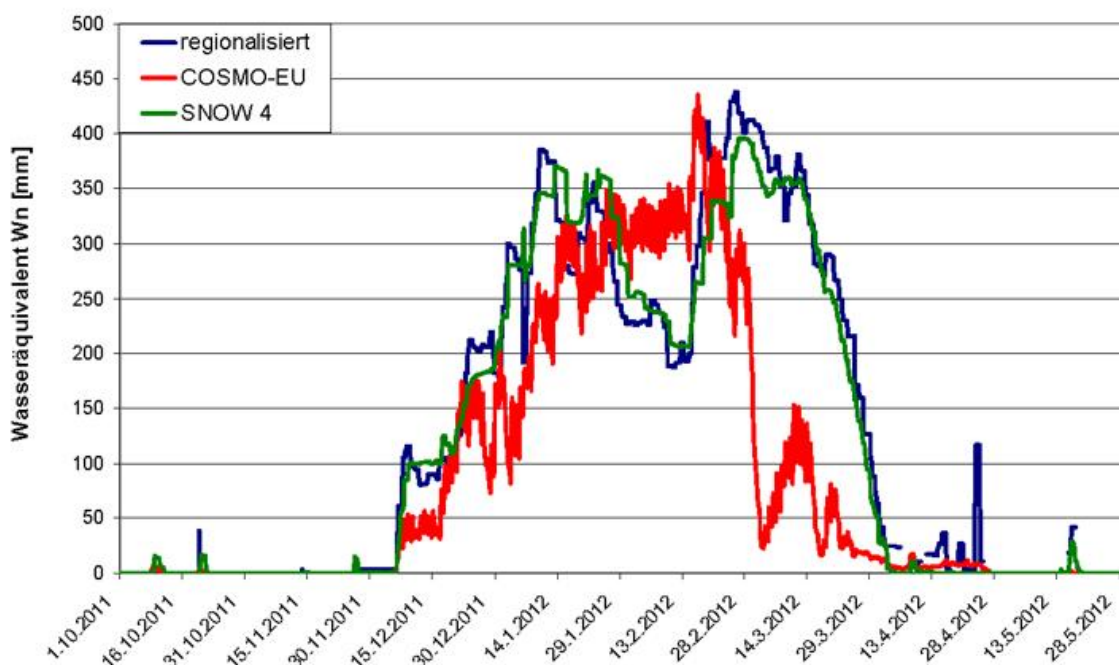


Abbildung 13: Zeitverlauf des Wasseräquivalents der Schneedecke an der Station Seefeld im Winter 2011/12

Ein Beispiel aus dem Mittelgebirgsraum zeigt Abb. 14. In der Gitterbox, in welcher sich die Station Chemnitz befindet, wurden im vergangenen Winter 2010/11 Maxima des Wasseräquivalents der Schneedecke von über 140 mm um den 9. Januar ermittelt, die innerhalb weniger Tage mit entsprechend hohen Niederschlagsdargeboten freigesetzt wurden. Im aktuellen Winter erreichten die Höchstwerte mit ca. 30 mm lediglich 21 % davon. Trotz des ebenfalls relativ raschen Abtauens nahezu der gesamten Schneedecke um den 20. Februar 2012 kam es deshalb nicht zu ähnlich hohen Werten des Niederschlagsdargebots. Sowohl COSMO-EU als auch SNOW 4 überschätzen hier die Wasseräquivalente, wobei das erstere mit 1,0 mm etwa 79,8 % über den regionalisierten Beobachtungen liegt, das letztere mit 0,2 mm um 12,8 %. Im letzten Winter hatte SNOW 4 demgegenüber um ca. 5 % zu niedrige Werte und COSMO-EU um ca. 41 % zu hohe Werte berechnet.

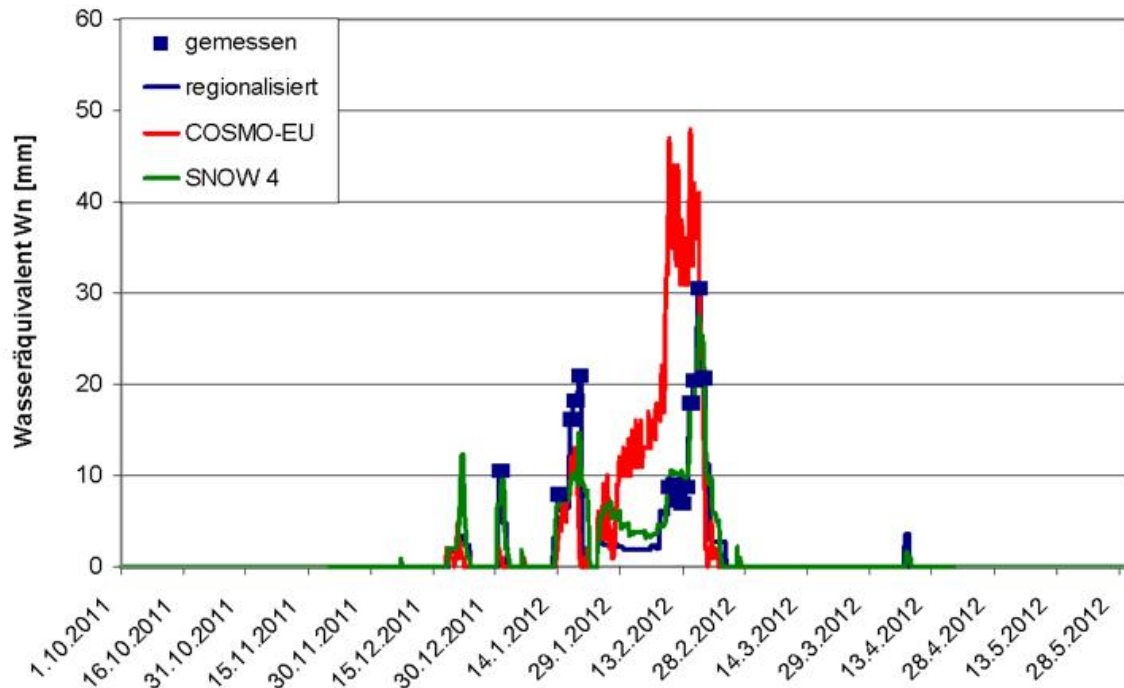


Abbildung 14: Zeitverlauf des Wasseräquivalents der Schneedecke an der Station Chemnitz im Winter 2011/12

Abb. 15 zeigt abschließend Magdeburg als Beispiel aus dem Norddeutschen Tiefland. Der Verlauf der sehr kurzen Periode der Schneebedeckung vom 28. Januar bis 14. Februar 2012 mit noch niedrigeren Wasseräquivalenten der Schneedecke von maximal 15 mm wird von beiden Modellen mit einer leicht verzögerten Abtauphase verhältnismäßig gut wiedergegeben. Allerdings überschätzt COSMO-EU mit 0,3 mm das mittlere Wasseräquivalent um 56,3 %, SNOW 4 mit 0,1 mm immerhin noch um 16,4 %.

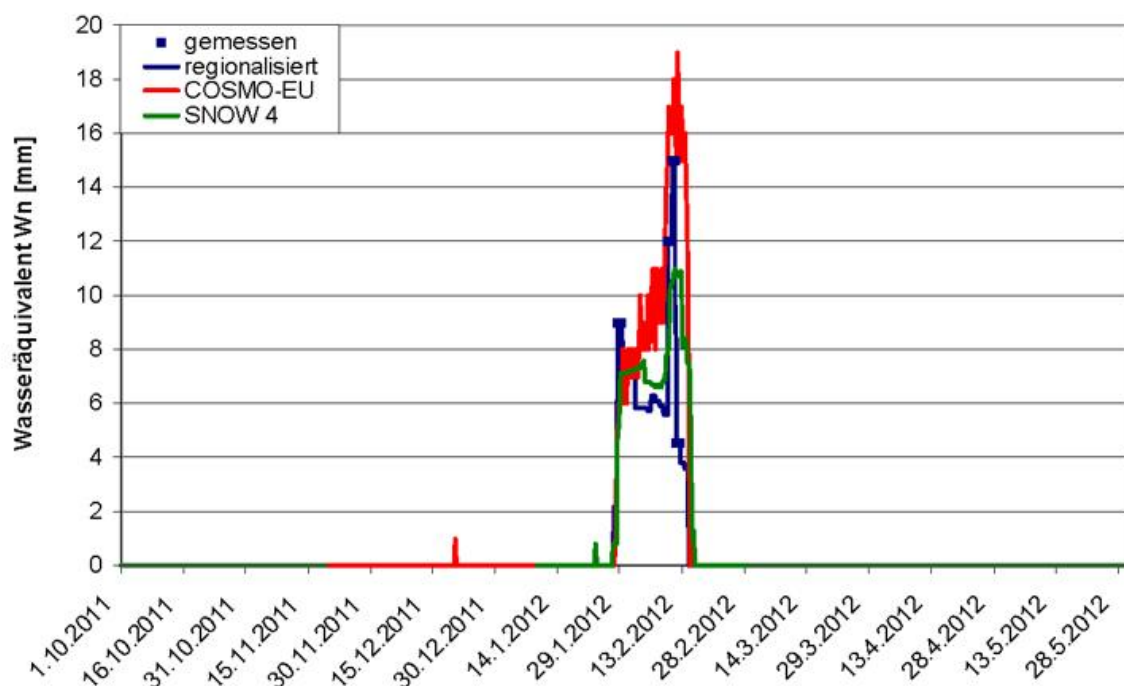


Abbildung 15: Zeitverlauf des Wasseräquivalents der Schneedecke an der Station Magdeburg im Winter 2011/12

6. Zusammenfassung

Für den Winter 2011/12 wurden in SNOW, Version 4.0 ein neues Höhenmodell, Änderungen der Parameter für die Interpolation von Stationsdaten auf das Modellgitter und eine Datenergänzung für fehlende Messwerte der Schneehöhe und des Wasseräquivalents der Schneedecke implementiert. Die Auswirkungen dieser Modifikationen wurden punktuell für den alpinen Bereich und eine 10-Tages-Periode des letzten Winters untersucht und erbrachten dort eine deutliche Verbesserung der Ergebnisse sowohl der Regionalisierung als auch der Modellsimulation.

Die Eingangsdatenbereitstellung für das Modell erfolgte über den ganzen Winter stabil – bis auf zwei Fälle, deren Ursache außerhalb des Modells lag – einmal wegen eines Ausfalls im AFD-Dienst des DWD und zum anderen Mal, weil der COSMO-EU-Output nicht zeitgerecht verfügbar war. Die Datenbasis konnte um Daten aus Hessen, Tirol und Vorarlberg erweitert werden.

Das Modell arbeitete im gesamten Zeitraum im operationellen Betrieb stabil und ohne Ausfall. Die Rechenzeit blieb meist unter 1 Stunde. Der Übergang zu neuer Hardware erbrachte Einsparungen von ca. 30 %. Der Output war in der Regel zwei bis drei Stunden nach dem Vorhersagezeitpunkt verfügbar.

Die hydrometeorologische Situation im Winter 2011/12 war nicht durch eine ununterbrochene Schneebedeckung mit anschließender Tauphase, sondern eher durch ein mehrfaches Anwachsen und Abtauen der Schneedecke mit unterschiedlichen Andauern der Schneebedeckung in den verschiedenen Höhenlagen gekennzeichnet. In den oberen Lagen der Mittelgebirge und der Alpen lag – mit einer Unterbrechung von maximal 4 Tagen – Schnee vom 06. Dezember 2011 bis zum 13. März 2012. In den tieferen Lagen der Mittelgebirge trat eine erste Periode mit einer Schneedecke vom 19. bis zum 23. Dezember auf. Danach wurde lediglich zu Silvester und nach dreiwöchiger Pause erneut am 21. Januar und dann vom 24. Januar bis 24. Februar 2012 eine entsprechende Schneebedeckung registriert.

Die größten Schneehöhen traten um den 17. Februar auf, und auch die höchsten Wasseräquivalente waren zum gleichen Termin zu verzeichnen. Die Schneedecke taute ab Mitte Februar eher allmählich ab; ihre Verbreitung beschränkte sich nach dem 24. Februar auf die höheren Lagen der Mittelgebirge und die Alpen. Hohe Werte des Niederschlagsdargebots aus der Schneeschmelze traten nur regional begrenzt und nicht großräumig auf.

Bei der Modellverifikation nach verschiedenen Kriterien der Schneebedeckung wurden für das Wasseräquivalent mittlere Fehler von SNOW 4 diagnostiziert, die maximal bei ca. 5 % des Mittels der regionalisierten Beobachtungen lagen. Sie erwiesen sich damit ebenfalls in beiden Fällen um mehr als den Faktor 10 kleiner als die entsprechenden Fehler für die Resultate des COMSO-EU. Der *rmse* beträgt etwa ein Drittel der Flächenmittel der Referenzdaten und ist damit vergleichbar zu den Resultaten für den vergangenen Winter.

Die Qualität der Modellresultate in ihrem zeitlichen Verlauf und insbesondere beim Auf- und Abbau der Schneedecke wurde an Hand von Zeitreihen des Wasseräquivalents an Beispielstationen in interessierenden Subregionen des Modellgebiets mit Zugehörigkeit zu verschiedenen Höhenstufen analysiert. In allen untersuchten Fällen erbrachte SNOW 4 im Vergleich die besten Resultate. Im alpinen Bereich konnte darüber hinaus ein geringer Repräsentanzbereich punktueller Analysen von weniger als etwa 18 km identifiziert werden. Weiterhin kann das Modell in verschiedenen Wintern an identischen Orten mittlere Fehler unterschiedlicher Vorzeichen aufweisen.