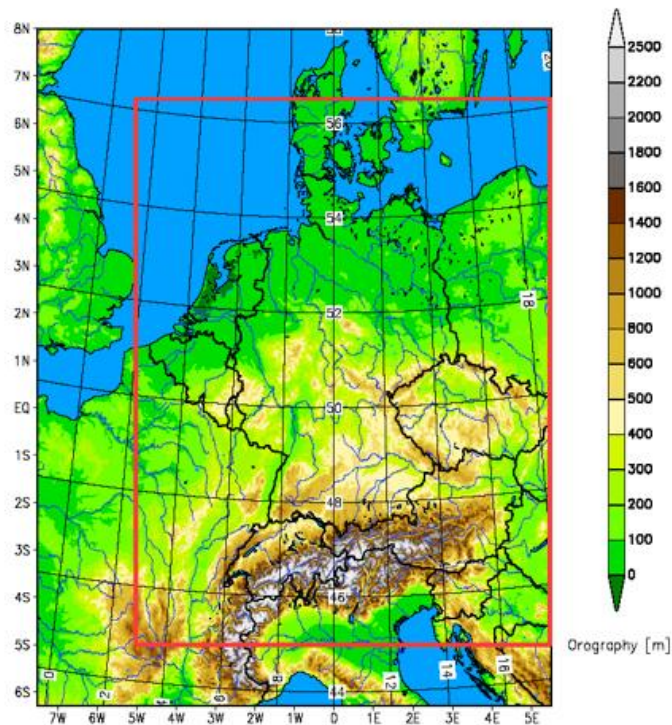


---

Kurze Beschreibung des *präoperationellen*  
Kürzestfristvorhersagemodells COSMO-D2  
und seiner Datenbanken  
auf dem Datenserver des DWD

M. Baldauf, B. Ritter, C. Schraff



Version 0.9, 29.05.2017

---

Deutscher Wetterdienst  
Geschäftsbereich Forschung und Entwicklung  
Postfach 100465  
D-63004 Offenbach

**Deutscher Wetterdienst**  
Wetter und Klima aus einer Hand



## Änderungsverfolgung:

Version	Datum	Bearbeiter	Anlass
0.8	23.05.17	Michael Baldauf Bodo Ritter Christoph Schraff	Erstellung zum prä-operationellen COSMO-D2-Betrieb; vorläufige Version
0.9	29.05.17	Detlev Majewski	Lektorat des gesamten Dokuments

# Inhalt

<b>1</b>	<b>Vorbemerkungen</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Modellformulierung</b>	<b>3</b>
2.1	Grundzustand und Koordinatensystem . . . . .	3
2.2	Modellgleichungen . . . . .	4
2.3	Diskretisierung und zeitliche Integration . . . . .	5
2.4	Physikalische Ausstattung . . . . .	8
2.4.1	Strahlung . . . . .	8
2.4.2	Skaliger Niederschlag . . . . .	9
2.4.3	Feuchtkonvektion . . . . .	10
2.4.4	Partielle Bewölkung . . . . .	11
2.4.5	Vertikale turbulente Flüsse . . . . .	12
2.4.6	Bodenprozesse . . . . .	13
2.5	Externe Parameter . . . . .	13
<b>3</b>	<b>Anfangszustand und Randdaten</b>	<b>15</b>
3.1	Interpolierte Anfangsbedingungen und Initialisierung . . . . .	15
3.2	Datenassimilation . . . . .	15
3.2.1	KENDA-LETKF . . . . .	15
3.2.2	Latent Heat Nudging . . . . .	16
3.2.3	Variationelle Bodenfeuchteanalyse . . . . .	17
3.2.4	Weitere externe Analysen . . . . .	17
3.3	Randdatenversorgung . . . . .	17
<b>4</b>	<b>Horizontale und vertikale Gitterstruktur</b>	<b>18</b>
4.1	Horizontales Gitter . . . . .	18
4.1.1	Geographische Koordinaten mit rotiertem Pol . . . . .	18

4.1.2	Modellgebiet und Feldstruktur . . . . .	19
4.1.3	Horizontale Gitterbelegung . . . . .	21
4.1.4	Drehung der horizontalen Windkomponenten . . . . .	22
4.2	Vertikale Gitterstruktur . . . . .	25
<b>5</b>	<b>Die Ausgabefelder des COSMO-D2</b>	<b>29</b>
5.1	GRIB-Kennungen der COSMO-D2-Felder . . . . .	30
5.2	Hinweise zu einigen speziellen Feldern . . . . .	32
5.2.1	Unveränderliche Felder . . . . .	32
5.2.2	Atmosphären-Felder (Modellgitter) . . . . .	34
5.2.3	Bodenfelder . . . . .	35
5.2.4	Diagnostische Ein-Flächen-Felder . . . . .	37
5.2.5	Zeitlich gemittelte Felder . . . . .	40
5.2.6	Pseudo-Satellitenbilder im operationellen COSMO-D2 . . . . .	41
5.2.7	Felder aus Anschlußverfahren . . . . .	41
<b>6</b>	<b>Operationeller Ablauf</b>	<b>50</b>
<b>7</b>	<b>GRIB-Felder in den COSMO-D2-Datenbanken</b>	<b>51</b>
7.1	COSMO-D2-Analysen aus dem Datenassimilationszyklus . . . . .	51
7.2	Hauptlaufanalysen des COSMO-D2 . . . . .	53
7.3	Hauptlaufvorhersagen des COSMO-D2 . . . . .	53
7.4	Modellinterpretation des COSMO-D2 . . . . .	57
7.5	Beispiel eines sky-.xml-Files . . . . .	58
<b>8</b>	<b>Danksagung</b>	<b>59</b>

---

<b>A Transformationsprogramme</b>	<b>60</b>
A.1 Umrechnung der rotierten Länge ( $\lambda$ ) in die geographische Länge ( $\lambda_g$ ) . . .	61
A.2 Umrechnung der rotierten Breite ( $\varphi$ ) in die geographische Breite ( $\varphi_g$ ) . . .	63
A.3 Umrechnung der geographischen Länge ( $\lambda_g$ ) in die rotierte Länge ( $\lambda$ ) . . .	64
A.4 Umrechnung der geographischen Breite ( $\varphi_g$ ) in die rotierte Breite ( $\varphi$ ) . . .	65



# 1 Vorbemerkungen

Das präoperationelle Kurzfristvorhersagemodell COSMO-D2 des Deutschen Wetterdienstes (DWD) ist (ebenso wie das derzeit operationelle COSMO-DE) ein modellgestütztes Vorhersageverfahren für den Zeitbereich bis (mindestens) 27h. Mit einer Auflösung im meso- $\gamma$ -Bereich ( $\Delta x \sim 2.2$  km) soll das COSMO-D2 gegenüber dem größerskaligen, antreibenden Modellsystem ICON/ICON-EU insbesondere verbesserte Vorhersageleistungen erzielen bei gefährlichen Wetterlagen im Zusammenhang mit hochreichender Feuchtkonvektion (z.B. Super- und Multizellengewitter, Böenwalzen, mesoskalige konvektive Komplexe) und aufgrund von Wechselwirkungen mit der feinskaligen Topographie (Bodennebel, Föhnstürme, Sturzfluten,...).

Seit ca. 2010 haben zahlreiche Personen aus der Abteilung FE1 zu verschiedenen Zeiten und Anteilen an der Entwicklung des COSMO-D2 mitgewirkt. Zu betonen ist weiterhin, daß COSMO-D2 inhaltlich auf dem Vorgängervorhersagemodell COSMO-DE aufbaut,

Die Bereitstellung von seitlichen Randdaten zum Antrieb des COSMO-D2 durch ICON-EU erfolgt durch das Interpolationsprogramm `int21m`. Dieses Programm wurde im Rahmen der bilateralen Zusammenarbeit des DWD mit dem Schweizer Wetterdienst (MeteoSchweiz) erstellt .

COSMO-D2 wie auch COSMO-DE ist eine Anwendung des flexiblen Modellsystems COSMO, das im Rahmen des internationalen Konsortiums COSMO (COnsortium for Small-Scale MOdelling) weiterentwickelt wird. Zu COSMO gehören neben dem DWD und dem GeoInformationsdienst der Bundeswehr die nationalen Wetterdienste von Griechenland, Israel, Italien, Polen, Rumänien, Russland und der Schweiz, die jeweils eigene operationelle Anwendungen des COSMO-Modells für ihre Länder betreiben. Informationen zu COSMO sowie zu operationellen und wissenschaftlichen Anwendungen des COSMO-Modells finden sich im Internet unter <http://www.cosmo-model.org/>.

Weiterhin wird COSMO an zahlreichen Universitäten und anderen Forschungseinrichtungen eingesetzt. Schliesslich wird das COSMO-Modell auch an einigen weiteren internationalen Wetterdiensten operationell eingesetzt.

Die wichtigsten **Unterschiede zwischen COSMO-D2 und COSMO-DE** sind:

- Das Modellgebiet ist nach Westen und Süden, in geringerem Maße auch nach Norden erweitert (siehe Abb. 3).
- Die horizontale Gittermaschenweite reduziert sich von 2.8 km auf 2.2 km.
- Die Anzahl der Modellschichten in der Vertikalen erhöht sich von 50 auf 65. Insbesondere sind mehr Modellschichten in den Bereich der atmosphärischen Grenzschicht gelegt worden, um Auslösung von Konvektion zu erleichtern.
- Das Modellgitter ist von einer reinen Gal-Chen-Kordinate auf die glattere SLEVE-Koordinate umgestellt worden.

Wie auch COSMO-DE ist COSMO-D2 ein sog. *konvektionserlaubendes* Modell. Damit unterscheidet es sich gegenüber dem Globalmodell ICON sowie dessen Europa-Ausschnitt ICON-EU in einigen Punkten:

- Eine der wesentlichsten Änderungen ist die komplette Abschaltung der Parametrisierung für hochreichende Konvektion. Das COSMO-D2 muß hochreichende Konvektion (zumindest die Grobstrukturanteile davon) explizit auflösen.
- Beibehalten wird jedoch eine leicht modifizierte Version der Parametrisierung für flache Konvektion.
- In der Parametrisierung der Wolkenmikrophysik wird auch die Klasse 'Graupel' berücksichtigt (6-Klassen-Wolkenphysik).
- Die Vorhersagefrist des COSMO-D2 beträgt 27 Stunden (45h für den 3 UTC-Lauf) mit 8 Modellläufen pro Tag.

Darüber hinaus gibt es natürlich noch eine Vielzahl von weiteren Änderungen und Anpassungen speziell für die COSMO-D2-Auflösung. Diese werden teilweise im folgenden kurz beschrieben, soweit sie für die operationelle Anwendung relevant sind. Zu beachten ist auch, daß es neben dem sogenannten 'deterministischen' Lauf von COSMO-D2 auch ein COSMO-D2-Ensemble gibt (s. die zugehörige Datenbankbeschreibung von Theis *et al.* (2017)).

Diese Kurzbeschreibung beruht auf der entsprechenden Kurzbeschreibung des COSMO-DE von Baldauf *et al.* (2016). Sie gibt eine Übersicht über die Modellformulierung, die Gitterstruktur und die physikalische Ausstattung des Modells. Weiterhin wird der Inhalt der COSMO-D2-Datenbanken erläutert, und es werden einige Beispiele für das Lesen der COSMO-D2-Daten aus den ORACLE-Datenbanken auf dem Datenserver gegeben. Die Darstellung beschränkt sich auf die Anwendung des COSMO-D2 als numerisches Wettervorhersagemodell (d. h. im NWV-Modus) und nicht auf Forschungs- und Sonderanwendungen.

Eine ausführliche englischsprachige Dokumentation des COSMO-Modellsystems mit den Teilen

Teil 1: Scientific Documentation: Dynamics and Numerics Doms and Baldauf (2015)

Teil 2: Scientific Documentation: Physical Parameterizations Doms *et al.* (2011)

Teil 3: Data Assimilation Schraff and Hess (2012)

Teil 4: Implementation Documentation (noch nicht verfügbar)

Teil 5: Preprocessing: Initial and Boundary Data for the COSMO-Model Schättler and Blahak (2016)

Teil 6: Postprocessing (noch nicht verfügbar)

Teil 7: User's Guide Schättler *et al.* (2016)

ist auf der oben genannten COSMO-Webseite erhältlich.

Bitte senden Sie Korrekturen, Änderungsvorschläge und -wünsche zum Manuskript an M. Baldauf (FE13, Tel.: 069 8062 2733, E-Mail: Michael.Baldauf@dwd.de).

## 2 Modellformulierung

### 2.1 Grundzustand und Koordinatensystem

Das COSMO-D2 beruht auf den ursprünglichen, d. h. ungefilterten Eulerschen Gleichungen der Hydro-Thermodynamik, es ist also ein nicht-hydrostatisches, kompressibles Ausschnittsmodell. Die Formulierung der Modellgleichungen bezieht sich auf einen ruhenden, horizontal homogenen und trockenen Grundzustand, der zeitlich konstant und hydrostatisch balanciert ist. Die thermodynamischen Variablen Druck  $p$ , Temperatur  $T$  und Dichte  $\rho$  setzen sich also jeweils aus einem höhenabhängigen Referenzwert des Grundzustandes und einer orts- und zeitabhängigen Abweichung zusammen:

$$T = T_0(z) + T', \quad p = p_0(z) + p', \quad \rho = \rho_0(z) + \rho', \quad (1)$$

wobei  $T_0(z)$ ,  $p_0(z)$  und  $\rho_0(z)$  durch die hydrostatische Beziehung

$$\frac{\partial p_0}{\partial z} = -g\rho_0 \quad (2)$$

und die Zustandsgleichung  $p_0 = \rho_0 R_d T_0$  miteinander verknüpft sind.  $R_d$  ist die Gaskonstante für trockene Luft,  $g$  die Schwerebeschleunigung. Das Vertikalprofil der Grundzustandstemperatur  $T_0$  kann im Prinzip beliebig vorgegeben werden, da in den Modellgleichungen keine Linearisierungen bezüglich des Grundzustandes vorgenommen werden.

In COSMO-D2 wird (wie in ICON/-EU) die 'neue' Referenzatmosphäre (`irefatm=2`) verwendet. Sie ist durch das Temperaturprofil

$$T_0(z) = T_{0,sl} + \Delta T \cdot (e^{-z/h_{scal}} - 1) \quad (3)$$

definiert. Dieses hat insbesondere den Vorteil, in beliebigen Höhen  $z$  anwendbar zu sein. Mit Hilfe der idealen Gasgleichung und der hydrostatischen Gleichung folgt daraus das Druckprofil

$$p_0(z) = p_{0,sl} \exp\left(-\frac{g h_{scal}}{R_d(T_{0,sl} - \Delta T)} \log \frac{(T_{0,sl} - \Delta T)e^{+\frac{z}{h_{scal}}} + \Delta T}{T_{0,sl}}\right). \quad (4)$$

COSMO-D2 verwendet dabei die Werte  $T_{0,sl} = 288.15$  K,  $\Delta T = 75$  K,  $h_{scal} = 10000$  m und  $p_{0,sl} = 10^5$  Pa. Außerdem werden  $g = 9,80665$  m s<sup>-2</sup> und  $R_d = 287,05$  J kg<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup> verwendet.

**Allerdings ist die Kenntnis dieses Referenzzustands seit der Einführung von GRIB2 und damit in COSMO-D2 weder bei der Verarbeitung von Vorhersage- noch von Analysefeldern mehr notwendig.** Die Vorhersage-Gribfiles enthalten nun direkt die vollen Felder  $T$  und  $p$  (mit einer höheren Ausgabegenauigkeit für  $p$ ), so dass man hierbei den Referenzzustand nicht benötigt.

Das Modell verwendet rotierte  $(\lambda, \varphi)$ -Koordinaten in den horizontalen Raumrichtungen, die aus den geographischen  $(\lambda_g, \varphi_g)$ -Koordinaten durch eine Verschiebung des Nordpols hervorgehen (siehe Abschnitt 4.1). In der Vertikalen wird eine verallgemeinerte geländefolgende Höhenkoordinate  $\zeta$  benutzt, wobei jede beliebige monotone Funktion der geometrischen Höhe  $z$  als Transformationsbeziehung verarbeitet werden kann. Die Vertikalkoordinate  $\zeta$  ist definitionsgemäß zeitunabhängig, womit das resultierende  $\zeta$ -System ein nicht-deformierbares Koordinatensystem

darstellt. Die Koordinatenflächen  $\zeta = \text{const}$  sind also im physikalischen Raum zeitlich fest. Details zur Vertikalkoordinate und der vertikalen Gitterstruktur des COSMO-D2 finden sich in Abschnitt 4.2.

Die Transformation der Grundgleichungen von orthogonalen  $(\lambda, \varphi, z)$ -Koordinaten ins nicht-orthogonale geländefolgende  $(\lambda, \varphi, \zeta)$ -System wird durch die drei Elemente der inversen Jacobi-Matrix  $\mathcal{J}^z$ ,

$$J_\lambda \equiv J_{13}^z = \left( \frac{\partial z}{\partial \lambda} \right)_\zeta, \quad J_\varphi \equiv J_{23}^z = \left( \frac{\partial z}{\partial \varphi} \right)_\zeta, \quad J_\zeta \equiv J_{33}^z = \frac{\partial z}{\partial \zeta} = -\sqrt{G}, \quad (5)$$

vermittelt. Das geländefolgende  $\zeta$ -System wird linkshändig definiert, die Koordinatenwerte  $\zeta$  nehmen also vom Oberrand des Modells zum Boden hin zu. Daher ist  $J_\zeta$  immer kleiner als Null und gleich dem negativen Absolutbetrag  $\sqrt{G}$  der Jacobimatrix.

## 2.2 Modellgleichungen

Mit den obigen Definitionen zum Grundzustand und zur Koordinatentransformation erhalten wir aus den hydro-thermodynamischen Grundgleichungen den folgenden Satz prognostischer Modellgleichungen für den Vektor der Windgeschwindigkeiten  $\mathbf{v} = (u, v, w)$ , die Druckabweichung  $p'$ , die Temperaturabweichung  $T'$ , die spezifische Feuchte  $q^v$ , den spezifischen Wolkenwassergehalt  $q^c$ , den spezifischen Wolkeneisgehalt  $q^i$  und die spezifischen Wassergehalte von Regen  $q^r$ , Schnee  $q^s$  und Graupel  $q^g$ :

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + \mathbf{v} \cdot \nabla u - \frac{uv}{a} \tan \varphi - fv &= -\frac{1}{\rho a \cos \varphi} \left( \frac{\partial p'}{\partial \lambda} + \frac{J_\lambda}{\sqrt{G}} \frac{\partial p'}{\partial \zeta} \right) + M_u \\ \frac{\partial v}{\partial t} + \mathbf{v} \cdot \nabla v + \frac{u^2}{a} \tan \varphi + fu &= -\frac{1}{\rho a} \left( \frac{\partial p'}{\partial \varphi} + \frac{J_\varphi}{\sqrt{G}} \frac{\partial p'}{\partial \zeta} \right) + M_v \\ \frac{\partial w}{\partial t} + \mathbf{v} \cdot \nabla w &= \frac{1}{\rho \sqrt{G}} \frac{\partial p'}{\partial \zeta} + B + M_w \\ \frac{\partial p'}{\partial t} + \mathbf{v} \cdot \nabla p' - g \rho_0 w &= -(c_{pd}/c_{vd}) p D \\ \frac{\partial T'}{\partial t} + \mathbf{v} \cdot \nabla T' + \frac{\partial T_0}{\partial z} w &= -\frac{p}{\rho c_{vd}} D + Q_T \\ \frac{\partial q^v}{\partial t} + \mathbf{v} \cdot \nabla q^v &= -(S^c + S^i + S^r + S^s) + M_{q^v} \\ \frac{\partial q^c}{\partial t} + \mathbf{v} \cdot \nabla q^c &= S^c + M_{q^c} \\ \frac{\partial q^i}{\partial t} + \mathbf{v} \cdot \nabla q^i &= S^i + M_{q^i} \\ \frac{\partial q^r}{\partial t} + \mathbf{v} \cdot \nabla q^r &= -\frac{1}{\rho \sqrt{G}} \frac{\partial P_r}{\partial \zeta} + S^r \\ \frac{\partial q^s}{\partial t} + \mathbf{v} \cdot \nabla q^s &= -\frac{1}{\rho \sqrt{G}} \frac{\partial P_s}{\partial \zeta} + S^s \\ \frac{\partial q^g}{\partial t} + \mathbf{v} \cdot \nabla q^g &= -\frac{1}{\rho \sqrt{G}} \frac{\partial P_g}{\partial \zeta} + S^g \end{aligned} \quad (6)$$

$\rho$  ist die Dichte (feuchter) Luft, die diagnostisch aus der Zustandsgleichung

$$\rho = p\{R_d(1 + (R_v/R_d - 1)q^v - q^c - q^i - q^r - q^s - q^g)T\}^{-1} \quad (7)$$

ermittelt wird. Die Konstanten in (6) und (7) sind der Erdradius  $a$ , die spezifischen Wärmekapazitäten trockener Luft bei konstantem Druck  $c_{pd}$  und bei konstantem Volumen  $c_{vd}$ , der Coriolis-Parameter  $f$ , die Schwerebeschleunigung  $g$  und die Gaskonstanten für Wasserdampf  $R_v$  und für trockene Luft  $R_d$ .

In (6) bezeichnen  $P_r$ ,  $P_s$  und  $P_g$  die Niederschlagsflüsse von Regen, Schnee bzw. Graupel.  $S^c$ ,  $S^i$ ,  $S^r$ ,  $S^s$  und  $S^g$  sind die Quellen und Senken durch mikrophysikalische Prozesse der Wolken- und Niederschlagsbildung (siehe Abschnitt 2.4.2). Die Terme  $M_\psi$  stehen abkürzend für Beiträge durch subskalige Prozesse wie Turbulenz und flache Konvektion,  $Q_T$  ist die Erwärmungsrate durch die Wirkung von subskaligen Prozessen und von skaligen Phasenumwandlungen (Kondensation, Verdunstung, ...). Die Berechnung dieser Beiträge erfolgt mit speziellen Parametrisierungsverfahren, die in Abschnitt 2.4 kurz erläutert werden. Der Auftriebsterm  $B$  in der Gleichung für die Vertikalgeschwindigkeit lautet

$$B = g \frac{\rho_0}{\rho} \left\{ \frac{T'}{T} - \frac{p' T_0}{p_0 T} + \left( \frac{R_v}{R_d} - 1 \right) q^v - q^c - q^i - q^r - q^s - q^g \right\}. \quad (8)$$

Der skalare Advektionsoperator im geländefolgenden Koordinatensystem ist

$$\mathbf{v} \cdot \nabla = \frac{1}{a \cos \varphi} \left( u \frac{\partial}{\partial \lambda} + v \cos \varphi \frac{\partial}{\partial \varphi} \right) + \dot{\zeta} \frac{\partial}{\partial \zeta},$$

worin  $\dot{\zeta}$  die kontravariante Vertikalgeschwindigkeit im  $\zeta$ -System ist,

$$\dot{\zeta} = \frac{1}{\sqrt{G}} \left( \frac{J_\lambda}{a \cos \varphi} u + \frac{J_\varphi}{a} v - w \right).$$

Die dreidimensionale Winddivergenz  $D$  errechnet sich schließlich aus

$$D = \frac{1}{a \cos \varphi} \left\{ \frac{\partial u}{\partial \lambda} + \frac{J_\lambda}{\sqrt{G}} \frac{\partial u}{\partial \zeta} + \frac{\partial}{\partial \lambda} (v \cos \varphi) + \cos \varphi \frac{J_\varphi}{\sqrt{G}} \frac{\partial v}{\partial \zeta} \right\} - \frac{1}{\sqrt{G}} \frac{\partial w}{\partial \zeta}.$$

In der prognostischen Gleichung für die Druckabweichung wurde der Quellterm durch diabatische Erwärmung vernachlässigt. Er ist für die meisten meteorologischen Anwendungen weitaus geringer als der dominierende Divergenzterm. Diese Näherung wird auch in vielen anderen nicht-hydrostatischen Simulationsmodellen vorausgesetzt.

## 2.3 Diskretisierung und zeitliche Integration

Die numerische Lösung der obigen Modellgleichungen erfolgt mit der Gitterpunktmethode. Hierbei werden die Variablen an Gitterpunkten definiert, und die räumlichen Differentialoperatoren werden durch finite Differenzen approximiert. Die zeitliche Integration erfolgt ebenfalls in diskreter Form mit einem festen Zeitschritt  $\Delta t$ .

Zur räumlichen Diskretisierung werden konstante Maschenweiten  $\Delta \lambda$ ,  $\Delta \varphi$  und  $\Delta \zeta$  verwendet. Der im Zentrum eines solchen elementaren Gittervolumens  $\Delta V = \Delta \lambda \Delta \varphi \Delta \zeta$  liegende Gitterpunkt wird mit den Indizes  $(i, j, k)$  versehen, wobei  $i$  in  $\lambda$ -,  $j$  in  $\varphi$ - und  $k$  in  $\zeta$ -Richtung läuft.

An diesem Gitterpunkt, dem Massenpunkt, sind alle prognostischen Variablen mit Ausnahme der Geschwindigkeitskomponenten ( $u, v, w$ ) und der turbulenten kinetischen Energie TKE definiert. Diese werden in der Mitte der jeweiligen Stirnflächen eines elementaren Gittervolumens definiert;  $u$  liegt also um  $\Delta\lambda/2$  in  $\lambda$ -Richtung versetzt am Punkt  $(i + 1/2, j, k)$ ,  $v$  um  $\Delta\varphi/2$  in  $\varphi$ -Richtung am Punkt  $(i, j + 1/2, k)$  und  $w$  und die TKE um  $\Delta\zeta/2$  in  $\zeta$ -Richtung am Punkt  $(i, j, k + 1/2)$  vor.

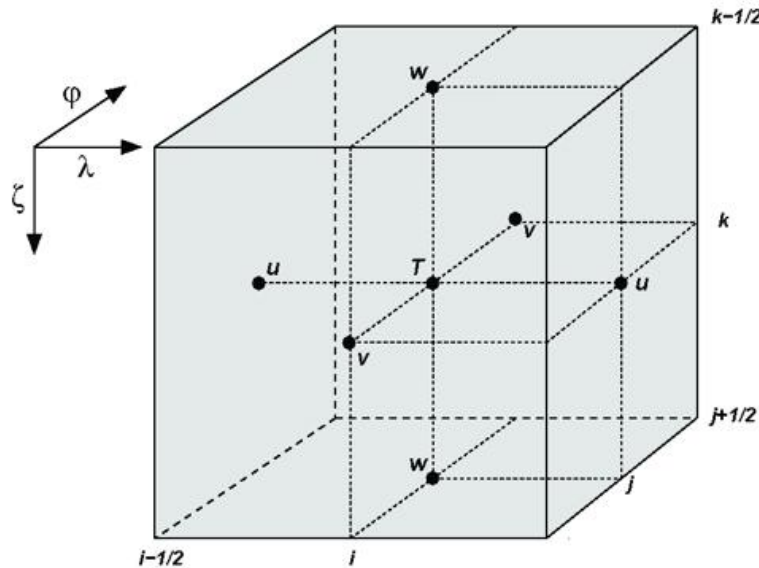


Abbildung 1: Anordnung der Modellvariablen im C-Gitter.

Diese Anordnung der Variablen im Rechengitter nennt man Arakawa-C/Lorenz-Gitter (siehe Abb. 2.3). Wir wählen diese Gitterstruktur zur räumlichen Diskretisierung im COSMO-Modell, da sich damit bei gleicher Maschenweite die Differenzenquotienten weit genauer berechnen lassen als im sogenannten A-Gitter, wo alle Variablen am gleichen Gitterpunkt definiert sind. Zur Formulierung der Differentialoperatoren wie Gradient, Divergenz und Laplace werden zentrierte Differenzenquotienten verwendet – sowohl für die horizontale als auch für die vertikale Raumrichtung. Die Genauigkeit dieser Operatoren ist von zweiter Ordnung, d. h. der Diskretisierungsfehler nimmt bei einer Halbierung der Maschenweite um den Faktor vier ab. Jedoch wird bei der Behandlung der Advektionsoperatoren ein signifikanter numerischer Mehraufwand betrieben. So wird für die Horizontaladvektion von Geschwindigkeitskomponenten, Druck und Temperatur, aber auch bei der diagnostischen Berechnung der kontravarianten Vertikalgeschwindigkeit  $\dot{\zeta}$  ein Aufwind-Operator fünfter Ordnung verwendet. Wahlweise stehen auch für die Vertikaladvektion Operatoren höherer Ordnung zur Verfügung, die zur Zeit aber nicht operationell zum Einsatz kommen. Ebenso wird beim Transport der spezifischen Feuchten (und gegebenenfalls auch der TKE) nun einheitlich für die verschiedenen Größen das Verfahren nach Bott (1989) eingesetzt. Alternativ dazu kann auch ein Semi-Lagrange-Verfahren unter Verwendung tri-kubischer Interpolation gewählt werden. In beiden Varianten wird der Massenerhaltung und Vermeidung negativer Werte Rechnung getragen. Eine detaillierte Darstellung der verwendeten Operatoren findet sich in Doms and Baldauf (2015).

In vertikaler Richtung definieren die Gitterpunkte  $k$  die Mitte einer Modellschicht, wir sprechen auch von Hauptflächen. Sie werden nach oben und unten durch die um  $\Delta\zeta/2$  versetzten Punkte

( $k \pm 1/2$ ), an denen die Vertikalgeschwindigkeit definiert ist, begrenzt. Diese Schichtgrenzen nennt man auch Nebenflächen. Verwendet man also zur vertikalen Auflösung der Atmosphäre  $KE$  Schichten ( $k = 1, KE$ ), dann sind  $KE + 1$  Nebenflächen vorhanden, wobei die oberste Schichtgrenze den Modelloberrand und die unterste Schichtgrenze den unteren Rand definiert, der konform mit der Orographie ist.

Die diskretisierte Formulierung des COSMO ist unabhängig von der Wahl einer speziellen Vertikalkoordinate. Dies wird erzielt durch (a) eine zweistufige Koordinatentransformation ins Rechengitter und (b) eine numerische, d.h. diskrete Berechnung der Elemente der Jacobi-Matrix.

Der erste Schritt der Transformation beinhaltet eine Abbildung des  $z$ -Systems in ein geländefolgendes  $\tilde{\zeta}$ -System mittels einer eindeutigen, ansonsten aber beliebigen Transformationsbeziehung  $z = f(\lambda, \varphi, \tilde{\zeta})$ . Die vertikale Gittereinteilung erfolgt dann durch die Vorgabe diskreter  $\tilde{\zeta}$ -Werte für die Schichtgrenzen  $k \pm 1/2$ . Diese Schichteinteilung ist vom Anwender frei wählbar, in der Regel wird sie nicht äquidistant vorgegeben, um z.B. eine höhere Auflösung in Bodennähe zu erreichen (Grid Stretching).

Im zweiten Schritt der Transformation bilden wir die Koordinate  $\tilde{\zeta}$  auf die Koordinate  $\zeta$  des Rechengitters ab. Da hierzu jede beliebige eindeutige Relation  $\tilde{\zeta} = m(\zeta)$  verwendbar ist, wählen wir  $m$  so, daß die Koordinatenwerte  $\tilde{\zeta}$  in den Indexraum  $k$  des vertikalen Laufindex abgebildet werden. Mit dieser zweistufigen Transformation erzielen wir also eine Abbildung des irregulären krummlinigen Gitters, das durch die  $\tilde{\zeta}$ -Koordinaten im physikalischen Raum aufgespannt wird, auf ein reguläres äquidistantes Rechengitter mit den diskreten Koordinatenwerten  $\zeta_k = k$  und einer konstanten vertikalen Maschenweite von  $\Delta\zeta = 1$ .

Damit die numerische Formulierung der Modellgleichungen unabhängig von der Wahl einer speziellen Vertikalkoordinate  $\tilde{\zeta}$  bleibt, werden die Elemente (5) der Jacobi-Matrix nicht in analytischer, sondern in diskreter Form ausgewertet. Im Gegensatz zum bisherigen Verfahren werden die metrischen Koeffizienten im neuen dynamischen Kern des COSMO-D2 nun nicht mehr in Abhängigkeit der Referenzdruckverteilung formuliert. Stattdessen werden die höhenbasierten Ausdrücke (5) beibehalten. In diskretisierter Form erhalten wir:

$$\sqrt{G}_k = (z)_{k-1/2} - (z)_{k+1/2} \quad (9)$$

Somit sind alle metrischen Koeffizienten in der räumlichen Diskretisierung in Abhängigkeit der Höhe der Halbflächen berechenbar. Deren Bestimmung für die verschiedenen Koordinatentransformationen wird in Abschnitt 4.2 erläutert.

Bei der zeitlichen Integration der Modellgleichungen besteht das Problem, daß aufgrund der vorausgesetzten Kompressibilität Phänomene wie Schallwellen, thermische Kompressionswellen und hochfrequente Schwerewellen ebenfalls Bestandteile der Lösung sind. Die hohe Phasengeschwindigkeit dieser Wellen erfordert aus Stabilitätsgründen einen sehr kleinen Rechenzeitschritt. Um zu einem praktikablen, numerisch effizienten Integrationsverfahren zu gelangen, müssen diejenigen Terme in den Gleichungen, die die Ausbreitung schneller Wellen beschreiben, mit speziellen Methoden behandelt werden. Zur Zeitintegration dieser schnellen Moden stehen im COSMO generell drei Verfahren zur Verfügung:

(a) *3-Zeitenebenen-Time-Splitting-Integration*

Hierbei werden diejenigen Terme der Gleichungen, die langsame Prozesse wie Advektion

und subskalige Physik beschreiben, mit dem üblichen Leapfrog-Verfahren behandelt; die zeitliche Vorwärtsrechnung erfolgt jeweils vom Zeitpunkt  $t - \Delta t$  auf den Zeitpunkt  $t + \Delta t$ , wobei aber die schnellen Moden in dem Zeitintervall  $2\Delta t$  mit einem kleineren, für die schnellen Wellen stabilen Zeitschritt  $\Delta t_s$  integriert werden.

(b) *2-Zeitebenen-Time-Splitting-Integration*

Dieses Verfahren funktioniert im Prinzip ähnlich wie (a), nur daß anstelle der Leapfrog-Technik eine Runge-Kutta-Methode angewandt wird. Es sind also nur zwei Zeitebenen vorhanden; die Vorwärtsrechnung der langsamen Prozesse erfolgt vom Zeitpunkt  $t$  auf  $t + \Delta t$ .

(c) *3-D semi-implizite Integration*

Bei dieser Methode werden die Terme der schnellen Moden vollständig, d.h. dreidimensional implizit behandelt. Dies führt auf eine komplexe elliptische Gleichung, die iterativ mit einem speziellen Solver (GMRES) gelöst wird.

Im COSMO-D2 wird die Runge-Kutta-Methode (Verfahren (b)) operationell angewendet. Dieses 2-Zeitebenen-Verfahren bietet einige Vorteile hinsichtlich seiner Kombinierbarkeit mit Advektionsoperatoren höherer Ordnung und macht explizite numerische Glättung zumindest größtenteils überflüssig. Das 3-stufige Runge-Kutta-Verfahren in Kombination mit der Horizontaladvektion räumlich fünfter Ordnung ergeben sehr gute Stabilitätseigenschaften, welche bei der verwendeten horizontalen Maschenweite von etwa 2.2 km einen Zeitschritt von  $\Delta t = 20$  s erlauben.

## 2.4 Physikalische Ausstattung

Die im COSMO-D2 eingesetzten physikalischen Parametrisierungen wurden an die auf 2.2 km verringerte Maschenweite und die damit angestrebte explizite Simulation hochreichender Konvektion angepaßt (man spricht dabei auch von einem *konvektionserlaubenden* Modell). In diesem Abschnitt wird eine kurze Übersicht über die eingesetzten Verfahren gegeben. Eine ausführliche Darstellung der Parametrisierungsverfahren findet sich in Doms *et al.* (2011).

### 2.4.1 Strahlung

Das Strahlungsschema des COSMO-D2 Ritter and Geleyn (1992) beruht auf einer  $\delta$ -Zweistrom-Approximation der allgemeinen Strahlungsübertragungsgleichung und berücksichtigt drei solare und fünf thermische Spektralintervalle. Wolken, Aerosol, Wasserdampf und weitere gasförmige Spurenstoffe werden als optisch aktive Bestandteile der Atmosphäre betrachtet, die den Strahlungstransfer durch Absorption, Emission und Streuung beeinflussen. Im kurzwelligen (solaren) Teil des Spektrums wird zusätzlich molekulare Streuung berücksichtigt. Als Erweiterung des Originalschemas wurde eine gesonderte Behandlung optischer Eigenschaften von Eiswolken eingeführt. Im COSMO-D2 wird das Strahlungsschema jeweils einmal in 15 Minuten aufgerufen (zum Vergleich: in ICON und ICON-EU nur einmal in 60 Min.), und die Erwärmungs- und Abkühlungsraten des terrestrischen Teils werden dann für die nächsten 15 Minuten konstant gehalten, während im solaren Teil der Zenitwinkel der Sonne in jedem Zeitschritt neu berechnet wird, aber die atmosphärischen Eigenschaften für die 15 Minuten konstant gehalten werden. Um die Rechenzeit trotz der höheren Aufruffrequenz klein zu halten, wird die Strahlungsrechnung

nicht mehr für jede vertikale Säule einzeln, sondern auf 2 mal 2 Gitterpunkten des originalen COSMO-D2-Gitters zusammengefaßt durchgeführt. Diese Vereinfachung erscheint durch die vergleichsweise feine Auflösung gerechtfertigt.

### 2.4.2 Skaliger Niederschlag

Das Schema zur Behandlung von skaligem Niederschlag und den damit verbundenen wolkenphysikalischen Umwandlungsprozessen beruht inhaltlich auf dem auch im ICON/ICON-EU verwendeten Verfahren und wurde um Graupel als zusätzliche Niederschlagskategorie erweitert. Das Verfahren ist eine sogenannte 1-Momenten-Bulk-Formulierung (Kessler-Typ), die die unterschiedlichen atmosphärischen Erscheinungsformen von Wasser in breitgefaßte Klassen einteilt. Die Teilchen in diesen Kategorien wechselwirken auf vielfältige Weise durch mikrophysikalische Prozesse miteinander.

Das derzeitige Verfahren berücksichtigt als prognostische Modellvariablen die spezifischen Wassergehalte von Wasserdampf sowie von fünf Kategorien von Hydrometeoren:

- *Wolkenwasser* besteht aus kleinen, in der Luft suspendierten Tröpfchen. Ihr Radius ist kleiner als etwa  $50 \mu\text{m}$ , und sie weisen keine nennenswerte Eigenbewegung relativ zur Luftströmung auf.
- *Wolkeneis* setzt sich ähnlich wie das Wolkenwasser aus kleinen, in der Luft suspendierten Eiskristallen zusammen, die keine nennenswerte Relativbewegung zur Luftströmung aufweisen.
- *Regenwasser* setzt sich aus verhältnismäßig großen Tropfen mit Radien zwischen  $50$  und  $4000 \mu\text{m}$  zusammen. Für das Größenspektrum der Regentropfen wird eine Gammaverteilung angenommen. Die einzelnen Tropfen weisen eine größenabhängige Fallgeschwindigkeit auf.
- *Schnee* umfaßt in dieser Parametrisierung große (leicht-)bereifte Eiskristalle und Aggregate von Kristallen, die intern als dünne Plättchen mit einer bestimmten Masse-Größe-Relation behandelt werden. Für ihr Größenspektrum wird eine exponentielle Gunn-Marshall-Verteilung angenommen. Wie die Regentropfen weisen auch die Schneepartikel eine größenabhängige Fallgeschwindigkeit auf.
- *Graupel* umfaßt in dieser Parametrisierung Niederschlagseisteilchen, die stärker bereift sind und eine höhere Dichte als Schnee haben. Sie gehen durch starkes Bereifen aus Schnee oder durch Gefrieren aus Regentropfen hervor. Ihre größenabhängige Fallgeschwindigkeit ist höher als diejenige der Schneeteilchen; wie bei Schnee wird ebenfalls eine Exponentialverteilung als Größenverteilung angenommen.

Die Bilanzgleichungen der spezifischen Wassergehalte in den jeweiligen Kategorien – Wasserdampf, Wolkenwasser, Wolkeneis, Regen, Schnee und Graupel – enthalten neben dem advektiven (und bei Wasserdampf, Wolkenwasser und Wolkeneis auch turbulenten) Transport eine Reihe von Termen, die die Prozesse der Wolken- und Niederschlagsbildung beschreiben. Im einzelnen werden folgende Prozesse berücksichtigt:

- Kondensation und Verdunstung von Wolkenwasser,

- Neubildung von Wolkeneis aus der Dampfphase durch Nukleation,
- homogenes Gefrieren (unterhalb von  $-38^{\circ}\text{C}$ ) von Wolkenwasser und Regen zu Wolkeneis bzw. Graupel,
- Schmelzen von Wolkeneis zu Wolkenwasser,
- Deposition von Wasserdampf auf Wolkeneis und Sublimation von Wolkeneis,
- Neubildung von Regenwasser durch Autokonversion von Wolkenwasser,
- primäre Bildung von Schnee durch Autokonversion von Wolkeneis,
- Akkreszenz (Aufsammeln von Wolkentröpfchen durch fallenden Regen),
- 'Shedding' (mit Schnee und Graupel bei über  $0^{\circ}\text{C}$  kollidierende Wolkentröpfchen werden als Regentropfen abgestreift),
- Aggregation (Aufsammeln von Wolkeneis durch fallenden Schnee und Graupel),
- Aufsammeln von Wolkeneis durch Regen und anschließendes Gefrieren zu Graupel,
- Bereifung von Schnee und Graupel durch Kollision mit Wolkentröpfchen,
- Deposition von Wasserdampf auf Schnee und Graupel,
- Verdunstung von Regentropfen und Sublimation von Schnee und Graupel,
- Schmelzen von Schnee und Graupel und Gefrieren von Regentropfen zu Graupel,
- Umwandlung von Schnee in Graupel durch Bereifen,
- und Sedimentation von Regen, Schnee und Graupel aufgrund der Fallgeschwindigkeiten der Partikel.

Abbildung 2 skizziert die berücksichtigten mikrophysikalischen Prozesse.

### 2.4.3 Feuchtkonvektion

Bei einer Maschenweite von 2.2 km ist zwar hochreichende Konvektion (Schauer, Gewitter, ...) ein (nahezu) skaliger Prozeß, jedoch bleibt insbesondere die flache Konvektion weiterhin subskalig, d.h. kann nicht explizit vom Gitter aufgelöst werden.

Deshalb wird auch im COSMO-D2 das Massenflußverfahren nach Tiedtke (1989) verwendet, jedoch in einer abgewandelten Form, so dass nur die kleinskalige flache Konvektion parametrisiert ist. Als Schließungsbedingung zur Berechnung der Änderungsraten von Wärme und Feuchte durch subskalige konvektive Transportprozesse wird der vertikale Massenfluß an der Wolkenbasis benötigt. Dieser wird aus der Feuchtekonvergenz im Bereich zwischen Erdboden und Wolkenbasis abgeleitet. Zur Berechnung der vertikalen Umverteilung von Wärme und Feuchte wird im Konvektionsschema ein sehr einfaches stationäres Wolkenmodell verwendet. Niederschlagsbildung wird dabei für flache Konvektion allerdings ausgeschlossen, d.h. das Konvektionsschema trägt im COSMO-D2 nicht direkt zur Niederschlagsbildung bei. Im COSMO-D2 gibt es also *formal keinen konvektiven* Niederschlag; es gibt also keine Ausgabevariablen RAIN\_CON oder



der Höhe der Schicht und der gegebenenfalls vorhandenen konvektiven Aktivität berechnet. Im COSMO-D2 ist dabei die hochreichende Konvektion ein skaliger Prozess, der zu einem lokalen Bedeckungsgrad von 100% führt. Die parametrisierte flache Konvektion wird beim partiellen Bedeckungsgrad berücksichtigt.

Zur Berechnung der Gesamtbedeckung in den verschiedenen Stockwerken (hoch, mittel, niedrig) der Atmosphäre wird die Bedeckung der einzelnen Modellschichten berücksichtigt. Sind benachbarte Modellschichten bewölkt, so ist die Gesamtbedeckung das Maximum der beteiligten Schichten ("Maximum Overlap"). Gibt es wolkenfreie Schichten zwischen bewölkten Schichten, so wird der Gesamtbedeckungsgrad höher sein als der maximale Bedeckungsgrad der Einzelschichten ("Random Overlap").

### 2.4.5 Vertikale turbulente Flüsse

Für die Parametrisierung des vertikalen turbulenten Austauschs wird im COSMO zwischen der bodennahen Transferschicht, das ist im Modell der Bereich zwischen Erdboden und der untersten Modellhauptfläche, der darüber liegenden planetaren Grenzschicht und der freien Atmosphäre unterschieden.

In der planetaren Grenzschicht und der freien Atmosphäre werden die turbulenten Austauschkoefizienten auf der Basis einer *prognostischen* Beziehung für die turbulente kinetische Energie (TKE) bestimmt. Das ist ein Schließungsschema auf Stufe 2.5 der von Mellor and Yamada (1974) definierten Hierarchieebenen. Das Verfahren liefert diagnostische Beziehungen für die Austauschkoefizienten, die von der Stabilität der thermischen Schichtung und der vertikalen Windscherung abhängen. Der Vorteil im Vergleich zu einem *diagnostischen* TKE-Schema liegt darin, daß nun eine Reihe von physikalischen Effekten in die Gleichung mit aufgenommen werden können, die sich in einer diagnostischen Beziehung nicht berücksichtigen lassen. Das sind insbesondere die Vertikaldiffusion von TKE und die Produktion von TKE durch subskalige thermische Zirkulationen.

Die Transferschicht wird in eine Prandtl-Schicht und eine von Rauigkeitselementen durchsetzte Rauigkeitsschicht unterteilt. Letztere ist dadurch charakterisiert, daß mit zunehmender Nähe zu den materiellen Oberflächen der turbulente Austausch gegenüber dem laminaren an Wirksamkeit verliert. Der Transferwiderstand wird als Integral des Kehrwerts der Diffusionskoefizienten über die turbulente Längenskala von den materiellen Oberflächen bis zur untersten Hauptfläche dargestellt. Hierzu werden die Diffusionskoefizienten an der Grenzfläche zwischen Prandtl- und Rauigkeitsschicht mit Hilfe der TKE-Gleichung berechnet und dann geeignet interpoliert. Die Vertikalprofile der Modellvariablen innerhalb der Transferschicht können dann mit Hilfe der Widerstandsfunktion, das ist das oben erwähnte Integral zur Berechnung des Transferwiderstands mit variabel gehaltenen Grenzen, dargestellt werden. Die letztlich benötigten Transferkoefizienten sind die Kehrwerte der Widerstände.

Die Teilwiderstände in der Prandtl- und der Rauigkeitsschicht sind von der Rauigkeitslänge abhängig. Der nur für den skalaren Transport wirksame Widerstand durch die Rauigkeitsschicht ist zusätzlich von der Größe der materiellen Oberflächen abhängig, welche maßgeblich durch den Blattflächenindex (LAI) bestimmt wird. Die Rauigkeitslänge und der LAI werden über Land als externe Parameter vorgegeben. Über Wasser wird die Rauigkeitslänge mit Hilfe der Charnock-Formel berechnet.

### 2.4.6 Bodenprozesse

Ein Bodenmodell hat im Wesentlichen die Aufgabe, für Landpunkte die zeitliche Entwicklung der Temperatur und des Wassergehalts sowie dessen Aggregatzustandes im Boden zu prognostizieren. Es ist mit 7 Schichten zur Beschreibung der thermischen und hydrologischen Prozesse ausgestattet, wobei für beide die gleichen Schichtdicken gewählt wurden. Die Tiefen der Schichtgrenzen (Nebenflächen) berechnen sich auf folgende Weise:  $z_{h,k} = 0,01 \cdot 3^{k-1}$  (m) mit  $k = 1, \dots, 8$ .

Die 8. Schicht (in ca. 15 m Tiefe) dient der Vorgabe klimatologischer Werte der Temperatur. Der Jahresgang der Temperatur wird hier als vernachlässigbar angenommen. Als klimatologischer Wert wird der Jahresmittelwert der Lufttemperatur in 2 m Höhe verwendet.

Die hydrologischen Prozesse werden mit einer Diffusionsgleichung für den Wassertransport innerhalb der oberen 6 Schichten berechnet. An der Untergrenze der 6. Schicht in ca. 2,5 m Tiefe wird der kapillare Transport vernachlässigt, der Gravitationsfluß wird dem Abfluß zugerechnet.

Die meisten Parameter des Bodenmodells (Wärmekapazität und -leitfähigkeit, Wasserspeicherkapazität usw.) sind abhängig von der Bodentextur, wobei acht verschiedene Bodentypen (Sand, sandiger Lehm, Lehm, lehmiger Ton, Ton, Eis, Fels und Torf) unterschieden werden.

Als Landpunkte werden alle Gitterelemente behandelt, deren Landanteil größer als 50% ist. Dementsprechend sind alle anderen Gitterpunkte Wasserpunkte. Die räumliche Temperaturverteilung der Wasserpunkte wird durch eine Analyse der Meeresoberflächentemperatur bereitgestellt und während der Vorhersage konstant gehalten. Im Rahmen dieser SST-Analyse wird auch die Meeres-Verteilung bestimmt.

Weiterhin wird das Seenmodell FLake für Binnenseen operationell verwendet.

## 2.5 Externe Parameter

Das COSMO-Modell benötigt folgende Informationen als externe Parameter:

- mittlere orographische Höhe (HSURF)
- Landanteil (FR\_LAND)
- Rauigkeitslänge (Z0)
- Bodentyp (SOILTYP)
- Wurzeltiefe (ROOTDP)
- Pflanzenbedeckungsgrad (PLCOV)
- Blattflächenindex (leaf area index, LAI)
- solare Albedo für diffusive Strahlung (ALB\_DIF)

Ferner für das Seenmodell FLake

- der Flächenanteil des Seenwassers im Gitterelement ('lake fraction', FR\_LAKE)
- die Seentiefe ('lake depth', DEPTH\_LK)

Sie werden bei jedem Modelllauf als unveränderliche Felder unter den obigen GRIB-Namen in der Datenbank abgelegt, jedoch nur zum ersten Ausgabetermin (step=0). Als Eingangsdaten für die Berechnung dieser externen Parameter wurden für das COSMO-D2 folgende Datenquellen genutzt:

- Digitale Geländehöhen in einer Auflösung von 30 Bogensekunden (ca. 1 km) aus dem GLOBE-Datensatz der NOAA/NGDC (National Oceanic and Atmospheric Administration),
- Landnutzungsdatensatz GlobCover2009 in 300 m Auflösung unter Verwendung von 23 Landnutzungsklassen (seit 18.04.2012), bereitgestellt von der ESA (European Space Agency) und basierend auf einer Auswertung von Satellitendaten (MERIS-Sensor auf dem ENVISAT Satelliten),
- digitale Bodenarten in einer Auflösung von 5 Bogenminuten ( $\sim 10$  km) aus einem globalen Datensatz der FAO (Food and Agricultural Organization of UNO).

In gebirgigen Regionen ist die Anwendung der mittleren Orographie mit sehr großen Höhenunterschieden von Gitterpunkt zu Gitterpunkt verknüpft. Dies führt zu Defiziten in der räumlichen Verteilung des Niederschlags mit unrealistischen Maxima und Minima. Idealisierte Fallstudien zeigten, daß in diesen Bereichen numerisch erzeugte unphysikalische Strömungsmuster entstehen, falls die topographischen Strukturen nicht ausreichend genau vom Rechengitter aufgelöst werden. Deshalb muß die Orographie räumlich gefiltert werden, um Komponenten kleiner als das *Vierfache* der Maschenweite aus dem Wellenspektrum der mittleren Orographie zu entfernen. Außerdem gibt es in der Orographiefilterung einen lokal anwendbaren Tiefpassfilter der räumlich selektiv eine stärkere Glättung vornimmt. So werden im Moment ab einer Höhendifferenz zweier benachbarter Gitterpunkte von über 625 m bereits Skalen kleiner als das *Fünffache* der Maschenweite entfernt.

Weitere Informationen zu den Datenquellen und Vorgehensweisen sind ausführlich im Intranet des DWD unter dem Punkt [externe Parameter](#) im Referat FE14 zu finden.

## 3 Anfangszustand und Randdaten

### 3.1 Interpolierte Anfangsbedingungen und Initialisierung

Für experimentelle Vorhersagen und Simulationen mit dem COSMO-D2 kann der Anfangszustand durch Interpolation der Analysen eines antreibenden Modells (im Normalfall ICON/ICON-EU, oder auch das IFS) generiert werden. Bei interpolierten Anfangsbedingungen ist generell zu beachten, dass der so berechnete Anfangszustand aufgrund des Unterschiedes in der horizontalen und vertikalen Auflösung nicht sehr gut definiert ist. Daher ist mit einer Einschwingperiode zu rechnen (Spin-up, ca. 3–6 Stunden), in der sich die Strömung auf die hochaufgelöste Topographie einstellt<sup>1</sup>.

### 3.2 Datenassimilation

#### 3.2.1 KENDA-LETKF

Die Anfangsbedingungen werden mit dem Datenassimilationssystem KENDA (Kilometre-scale Ensemble Data Assimilation, Schraff *et al.* (2016)) erzeugt, welches auf der Methode des Local Ensemble Transform Kalman Filter (LETKF, Hunt *et al.* (2007)) beruht. Mit diesem Verfahren können gleichzeitig und in konsistenter Weise Anfangsbedingungen sowohl für eine deterministische Vorhersage in Form einer deterministischen Analyse als auch für eine Ensemble-Vorhersage mittels eines ganzen Ensembles von geeignet gestörten Analysen bereit gestellt werden.

Für die Berechnung der Analysen wird jeweils die Information aus den aktuellen Beobachtungen und der vorangehenden Kurzfristvorhersage kombiniert, im Falle der aktuellen Konfiguration von KENDA einer 1-stündigen Vorhersage. Die Gewichtung dieser Bestandteile beruht auf der Abschätzung der jeweiligen Unsicherheiten, wobei die Fehler der Vorhersagen insbesondere auf der konvektiven Skala in hohem Maße situations- und wetterabhängig sind. In KENDA können diese Vorhersageunsicherheiten mit Hilfe eines Ensembles von (zur Zeit) 40 in geeigneter Weise leicht unterschiedlichen 1-Stunden-Vorhersagen abgeschätzt werden. Das Analyseverfahren erlaubt es, nicht nur den wahrscheinlichsten Ist-Zustand der Atmosphäre, sondern auch den Analysefehler abzuschätzen. Diese Schätzung wird bei der Erzeugung eines ganzen Ensembles von leicht unterschiedlichen Analysen (mit gleicher Anzahl wie das eingehende Vorhersage-Ensemble) derart benutzt, dass das Analyse-Ensemble-Mittel dem wahrscheinlichsten Ist-Zustand und der Spread des Analyse-Ensembles dem geschätzten Analysefehler entspricht. Dadurch fließt die Abschätzung des Analysefehlers auch direkt in den Spread der nachfolgenden Ensemble-Vorhersagen (im Datenassimilationszyklus oder als eigentliche Kurzfrist-Vorhersage COSMO-D2-EPS) mit ein, welcher wiederum als Maß für die Vorhersageunsicherheit dient. Einschränkend ist zu erwähnen, dass der Ensemble-Spread generell nur die zufälligen Fehler, jedoch nicht die systematischen Analyse- bzw. Vorhersagefehler beschreiben kann und soll.

Um auch die Unsicherheit in den Wärmeflüssen von der Erdoberfläche in die Atmosphäre hinreichend zu berücksichtigen, werden in den Ensemble-Membren zusätzlich explizite zufällige

---

<sup>1</sup>Die früher verwendete digitale Filterinitialisierung (DFI) nach Lynch (1997) ist für die im COSMO-D2 verwendete auf 2-Zeitebenen basierende Integration nach den bisherigen Erfahrungen schlecht anpassbar.

Störungen der Meeresoberflächentemperatur und der Bodenfeuchte appliziert, so dass ein Spread von 1 K bzw. ca. 15 % relativer Bodenfeuchte (zwischen Pflanzenwelkepunkt und Feldkapazität) resultiert. Ohne diese Störungen würde der Ensemble-Spread und damit die Abschätzung der Analyse- und Vorhersageunsicherheit in der planetaren Grenzschicht unterschätzt.

Da das Analyse-Ensemble-Mittel in der Atmosphäre kein sehr gut balancierter Modellzustand ist und als Anfangszustand für eine deterministische Vorhersage zu einem etwas erhöhtem Spin-up in den ersten Vorhersagestunden führen würde, wird in der KENDA-Datenassimilation ein zusätzlicher, ungestörter Modelllauf (Control Run oder deterministischer Lauf) gerechnet. Basierend auf dieser 1-Stunden-Vorhersage (deterministischer First Guess), den Abweichungen der Beobachtungen von diesem Lauf, und der Abschätzung der Vorhersagefehler aus dem LETKF (in Form des Kalman Gain für das Ensemble-Mittel) wird eine deterministische Analyse berechnet. Diese dient als Anfangsbedingung für den nachfolgenden Control Run oder für die eigentliche deterministische Kurzfrist-Vorhersage.

Die sogenannten Control-Variablen des LETKF, d.h. die Variablen, die vom LETKF geändert (analysiert) werden, sind zur Zeit folgende: 3-D Windkomponenten, Temperatur, spezifische Feuchte, Wolkenwasser, und Wolkeneis auf allen Modellflächen, sowie Druck auf der untersten Modellfläche. In den darüber liegenden Flächen wird der Druck derart angepasst, dass die gesamten Analyse-Korrekturen (Analyseinkremente) hydrostatisch balanciert werden. Für alle anderen Modellvariablen wird die Analyse gleich der 1-Stunden-Vorhersage (First Guess) gesetzt.

Zur Zeit werden im LETKF nur konventionelle Beobachtungen (Daten von Radiosonden, Flugzeugen, Windprofilern, Bodenstationen) assimiliert. Zur Assimilation von Niederschlagsraten aus Radardaten wird der LETKF jedoch mit Latent Heat Nudging (LHN) kombiniert, indem zwischen den LETKF-Analyseschritten und zu Beginn der Vorhersagen LHN in allen Ensemble-Membren und im deterministischen Modelllauf angewendet wird.

### 3.2.2 Latent Heat Nudging

Um eine hinreichend gute Vorhersagequalität von Niederschlag v.a. in der Kürzestfrist zu erhalten, ist die Nutzung von Radar-basierter Niederschlagsinformation für die Bestimmung eines adäquaten Anfangszustands unabdingbar. Zur Zeit werden dafür qualitätsgeprüfte Produkte von bodennahen Niederschlagsraten in einer zeitlichen Auflösung von 5 Minuten und einer horizontalen Auflösung von  $1 \text{ km} \times 1 \text{ km}$  aus dem DWD-Radarverbund und von ausländischen Radarstationen verwendet. Diese Daten werden auf das COSMO-D2-Modellgitter (s. Abschnitt 4.1) interpoliert und im Grib-Format als Niederschlags-Analysen in die Datenbank eingebracht. Mit Hilfe der Latent Heat Nudging Methode werden diese Radar-Niederschlagsdaten während der Vorwärtsintegration des (COSMO-)Modells in den Modellzustand assimiliert Stephan *et al.* (2008). Dazu werden aus dem Verhältnis von beobachtetem zu modelliertem Niederschlag sowie der im Modell vorhandenen latenten Heizraten Temperaturinkremente bestimmt. Die Temperaturänderungen erfolgen unter Beibehaltung der relativen Feuchte, wodurch die spezifische Feuchte entsprechend angepasst wird. Die eingebrachten Inkremente beeinflussen die Dynamik des Modells dahingehend, dass sich der Modellniederschlag an die Beobachtung angleicht.

### 3.2.3 Variationelle Bodenfeuchteanalyse

Zur Zeit wird (wie in COSMO-DE) keine Analyse der Bodenfeuchte im COSMO-D2 durchgeführt.

### 3.2.4 Weitere externe Analysen

Einmal pro Tag wird eine Analyse der Meeresoberflächentemperatur durchgeführt. Ausgehend von der vorherigen Analyse als 'first guess', wird die neue Analyse unter Benutzung aller Beobachtungen von Schiffen und Bojen der vorhergehenden 2 Tage mit Hilfe eines Korrekturverfahrens erstellt. In datenarmen Gegenden wird dies über die globale Analyse durch eine Analyse vom NCEP ergänzt, die auch auf Satellitendaten beruht.

Des weiteren wird alle 6 Stunden eine Schneehöhenanalyse erstellt. Sie beruht auf einer einfachen gewichteten Mittelung von SYNOP-Schneehöhenbeobachtungen. Dabei hängt die Wichtung von den horizontalen und vertikalen Abständen zu den Zielgitterpunkten ab. In Gegenden mit geringer Datendichte wird versucht, die Schneehöheninkremente aus SYNOP-Niederschlägen und -Temperaturen abzuleiten.

## 3.3 Randdatenversorgung

Das COSMO-D2 benötigt als Ausschnittsmodell eine seitliche Steuerung durch ein antreibendes Modell. Diese Steuerung erfolgt über zeitlich variable Randwerte, die dem ICON-EU entstammen. Mithilfe des vorgeschalteten Interpolationsprogramms `int21m`, das jedem COSMO-D2-Lauf vorangeht, werden die ICON-EU-Vorhersagen auf das Gitter des COSMO-D2 übertragen.

Zur Zeit erfolgt die Interpolation in einstündigen Intervallen, d. h. COSMO-D2-Randwerte liegen im Abstand von einer Stunde vor. Modellintern wird an jedem Gitterpunkt linear zwischen jeweils zwei Randdatensätzen zeitlich interpoliert. Die Randdaten liegen nur temporär auf dem Compute Server vor, sie werden nicht in die COSMO-D2-Datenbank eingebracht.

## 4 Horizontale und vertikale Gitterstruktur

### 4.1 Horizontales Gitter

Die COSMO-D2-Felder sind auf einem sphärischen Gitter mit einem in den Pazifik (bei 40.0°N und 170.0°W) verlegten Koordinaten-Nordpol definiert. Das Gitter ist also kein normales geographisches Gitternetz, sondern ein rotiertes sphärisches Gitter. Die Lage des Koordinaten-Nordpols ist in COSMO-D2 und COSMO-DE identisch. Die englische Bezeichnungsweise für dieses Gitter lautet 'rotated latitude/longitude grid'. Dies ist in der Grid Description Section (GDS=section 3) der COSMO-D2-GRIB-Felder mit `gridDefinitionTemplateName=1` und `gridType=rotated_ll` bezeichnet.

Rotierte sphärische Koordinaten sind für regionale Wettervorhersagemodelle sehr rechenökonomisch (das sogenannte 'Polproblem' aufgrund schmaler Gitterzellen wird damit möglichst weit weg geschoben), haben allerdings den Nachteil, dass alle Felder z.B. für die graphische Darstellung in geographische Koordinaten transformiert werden müssen.

#### 4.1.1 Geographische Koordinaten mit rotiertem Pol

Das COSMO-D2-Gitter wird auf folgende Weise erzeugt:

- Das normale geographische Gradnetz mit  $(\lambda_g, \varphi_g)$  - Koordinaten (unter der Annahme, dass die Erde eine perfekte Kugel mit einem (mittleren) Radius von 6371.229 km ist) wird so gedreht, dass der Koordinaten-Nordpol des neuen rotierten  $(\lambda, \varphi)$  - Systems im Pazifik liegt. Die geographischen Koordinaten  $(\lambda_N, \varphi_N)$  dieses rotierten Nordpols werden folgendermaßen gewählt:  $\lambda_N = 170^\circ\text{W}$  und  $\varphi_N = 40.0^\circ\text{N}$ .
- In diesem neuen rotierten  $(\lambda, \varphi)$  - Koordinatensystem wird ein äquidistantes Gitter eingeführt. Die Maschenweite beträgt

$$\Delta\lambda = \Delta\varphi = 0.02^\circ \sim 2.2 \text{ km} . \quad (10)$$

Die Transformationsbeziehungen zwischen den geographischen Koordinaten  $(\lambda_g, \varphi_g)$  und den Koordinaten  $(\lambda, \varphi)$  des rotierten Systems lassen sich mit einfachen geometrischen Beziehungen aus der sphärischen Trigonometrie ableiten. Die Transformation von rotierten Koordinaten  $(\lambda, \varphi)$  in geographische Koordinaten  $(\lambda_g, \varphi_g)$  lautet

$$\lambda_g = \lambda_N - \arctan \left\{ \frac{\cos \varphi \sin \lambda}{\sin \varphi \cos \varphi_N - \sin \varphi_N \cos \varphi \cos \lambda} \right\} ,$$

$$\varphi_g = \arcsin \{ \sin \varphi \sin \varphi_N + \cos \varphi \cos \lambda \cos \varphi_N \} ,$$

und für die Rücktransformation von geographischen Koordinaten  $(\lambda_g, \varphi_g)$  in rotierte Koordinaten  $(\lambda, \varphi)$  erhält man

$$\lambda = \arctan \left\{ \frac{-\cos \varphi_g \sin(\lambda_g - \lambda_N)}{-\cos \varphi_g \sin \varphi_N \cos(\lambda_g - \lambda_N) + \sin \varphi_g \cos \varphi_N} \right\} ,$$

$$\varphi = \arcsin \{ \sin \varphi_g \sin \varphi_N + \cos \varphi_g \cos \varphi_N \cos(\lambda_g - \lambda_N) \} .$$

Zu beachten ist, dass in diesen Formeln alle Winkel in Bogenmaß gegeben sind. Um den Winkel in Grad zu erhalten, muß man mit dem Faktor  $180/\pi = 57.2957795$  multiplizieren. Wenn man die Formel selbst programmiert, muß darauf geachtet werden, dass der arctan in allen vier Quadranten korrekt ausgewertet wird<sup>2</sup>, weil sonst die Längenangaben um  $180^\circ$  falsch sein können.

In der `dwdlib` (speziell in der Library `libmisc.a`) befinden sich die vier Funktionen `RLSTORL`, `PHSTOPH`, `RLTORLS` sowie `PHTOPHS`, die die Transformationen zwischen den beiden Koordinatensystemen berechnen. Diese Programme erwarten und geben die Winkel in Grad.

- Das Funktionsunterprogramm `RLSTORL` berechnet aus Länge und Breite des rotierten Systems die geographische Länge (RL).
- Das Funktionsunterprogramm `PHSTOPH` berechnet aus Länge und Breite des rotierten Systems die geographische Breite (PH).
- Das Funktionsunterprogramm `RLTORLS` berechnet aus der geographischen Länge und Breite die Länge im rotierten System (RLS).
- Das Funktionsunterprogramm `PHTOPHS` berechnet aus der geographischen Länge und Breite die Breite im rotierten System (PHS).

Falls die Transformation für sehr viele Punkte oder gar für ein ganzes Feld ausgeführt werden soll, sind die besser optimierten `dwdlib`-Programme `PLSTOPL` und `PLTOPLS` sowie `APLSTPL` und `APLTPLS` zu empfehlen. Der Benutzer kann sich die Kurzbeschreibung dieser Programme z.B. mit dem Aufruf `disdwd PLSTOPL` oder mit `man libmisc` beschaffen. Als Beispiel findet sich im Anhang eine Fortran90-Version dieser Umrechnungsprogramme.

#### 4.1.2 Modellgebiet und Feldstruktur

Das Modellgebiet des COSMO-D2 (Abb. 3) umfaßt neben Deutschland, der Schweiz und Österreich auch Teile der jeweils angrenzenden Länder. Im Vergleich zum COSMO-DE ist das Modellgebiet vor allem nach Westen und Süden, in geringerem Maß auch nach Norden, ausgedehnt worden. Mit  $IE \times JE = 651 \times 716 = 466116$  Gitterpunkten wird bei einer Maschenweite von  $0.02^\circ$  ( $\sim 2.2$  km) eine Fläche von ca.  $1430 \times 1590$  km<sup>2</sup> überdeckt.

Die vier Eckpunkte des COSMO-D2-Modellgebiets haben die folgenden Koordinaten  $(\lambda, \varphi)$  im rotierten System und die Koordinaten  $(\lambda_g, \varphi_g)$  im geographischen System:

Linke untere Ecke:	$\lambda = 07.50^\circ \text{W}$	$\varphi = 06.30^\circ \text{S}$	$\lambda_g = 00.25^\circ \text{E}$	$\varphi_g = 43.19^\circ \text{N}$
Rechte untere Ecke:	$\lambda = 05.50^\circ \text{E}$	$\varphi = 06.30^\circ \text{S}$	$\lambda_g = 17.54^\circ \text{E}$	$\varphi_g = 43.42^\circ \text{N}$
Linke obere Ecke:	$\lambda = 07.50^\circ \text{W}$	$\varphi = 08.00^\circ \text{N}$	$\lambda_g = 03.84^\circ \text{W}$	$\varphi_g = 57.31^\circ \text{N}$
Rechte obere Ecke:	$\lambda = 05.50^\circ \text{E}$	$\varphi = 08.00^\circ \text{N}$	$\lambda_g = 20.21^\circ \text{E}$	$\varphi_g = 57.62^\circ \text{N}$

Für ein beliebiges GRIB-Ausgabefeld `FELD` sind die Eckpunkte links unten und rechts oben definiert durch die Startindizes  $i = 1$  und  $j = 1$  bzw. die Endindizes  $i = IE = 651$  und

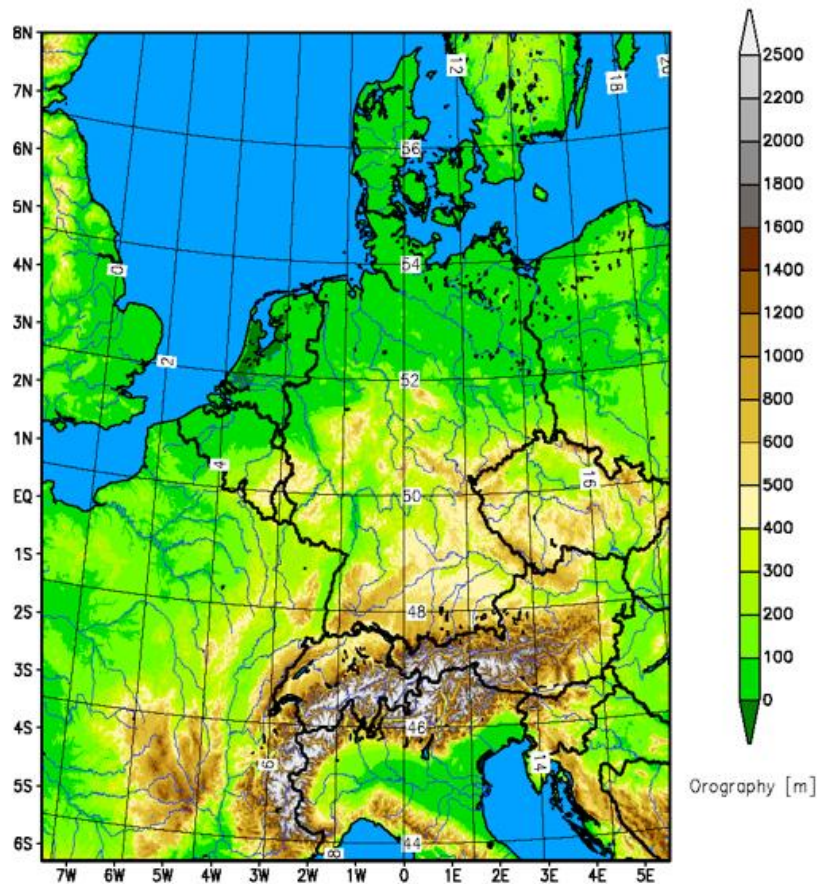


Abbildung 3: Integrationsgebiet des COSMO-D2. Topographische Höhe (in m) für Landanteile  $> 50\%$  (für die operationell verwendete gefilterte Orographie). Schwarze Linien bezeichnen die geographischen Koordinaten; am linken und unteren Rand sind die rotierten Koordinaten angegeben.

$j = JE = 716$ . Die Spalten ( $i$ ) der Feldmatrix  $FELD(i, j)$  laufen im rotierten Gitter von West nach Ost, die Zeilen  $j$  von Süd nach Nord (Abb. 4).

Ein im GRIB-Code gespeichertes 2D-Feld besteht aus den eigentlichen Daten (Feldwerten), welche durch eine Grid Description Section (GDS) = section 3 und eine Product Definition Section (PDS) = section 4 ergänzt werden. Je Feldwert werden (für die meisten Variablen) zwei Bytes, d. h. 16 Bits verwendet. Eine weitere Beschreibung der Inhalte der GDS und der PDS findet sich in Abschnitt 5. Beispielsweise stehen die Felddimensionen ( $IE, JE$ ), die rotierten Koordinaten der linken unteren und der rechten oberen Ecke des Modellgebiets, die Polkoordinaten des rotierten Systems und die vertikale Gitterstruktur in der GDS.

In allen Anschlußprogrammen, die binäre GRIB-Felder verarbeiten, sollte die Definition der Gitterstruktur grundsätzlich nicht 'hartverdrahtet' festgelegt, sondern jeweils aus den GRIB-Metadaten des jeweiligen Feldes geholt und überprüft werden. Dies erhöht die Flexibilität dieser

<sup>2</sup>Viele Programmiersprachen bieten neben der normalen arctan-Funktion auch eine Erweiterung an, z.B. in Fortran die Funktion `ATAN2(zaehler, nenner)`, die den Quadranten korrekt berücksichtigt.

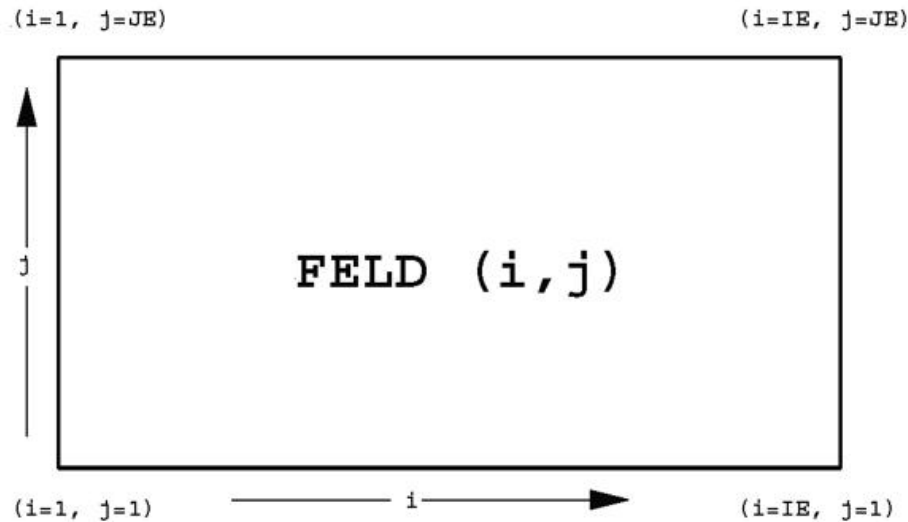


Abbildung 4: Indizierung einer Feldmatrix im COSMO-Modellgitter.

Programme bei Änderungen der Gebietsgröße  $IE$ ,  $JE$  oder der Auflösung  $d\lambda$ ,  $d\phi$  des Modells; in der GRIB2-Nomenklatur sind das die Metadaten  $Ni$ ,  $Nj$  beziehungsweise `iDirectionIncrementInDegrees`, `jDirectionIncrementInDegrees`. In 1 und 2 sind Ausschnitte aus den für das Horizontalgitter relevanten GRIB2-Metadaten eines beliebigen COSMO-D2-Ausgabefeldes angegeben.

In den Datenbanken des COSMO-D2 sind die geographischen Koordinaten  $(\lambda_g, \varphi_g)$  eines jeden Gitterpunkts unter den Feldern `RLON` und `RLAT` gespeichert. Ihnen sind eine bestimmte Elementkennung und Tabellenummer zugeordnet, die in der PDS (=section 4 in GRIB2) zu finden sind (siehe Abschnitt 5).

### 4.1.3 Horizontale Gitterbelegung

Das COSMO-Modell benutzt zur horizontalen Anordnung der Variablen das sogenannte Arakawa-C-Gitter. Dieses Gitter ist aus numerischen Gründen sehr vorteilhaft, hat aber für den Nutzer der COSMO-Daten den Nachteil, dass nicht alle Variablen räumlich am selben Gitterpunkt definiert sind. Von den zur Zeit in der Datenbank befindlichen Feldern betrifft dies die horizontalen Windkomponenten `U` (zonaler Wind  $u$  im gedrehten Gitter) und `V` (meridionaler Wind  $v$  im gedrehten Gitter) auf Modellflächen, sowie die Impulsflüsse `AUMFL_S` und `AVMFL_S` (siehe Abschnitt 5 zur Spezifikation der GRIB2-Elementkennung und des Leveltyps dieser Felder).

Die Windkomponente `U` sowie der Impulsfluß `AUMFL_S` liegen um eine halbe Maschenweite in 'zonal' Richtung nach 'Osten' verschoben vor und die Windkomponente `V` sowie der Impulsfluß `AVMFL_S` sind an einem um eine halbe Maschenweite in 'meridional' Richtung nach 'Norden' verschobenen Punkt definiert (siehe Abb. 5). In der GDS dieser Felder ist diese Verschiebung berücksichtigt. Die Verschiebung bezieht sich auf Gitterpunkte, an denen die Temperatur, der Druck und die meisten anderen COSMO-D2-Felder definiert sind; diese Punkte heißen 'Massenpunkte'.

Diese Anordnung der Windkomponenten `U` und `V` gilt jedoch nur für die Windkomponenten

```

...
gridDefinitionTemplateName = 1;
shapeOfTheEarth = 6;
Ni = 651;
Nj = 716;
iScansNegatively = 0;
jScansPositively = 1;
jPointsAreConsecutive = 0;
alternativeRowScanning = 0;
latitudeOfFirstGridPointInDegrees = -6.3;
longitudeOfFirstGridPointInDegrees = 352.51;
latitudeOfLastGridPointInDegrees = 8;
longitudeOfLastGridPointInDegrees = 5.51;
iDirectionIncrementInDegrees = 0.02;
jDirectionIncrementInDegrees = 0.02;
latitudeOfSouthernPoleInDegrees = -40;
longitudeOfSouthernPoleInDegrees = 10;
angleOfRotation = 0;
gridType = rotated_ll;
NV = 6;
...

```

Tabelle 1: Ausschnitt aus den für das Horizontalgitter relevanten GRIB2-Metadaten eines beliebigen COSMO-D2-Ausgabefeldes (erzeugt mit dem Kommando `grib_dump` der `GRIB_API` des ECMWF)

auf Modellflächen (`typeOfFirstFixedSurface=L1=150`). Um den Nutzern die Anwendung von Winden auf Druckflächen (`typeOfFirstFixedSurface=L1=100`) und auf Höhenflächen über mean sea level (`L1=102`) sowie vom 10-m-Wind (`L1=103`) zu erleichtern, sind die Windkomponenten U und V auf diesen Flächen schon auf die Massenpunkte interpoliert worden.

Anmerkung zur GRIB2-Konvention: Für Felder auf einer (Modell-)fläche ist lediglich die Angabe von `typeOfFirstFixedSurface` notwendig (üblicherweise ist dann `typeOfFirstFixedSurface=255` gesetzt). Dagegen ist für Variablen, die für ein Volumen (d.h. in der Vertikalen zwischen zwei Flächen) definiert sind, die Angabe von `typeOfFirstFixedSurface` und `typeOfSecondFixedSurface` notwendig.

#### 4.1.4 Drehung der horizontalen Windkomponenten

Die in der COSMO-D2-Datenbank unter den Namen U und V abgelegten Windkomponenten ( $u, v$ ) beziehen sich ebenfalls auf das rotierte Gitter. Als Vektorkomponenten unterscheiden sie sich von den zonalen ( $u_g$ ) und den meridionalen ( $v_g$ ) Winden im geographischen Koordinatensystem. Für eine Darstellung oder Weiterverarbeitung im geographischen Gitter müssen die Windkomponenten somit transformiert werden, um Fehler bei der Interpretation oder Verifikation der Windfelder zu vermeiden. Die Umrechnung zwischen den zonalen und meridionalen Windkomponenten im rotierten ( $u, v$ ) und im geographischen ( $u_g, v_g$ ) System wird mit folgenden Formeln durchgeführt:

$$\begin{aligned}
 u &= u_g \cos \delta - v_g \sin \delta \\
 v &= u_g \sin \delta + v_g \cos \delta
 \end{aligned}$$

```

...
===== SECTION_3 ( length=84, padding=0 ) =====
1-4      section3Length = 84
5        numberOfSection = 3
6        sourceOfGridDefinition = 0 [Specified in Code table 3.1 (grib2/tables/11/3.0.table) ]
7-10     numberOfDataPoints = 466116
11       numberOfOctectsForNumberOfPoints = 0
12       interpretationOfNumberOfPoints = 0 [There is no appended list (grib2/tables/11/3.11.table) ]
13-14    gridDefinitionTemplateNumber = 1 [Rotated latitude/longitude (grib2/tables/11/3.1.table) ]
15       shapeOfTheEarth = 6 [Earth assumed spherical with radius of 6 371 229.0 m (grib2/tables/11/3.2.table) ]
16       scaleFactorOfRadiusOfSphericalEarth = MISSING
17-20    scaledValueOfRadiusOfSphericalEarth = MISSING
21       scaleFactorOfEarthMajorAxis = MISSING
22-25    scaledValueOfEarthMajorAxis = MISSING
26       scaleFactorOfEarthMinorAxis = MISSING
27-30    scaledValueOfEarthMinorAxis = MISSING
31-34    Ni = 651
35-38    Nj = 716
39-42    basicAngleOfTheInitialProductionDomain = 0
43-46    subdivisionsOfBasicAngle = MISSING
47-50    latitudeOfFirstGridPoint = -6300000
51-54    longitudeOfFirstGridPoint = 352510000
55       resolutionAndComponentFlags = 56 [00111000]
56-59    latitudeOfLastGridPoint = 8000000
60-63    longitudeOfLastGridPoint = 5510000
64-67    iDirectionIncrement = 20000
68-71    jDirectionIncrement = 20000
72       scanningMode = 64 [01000000]
73-76    latitudeOfSouthernPole = -40000000
77-80    longitudeOfSouthernPole = 100000000
81-84    angleOfRotation = 0
...

```

Tabelle 2: analog zu Tabelle 1 die Ausgabe der GDS (=section 3 in GRIB2) im Oktalmode (mittels Befehl `grub_dump -0`).

$$\begin{aligned}
 u_g &= u \cos \delta + v \sin \delta \\
 v_g &= -u \sin \delta + v \cos \delta
 \end{aligned}$$

wobei  $\delta$  der Winkel zwischen den Längengraden im geographischen System  $(\lambda_g, \varphi_g)$  und im rotierten System  $(\lambda, \varphi)$  ist:

$$\delta = \arctan \left\{ \frac{\cos \varphi_N \sin(\lambda_N - \lambda_g)}{\cos \varphi_g \sin \varphi_N - \sin \varphi_g \cos \varphi_N \cos(\lambda_N - \lambda_g)} \right\}. \quad (11)$$

$\lambda_N$  und  $\varphi_N$  sind die geographischen Koordinaten des rotierten Pols (siehe Abschnitt 4.1.1). Diese Werte können auch der GDS entnommen werden (vgl. Tabellen 1 und 2). Der Winkel  $\delta$  ist für COSMO-D2-Gitterpunkte entlang 10°E exakt Null, so dass hier  $u = u_g$  und  $v = v_g$  gilt. Je weiter der COSMO-D2-Gitterpunkt von 10°E entfernt liegt, desto größer ist der Winkel  $\delta$ .

Die obige Umrechnung ( $u$  in  $u_g$  und  $v$  in  $v_g$ ) muß auch für die Windkomponenten in 10 m Höhe über der Modellorographie (`U_10M` und `V_10M`) durchgeführt werden. Die Böen in 10 m Höhe `VMAX_10M` sind dagegen als skalare Größe in beiden Koordinatensystemen gleich.

Für die Drehung der horizontalen Windkomponenten sind in der `dwdlib` zwei Routinen bereitgestellt:

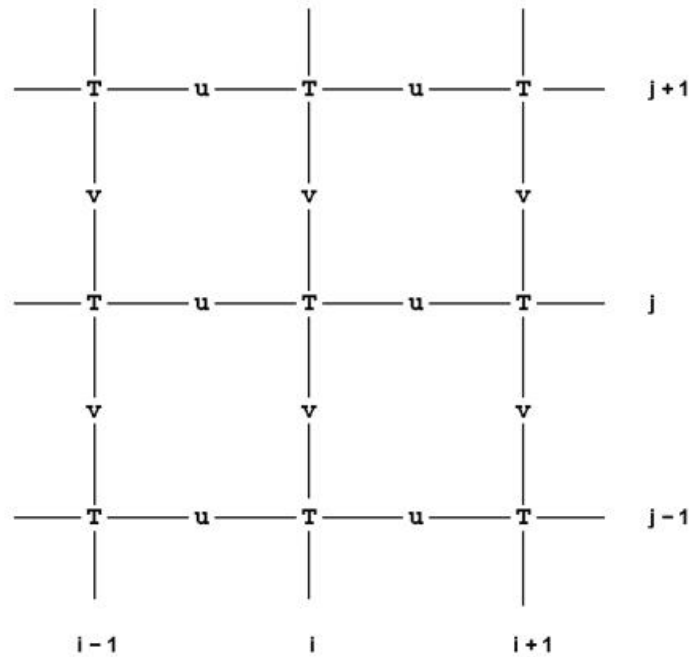


Abbildung 5: Horizontale Anordnung der Variablen im Arakawa-C-Gitter des COSMO-Modells.

- das Unterprogramm UVTUVS berechnet die Windkomponenten  $u$  und  $v$  im rotierten Gitter aus den Komponenten  $u_g$  und  $v_g$  im geographischen Koordinatensystem und
- das Unterprogramm UVSTUUV berechnet die Windkomponenten  $u_g$  und  $v_g$  im geographischen Koordinatensystem aus den Komponenten  $u$  und  $v$  im rotierten Gitter.

Falls die Transformation der Windkomponenten für das ganze COSMO-D2-Feld ausgeführt werden soll, sind die besser optimierten Unterprogramme AUVTVS und AUVSTUV aus der `dwdlib` zu empfehlen.

Wie oben erläutert, liegen die Felder  $U$  und  $V$  der Windkomponenten auf den hybriden Modellflächen räumlich um eine halbe Maschenweite in die jeweilige Raumrichtung verschoben vor. Aufgrund dieser C-Gitter-Anordnung müssen die Windkomponenten daher zunächst auf einen gemeinsamen Gitterpunkt, den Massengitterpunkt, interpoliert werden. An diesem Punkt sind auch alle anderen Modellvariablen definiert (Temperatur, Druck, Feuchte etc.), insbesondere auch die Felder `RLAT` und `RLON` mit den geographischen Breiten- und Längenangaben für die rotierten Gitterpunkte. Die auf den Massengitterpunkt  $(i,j)$  interpolierten Windkomponenten  $UM$  und  $VM$  berechnet man mit der folgenden Programmsequenz

```
DO j = 2, je
  DO i = 2, ie
    um(i,j) = 0.5 * ( u(i,j) + u(i-1,j) )
    vm(i,j) = 0.5 * ( v(i,j) + v(i,j-1) )
  ENDDO
ENDDO
```

aus den Windkomponenten  $u$  und  $v$  im rotierten Gitter.  $UM$  und  $VM$  können dann mit der `dwdlib` Routine `UVSTOUV` in die zonalen und meridionalen Windkomponenten im geographischen System umgerechnet werden.

## 4.2 Vertikale Gitterstruktur

Das COSMO-D2 verwendet zeitlich fixierte Modellschichten. Die Höhe einer Modellschicht – ihr Geopotential – ändert sich also nicht im Verlauf der Integration.

Wie bereits in Abschnitt 2.3 erwähnt, ist das Gitter nicht nur in horizontaler Richtung sondern auch in vertikaler Richtung versetzt, d.h. wir unterscheiden **Hauptflächen**, die die Schichtmitten definieren, und **Nebenflächen**, die die Schichten nach oben und unten begrenzen. Der Index  $k$  der Hauptflächen läuft von  $k = 1, \dots, KE$ , wobei  $KE$  die Anzahl der Schichten in der Vertikalen ist. Die Zahl der Nebenflächen ist demnach  $KE + 1$ . In der Diskretisierung erhalten die Schichtgrenzen den Index  $k' = k - 1/2$  für  $k = 1, \dots, KE + 1$ . Für die Fortran-Programmierung (INTEGER-Darstellung der Laufindizes) treffen wir die Vereinbarung, dass die obere Nebenfläche einer Schicht den gleichen Laufindex wie die Schichtmitte erhält.  $k'$  läuft dann von  $k' = 1$  (Oberrand der Modellatmosphäre) bis  $k' = KE + 1$  (Erdboden).

Das COSMO-D2 verwendet in seiner derzeitigen Version  $KE = 65$  Schichten (Hauptflächen) mit  $KE + 1 = 66$  Schichtgrenzen (Nebenflächen). Es wird ein hybrides Koordinatensystem verwendet, das im oberen Bereich (Stratosphäre) horizontale Modellflächen ( $z = const$ ) aufweist, während im unteren Bereich die Flächen der Modellorographie folgen – und zwar um so genauer, je tiefer die Schicht liegt.

Die vertikale Gitterstruktur wird durch die externe Vorgabe von Werten der Vertikalkoordinate  $\tilde{\zeta}_{k'}$  an Modellnebenflächen definiert.

Für die Nutzer der COSMO-D2-Felder in den Datenbanken sind detaillierte Kenntnisse über die Erzeugung der Vertikalkoordinate nicht erforderlich. Als konstantes 3D-Feld ist die Höhe der Modellnebenflächen `HHL` über Meeresniveau gespeichert, womit die vertikale Gitterstruktur eindeutig definiert ist. Die Höhe der Schichtmitten (Hauptflächen) ist als arithmetisches Mittel der beiden jeweils begrenzenden Nebenflächen berechenbar. Zudem enthält die Datenbank den Gesamtdruck `P` für die Schichtmitten, so dass alle Grafikprodukte erstellbar sein sollten.

In früheren Beschreibungen des COSMO-DE wurde die Erzeugung des Gitters aus den Referenzhöhenwerten über einem Meeressgitterpunkt und mit Hilfe von 2 Hilfsfeldern  $a(\mu)$  und  $b(\mu)$  sowie der Orographie angegeben. Dies wird nun nicht mehr empfohlen, einerseits weil die Referenzhöhenwerte in GRIB2 (im Ggs- zu GRIB1) nicht mehr in der GDS verschlüsselt werden können. Andererseits verwendet COSMO-D2 nun die sogenannte SLEVE-Koordinate Leuenberger *et al.* (2010), bei der die Gitterflächen nach oben hin glatter verlaufen und die bodennahe Stauchung über Bergen schwächer ausfällt als in der bisherigen von COSMO-DE verwendeten Gal-Chen-Koordinate. Bei die SLEVE-Koordinate wäre die Rekonstruktion des Gitters jedoch noch aufwendiger (es werden 3 Hilfsfelder benötigt).

Um einen ungefähren Eindruck über das vertikale Gitter zu vermitteln, gibt Tabelle 3 die Vertikalkoordinaten  $z_{k'}$  der Modellnebenflächen  $k'$  für die operationelle 65-Schichten-Version des COSMO-D2 für einen Gitterpunkt auf Meeresniveau an. Außerdem ist der Referenzdruck  $p_0$  angegeben. Der Druck und die Höhe der Schichtmitten folgen durch arithmetische Mittelung.

Ihre Werte sind in Tab. 4 angegeben. Die unterste Hauptfläche liegt also in etwa 10 m über Grund (für einen Gitterpunkt auf Meeresniveau).

Tabelle 3: Vertikalkoordinaten  $z_{k'}$  der Schichtgrenzen (Modellnebenflächen)  $k'$  des COSMO-D2 über einem Meeresgitterpunkt sowie der zugehörige Referenzdruck  $p_0$

$k'$	$\mu$ (m)	$p_0$ (hPa)
1	22000.0000	44.8590
2	21040.0000	52.0052
3	20108.8900	59.9888
4	19206.2300	68.8575
5	18331.5600	78.6545
6	17484.4300	89.4171
7	16664.3900	101.1761
8	15870.9900	113.9546
9	15103.7800	127.7674
10	14362.3100	142.6201
11	13646.1200	158.5090
12	12954.7700	175.4205
13	12287.8000	193.3309
14	11644.7600	212.2069
15	11025.2100	232.0049
16	10428.6900	252.6728
17	9854.7400	274.1500
18	9302.9300	296.3668
19	8772.8000	319.2476
20	8263.8900	342.7110
21	7775.7600	366.6697
22	7307.9500	391.0335
23	6860.0200	415.7084
24	6431.5100	440.5999
25	6021.9700	465.6126
26	5630.9500	490.6514
27	5258.0100	515.6223
28	4902.6800	540.4357
29	4564.5200	565.0033
30	4243.0800	589.2417
31	3937.9000	613.0725
32	3648.5400	636.4216
33	3374.5400	659.2218
34	3115.4600	681.4103
35	2870.8400	702.9324
36	2640.2200	723.7399
37	2423.1700	743.7884
38	2219.2300	763.0427
39	2027.9500	781.4733
40	1848.8700	799.0580
41	1681.5500	815.7790
42	1525.5300	831.6265
43	1380.3700	846.5944
44	1245.6100	860.6843
45	1120.8000	873.9018
46	1005.4900	886.2579
47	899.2400	897.7667
48	801.5800	908.4501
49	712.0700	918.3308
50	630.2600	927.4361
51	555.6900	935.7979
52	487.9200	943.4489
53	426.4900	950.4268
54	370.9500	956.7707
55	320.8600	962.5207
56	275.7600	967.7211
57	235.1900	972.4180
58	198.7200	976.6555
59	165.8800	980.4836
60	136.2300	983.9500
61	109.3200	987.1043
62	84.6900	989.9983
63	61.8900	992.6832
64	40.4800	995.2096
65	20.0000	997.6310
66	0.0000	1000.0000

Tabelle 4: Höhe  $z$  über Meeresniveau und Referenzdruck  $p_0$  der Schichtmitten (Modellhauptflächen)  $k$  des COSMO-D2 (wiederum für einen Meeressgitterpunkt)

<b>k</b>	$z$ (m)	$p_0$ (hPa)
1	21520.0000	48.3035
2	20574.4471	55.8585
3	19657.5630	64.2751
4	18768.8965	73.5986
5	17907.9968	83.8696
6	17074.4128	95.1222
7	16267.6935	107.3836
8	15487.3878	120.6727
9	14733.0449	134.9999
10	14004.2136	150.3662
11	13300.4430	166.7630
12	12621.2821	184.1717
13	11966.2798	202.5638
14	11334.9851	221.9008
15	10726.9471	242.1351
16	10141.7147	263.2099
17	9578.8370	285.0602
18	9037.8629	307.6135
19	8518.3413	330.7909
20	8019.8214	354.5081
21	7541.8521	378.6761
22	7083.9824	403.2028
23	6645.7612	427.9939
24	6226.7376	452.9541
25	5826.4606	477.9881
26	5444.4792	503.0017
27	5080.3423	527.9027
28	4733.5989	552.6018
29	4403.7981	577.0134
30	4090.4888	601.0563
31	3793.2200	624.6544
32	3511.5408	647.7368
33	3245.0000	670.2388
34	2993.1467	692.1016
35	2755.5300	713.2729
36	2531.6987	733.7070
37	2321.2019	753.3645
38	2123.5886	772.2129
39	1938.4077	790.2258
40	1765.2083	807.3834
41	1603.5394	823.6719
42	1452.9499	839.0834
43	1312.9888	853.6160
44	1183.2051	867.2728
45	1063.1479	880.0621
46	952.3661	891.9973
47	850.4087	903.0959
48	756.8246	913.3798
49	671.1630	922.8747
50	592.9728	931.6098
51	521.8029	939.6175
52	457.2024	946.9331
53	398.7202	953.5946
54	345.9054	959.6422
55	298.3070	965.1184
56	255.4739	970.0674
57	216.9551	974.5349
58	182.2997	978.5681
59	151.0565	982.2154
60	122.7747	985.5262
61	97.0032	988.5507
62	73.2910	991.3399
63	51.1870	993.9455
64	30.2404	996.4197
65	10.0000	998.8149

## 5 Die Ausgabefelder des COSMO-D2

Die Schnittstelle des COSMO-D2 zum Einlesen von Anfangs- und Randdaten sowie zum Schreiben von Ergebnisdaten sind verschiedene auf dem Modellgebiet definierte Felder. Um Plattenplatz zu sparen und um den Datenaustausch mit anderen Zentren zu erleichtern, wird ein internationales binäres Standardformat verwendet – der GRIB-Code. Die Ausgabe des COSMO-D2 erfolgt speziell im GRIB2-Format. **GRIB2** (**G**eneral **R**egulary-distributed **I**nformation in **B**inary form, Edition **2**) ist das aktuelle von der WMO für Vorhersageprodukte vorgeschriebene Ausgabeformat, siehe

<http://www.wmo.int/pages/prog/www/WMOCodes.html>

Im GRIB-Code liegen die Felder in dicht gepackter Form vor. Für jedes Feld sind mehrere Abschnitte vorhanden:

- (a) die eigentlichen **Gitterpunktsdaten**. Für COSMO-D2 wird ein einzelner Datenwert im allg. nur durch 16 Bits = 2 Bytes repräsentiert. Durch die Felddarstellung im gepackten GRIB-Format wird also die ursprünglich hohe Genauigkeit im Modell (14 Dezimalstellen) auf etwas weniger als 5 Dezimalstellen vergrößert.
- (b) die **Grid Description Section (GDS) = section 3**. Sie enthält detaillierte Angaben über die horizontale und vertikale Gitterstruktur, die Dimension und die Lage des jeweiligen Feldes. Tabelle 2 zeigt den Aufbau der GDS für ein COSMO-D2-Feld.
- (c) die **Product Definition Section (PDS) = section 4**. Sie beschreibt den Inhalt des Feldes. In GRIB2 ist eine Variable mindestens durch das Tripel **Disziplin, Kategorie** und **Parameternummer** gekennzeichnet. Weitere Metadaten differenzieren z.B. bezüglich Schicht bzw. Höhe und 'statistischem Prozeß' (zeitl. Extrema, Mittelwerte, Aufsummierungen). In der Regel ist es ausreichend, die Variablen durch ihren Kurznamen ('shortName' bei Verwendung der **GRIB\_API**), der bereits mit GRIB1 Verwendung fand, anzusprechen. Tabelle 5 gibt ein Beispiel für den Aufbau der PDS.

Die Standard-Software im DWD für GRIB ist die **GRIB\_API** des EZMW, ([http://www.ecmwf.int/publications/manuals/grib\\_api/index.html](http://www.ecmwf.int/publications/manuals/grib_api/index.html)) welche zur Kodierung sowohl von GRIB1 (älteres Format) als auch GRIB2 entwickelt wurde. Sie umfasst sowohl Programmierschnittstellen zum Lesen und Schreiben von GRIB1/2-Dateien in Fortran-, C- oder Python-Programmen als auch Befehlszeilentools zum Analysieren und Verarbeiten von GRIB-Feldern. Beispielsweise kann mittels

```
> grib_ls gribdatei
```

das Repository einer Grib-datei gelistet werden.

```
> grib_dump gribdatei
```

gibt dann weitergehende Informationen über die einzelnen Grib-Felder aus. Will man die Metadaten in 'Reinform' sehen und nach Grib-Sektionen geordnet, dann kann man sich die sog. Oktetts mittels

```

===== SECTION_4 ( length=58, padding=0 ) =====
1-4      section4Length = 58
5        numberOfSection = 4
6-7      NV = 6
8-9      productDefinitionTemplateNumber = 0 [Analysis or forecast at a horizontal level or in a horizon]
10       parameterCategory = 2 [Momentum]
11       parameterNumber = 2 [u-component of wind (m/s)]
12       typeOfGeneratingProcess = 2 [Forecast]
13       backgroundProcess = 0 [main run]
14       generatingProcessIdentifier = 138 [c3_fc (old name: LM3MO)]
15-16    hoursAfterDataCutoff = MISSING
17       minutesAfterDataCutoff = MISSING
18       indicatorOfUnitOfTimeRange = 1 [Hour]
19-22    forecastTime = 51
23       typeOfFirstFixedSurface = 150 [Generalized vertical height coordinate]
24       scaleFactorOfFirstFixedSurface = 0
25-28    scaledValueOfFirstFixedSurface = 1
29       typeOfSecondFixedSurface = 150 [Generalized vertical height coordinate]
30       scaleFactorOfSecondFixedSurface = 0
31-34    scaledValueOfSecondFixedSurface = 2
35-38    nlev = 66
39-42    numberOfVGridUsed = 4
43-58    uuidOfVGrid = 265e75634010342b5dd9fc21dff7eac3

```

Tabelle 5: Beispiel für die PDS = section 4 eines GRIB2-Files für die horizontale Windgeschwindigkeitskomponenten  $u$  (erzeugt mit `grib_dump -0`).

```
> grib_dump -0 gribdatei
```

anschauen; dabei werden also nur die sog. 'coded keys' ausgegeben.

Die GRIB\_API basiert auf einem Key-Value- bzw. Schlüsselwort-Wert-Ansatz. Diese Schlüsselwörter (Keys) erlauben die Identifizierung bzw. Definition der Variablen. Die folgenden Tabellen listen nur die wichtigsten Angaben zur Identifikation von Variablen in GRIB2-Dateien und soll Nutzern eine erste Orientierungshilfe bieten, falls diese *nicht* die GRIB\_API zusammen mit den nationalen DWD-Tabellen nutzen sollten.

Auf den Rechnern des DWD erfolgt der Datenbankzugriff auf Grib-Felder seit einiger Zeit mittels der Zugriffsschicht `sky`. In `sky` wird der Kurzname mit 'PARAMETER\_SHORTNAME' oder kurz `p` bezeichnet. Weiterhin steht `pdis` für die GRIB2-Disziplin, `pcat` für die Kategorie und `pnum` für die Parameternummer. Die Liste der GRIB2-Parameter der Routine-SKY-Datenbank roma für die Variablennamen erhält man mit dem Kommando (siehe auch `sky -h`):

```
> sky -d roma -g.
```

## 5.1 GRIB-Kennungen der COSMO-D2-Felder

Die folgenden Tabellen 6–19 geben einen Überblick über die Ausgabefelder des COSMO-D2. In Kapitel 7 ist beschrieben, welche GRIB2-Felder zu welchen Zeitpunkten tatsächlich in den Datenbanken abgelegt werden.

Bei den Ausgabefeldern muß man zwischen sogenannten **Ein-Flächen-Feldern** und **Viel-Flächen-Feldern** unterscheiden. Ein-Flächen-Felder sind z. B. der Bodendruck, die Bodentemperatur oder die Windkomponenten in 10 m über Grund. Viel-Flächen-Felder liegen für alle hybriden Modellschichten oder für die Schichtgrenzen (Nebenflächen) vor. Modellvariablen, die an den Hauptflächen als Schichtwerte definiert sind, erhalten sowohl für Leveltyp L1 als auch L2 den Wert 150. Für diese Felder steht der Index ( $k$ ) der oberen Schichtgrenze im Grib-key `topLevel`, der der unteren Schichtgrenze ( $k + 1$ ) in `bottomLevel`. Der Index der Schicht wird vereinbarungsgemäß mit `level` angesprochen. (Dies sind sog. 'computed keys', die wiederum aus Grib-keys `typeOfFirstFixedSurface`, `scaleFactorOfFirstFixedSurface`, `scaledValueOfFirstFixedSurface`, `typeOfSecondFixedSurface`, `scaleFactorOfSecondFixedSurface` und `scaledValueOfSecondFixedSurface` erzeugt werden) Man kann sich diese z.B. mittels `grib_ls -P topLevel,bottomLevel,level lfff00010000 > a2` anzeigen lassen. Die Vertikalgeschwindigkeit und die Höhe der Schichtgrenzen sind an Modellnebenflächen definiert. Der Index der Schichtgrenze ist dem Grib-key `level` zu entnehmen.

Neben den Variablen im dreidimensionalen Modellgitter werden Viel-Flächen-Felder auch durch vertikale Interpolation auf **Druckflächen** und **z-Flächen** bereitgestellt (siehe Tab. 12 und Tab. 13 sowie die Angaben in Kap. 7). Felder auf Druckflächen erhalten die Kennung L1=100, Felder auf z-Flächen die Kennung L1=102. Im sky-Datenbankauftrag wird der Druckwert (*pres*) bzw. die Höhe (*z*) der jeweiligen Fläche mit der sky-kennung lv1 (in Pa bzw. in m) angegeben.

Die konstanten Felder, z.B. die Orographiehöhe, das HHL-Feld, Pflanzenbedeckungsgrad usw. werden für jeden Modelllauf in die Datenbank geschrieben, aber nur zum ersten Ausgabetermin, d. h. nur für `step=0h`.

Im Gegensatz zum ICON oder COSMO-EU wird im COSMO-D2 keine Parametrisierung der hochreichenden Konvektion verwendet. Alle damit zusammenhängenden Ausgabegrößen entfallen somit. Dies sind der konvektive Niederschlag (RAIN\_CON, SNOW\_CON) sowie die Felder zur Beschreibung der Konvektion (u.a. BAS\_CON, HBAS\_CON, TOP\_CON, HTOP\_CON, MFLX\_CON, CAPE\_CON, QCVG\_CON und TKE\_CON).

Darüber hinaus liefert das COSMO-D2 aber auch neue Analyse- und Vorhersagefelder. Dies sind neben der zusätzlichen Niederschlagsgröße Graupel (GRAU\_GSP) auch Felder aus der Parametrisierung der flachen Konvektion (HBAS\_SC, HTOP\_SC) sowie synthetisch erzeugte Radarbilder (DBZ\_850 bzw. DBZ\_CMAX).

Neben der bisher üblichen stündlichen Ausgabe erfolgt im COSMO-D2 für bestimmte Felder auch eine viertelstündliche Ausgabe, um die Entwicklung kleinskaliger Phänomene besser einschätzen und somit vorhersagen zu können (siehe dazu auch Kapitel 7).

Aufgrund der hohen räumlichen Auflösung des COSMO-D2 sind die Modellergebnisse auf der Gitterpunktsskala nur schwer interpretierbar. Daher wird in den Anschlußverfahren für spezielle Felder eine Mittelwertbildung über 5x5 Gitterpunkte vorgenommen. Zusätzlich werden einige dieser Mittelwerte an die Verteilungsfunktion des ursprünglichen Feldes angeeicht. Desweiteren werden mit Hilfe der Umgebungsmethode Überschreitungswahrscheinlichkeiten für bestimmte warnwürdige Ereignisse bestimmt Theis (2005).

In den folgenden Tabellen werden die Abkürzungen: D=Disziplin, K=Kategorie, Nr.=Parameternummer, L1=`typeOfFirstFixedSurface`, L2=`typeOfSecondFixedSurface` in den Tabellenspalten verwendet. Weiterhin bezeichnen oc=Erzeugende Organisation, sptype=Typ des statistischen Prozesses, gptype=Typ des erzeugenden Prozesses, lv1, lv2=Levelangaben.

Tabelle 6: Unveränderliche Felder des COSMO-D2 (nur für step=0h).

ShortName	Beschreibung	D	K	Nr	L1	L2	Sonstige	unit
HHL	Geometrische Höhe der Schichtgrenzen über NN	0	3	6	150	101		m
FIS	Geopotential der Erdoberfl.	0	3	4	1			m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup>
HSURF	Geometrische Höhe der Erdoberfläche über NN	0	3	6	1	101		m
FR.LAND	Landanteil	2	0	0				1
SOILTYP	Bodentyp	2	3	196				-
RLAT	Geographische Breite	0	191	1				°N
RLON	Geographische Länge	0	191	2				°E
ROOTDP	Wurzellänge	2	0	32				m
FC	Coriolisparameter	0	19	193				s <sup>-1</sup>
PLCOV	Pflanzenbedeckung	2	0	4			sptype≠2,≠3	%
LAI	Blattflächenindex	2	0	28			sptype≠2,≠3	1
HMO3	Höhe des Ozonmaximums	0	14	192				Pa
VI03	Vertikal integr. Ozongehalt	0	14	193				Pa(O <sub>3</sub> )
FR.LAKE	Wasseranteil	1	2	2				
DEPTH.LK	Seentiefe	1	2	0	1	162		m
ALB.DIF	Diffusive Albedo	0	19	18				

## 5.2 Hinweise zu einigen speziellen Feldern

In diesem Abschnitt sollen einige Hinweise zu den COSMO-D2-Feldern in den Datenbanken gegeben werden, um Mißverständnisse bei der Nutzung der Daten zu vermeiden.

Eine häufige Quelle von Fehlinterpretationen liegt darin begründet, dass gleichzeitig Momentanwerte und zeitlich integrierte Größen betrachtet werden, wie z. B. die Niederschlagsmenge (aufsummiert über die Vorhersagezeit) und Bewölkung (Momentanwert); es kann aber durchaus vorkommen, dass es in der letzten Stunde geregnet hat, ohne dass zum Termin noch Bewölkung vorhanden ist – so dass es scheinbar aus heiterem Himmel regnet.

### 5.2.1 Unveränderliche Felder

- HHL  
Geometrische Höhe der Schichtgrenzen (Modellflächen) über Meeresniveau.
- FIS  
Geopotential der Erdoberfläche. Diese Größe ist abgeleitet aus hochauflösenden Daten (GLOBE, Auflösung etwa 1 km × 1 km) durch Mittelwertbildung über das jeweilige COSMO-D2-Gitterelement. Innerhalb von diesem erscheinen daher alle Höhen und Täler eingeebnet (vgl. Abschnitt 2.5). Zusätzlich wird eine horizontale Orographiefilterung durchgeführt.
- HSURF  
Geometrische Höhe der Erdoberfläche über Meeresniveau (Modell-Orographie). Es gilt  $FIS = g \cdot HSURF$  mit  $g = 9,80665 \text{ m/s}^2$ .

- **FR\_LAND**  
Landanteil innerhalb des Gitterelements. Ebenfalls abgeleitet aus einem hochauflösenden Datensatz wie FIS. Die Werte liegen zwischen 0 und 1. Im COSMO-D2 werden Gitterpunkte mit  $FR\_LAND \geq 0,5$  als Landpunkte behandelt.
- **SOILTYP**  
Bodentyp (Bodentextur) des Landanteils. **SOILTYP** gibt die vorherrschende Bodenart im Gitterelement an und ist für alle Bodenschichten gleich. Die Bodentypen sind durch die Zahlen 1–9 verschlüsselt:

1: Eis	2: Fels	3: Sand
4: Sandiger Lehm	5: Lehm	6: Toniger Lehm
7: Ton	8: Torf	9: Wasser

Der Bodentyp bestimmt vor allem das Porenvolumen des Bodens, also die maximale Wassermenge, die der Boden aufnehmen kann. Zum Beispiel können in einer 10 cm dicken Bodenschicht maximal etwa 3,6 cm Wasser bei Sand oder 8,6 cm bei Torf gespeichert werden.
- **ROOTDP**  
Wurzeltiefe. Ein Parameter, der für den Wassertransport aus der tieferen Erdbodenschichten in die Atmosphäre wichtig ist. In den Außertropen unterliegt **ROOTDP** einem empirischen Jahresgang mit etwa 12 cm im Winter und 90 cm im Sommer.
- **PLCOV**  
Pflanzenbedeckungsgrad (klimatologischer Wert zwischen 0 und 100%). Zur Zeit gibt es im Modell einen Jahresgang aus klimatologischen Daten. Es ist geplant, einen aktuellen Pflanzenbedeckungsgrad aus Satellitendaten (NDVI-Index) bereitzustellen.
- **LAI**  
Blattflächenindex. Es gibt im Modell einen Jahresgang aus klimatologischen Daten.
- **HM03**  
Höhe des stratosphärischen Ozonmaximums. Vom EZMW wurde aus dem spärlichen Beobachtungsmaterial eine klimatologische Verteilung ermittelt, welche durch eine einfache Formel (wenige Kugelflächenfunktionen) die sehr großräumige geographische Verteilung und den jahreszeitlichen Gang darstellt. Ein eventuell vorhandenes zweites Ozonmaximum in Bodennähe bleibt außer Betracht. **HM03** wird bei der Strahlungsrechnung verwendet.
- **VI03**  
Vertikal integrierter Ozongehalt. Die klimatologische Verteilung wurde vom EZMW ebenfalls durch eine räumlich und zeitlich variierende Formel angenähert. Die aktuelle Ozonverteilung oder gar das Phänomen des Ozonlochs wird dadurch natürlich nicht erfasst. **VI03** wird bei der Strahlungsrechnung verwendet.
- **FOR\_E, FOR\_D**  
Pflanzenbedeckungsgrad von Nadelwald **FOR\_E** bzw. Laubwald **FOR\_D**. Anhand dieser konstanten Felder wird im Fall einer Schneebedeckung eine Korrektur der Albedo vorgenommen. Sie bewirkt eine Reduktion der hohen Albedowerte für Schnee und trägt damit der Tatsache Rechnung, dass Waldflächen auch in Gegenwart von Schnee in der Regel eine relativ geringe Reflektivität für solare Strahlung aufweisen.

### 5.2.2 Atmosphären-Felder (Modellgitter)

- U, V

Die Felder U und V enthalten die zonalen bzw. meridionalen Windkomponenten ( $u, v$ ) im rotierten Gitter des COSMO-D2. Daher ist für die Darstellung oder Interpretation im geographischen Gitter eine Drehung dieser Windkomponenten erforderlich.

- W

Physikalische Vertikalgeschwindigkeit  $w$  in (m/s). W ist an den Modellnebenflächen, d. h. den Schichtgrenzen (`typeOfFirstFixedSurface=150` und `typeOfSecondFixedSurface=255`) definiert.

- P, PP

Das Feld P enthält den nichthydrostatischen Druck  $p = p_0 + p'$ . P ist an Modellhauptflächen, d. h. an der Schichtmitte definiert (`typeOfFirstFixedSurface=typeOfSecondFixedSurface=150`) (Modellintern setzt er sich aus einem Referenzdruck P0, der nur von der Höhe abhängt, und einer zeitlich variablen Druckabweichung PP zusammen).

- QC

QC gibt den spezifischen Wassergehalt der kleinen, in der Luft suspendierten Wolkentröpfchen an (cloud droplets). Man spricht kurz vom Wolkenwassergehalt (cloud water content). Wolkenwasser tritt mit der derzeitigen Parametrisierung nur dann auf ( $QC > 0$ ), wenn das gesamte Gitterelement wassergesättigt ist. In diesem Fall beträgt die relative Feuchte ebenso wie der Bedeckungsgrad CLC in dieser Schicht 100%.

- QI

Spezifischer Wolkeneisgehalt. QI setzt sich ähnlich wie QC aus kleinen, in der Luft suspendierten Eiskristallen zusammen, die keine nennenswerte Relativbewegung zur Luftströmung aufweisen.

- QR, QS, QG

Spezifische Wassergehalte von Regen, Schnee und Graupel. Diese drei Wasserkategorien weisen eine größenabhängige Fallgeschwindigkeit (Sedimentation) auf.

- Q\_SEDIM

Spezifischer Wassergehalt aller sedimentierenden Größen, also

$$Q\_SEDIM = QR + QS + QG$$

(Anm.: diese Größe ersetzt die frühere Variable QRS<sup>3</sup>)

- CLC

Neben den prognostischen Modellvariablen wird der Gesamtbedeckungsgrad CLC in jeder Modellschicht als diagnostischer Parameter ausgegeben. Er setzt sich aus zwei Anteilen zusammen, einem stratiformen und einem, der mit dem Auftreten von Feuchtkonvektion verknüpft ist (siehe Abschnitt 2.4). Ist in einem Gitterelement der Wolkenwassergehalt  $QC > 0$  (dafür ist Voraussetzung, dass die relative Feuchte bezogen auf Wasser gleich 100% ist), so wird das Gitterelement in dieser Schicht als vollständig bedeckt angenommen, d. h. der stratiforme Anteil ist gleich 100%. Der Wolkeneisgehalt QI hingegen muß einen Schwellwert

<sup>3</sup>QRS ist eben nicht nur die Summe aus QR und QS, sondern enthält auch die nicht-sedimentierende Klasse QI, nicht jedoch QC. QRS ist damit (historisch gewachsen) eine schwer interpretierbare Größe geworden.

übersteigen, damit vollständige Bedeckung angenommen wird. Damit wird vermieden, dass schon dünne Cirren zu einer vollständigen Bedeckung führen. Bei Untersättigung wird der stratiforme Anteil aus einer empirischen Funktion des Drucks und der relativen Feuchte berechnet, wobei die parametrisierte flache Konvektion berücksichtigt wird.

- **TKE**

**TKE** gibt den Wert der Turbulenten Kinetischen Energie (TKE) auf Nebenflächen an. Sind  $\overline{u'^2}$ ,  $\overline{v'^2}$  und  $\overline{w'^2}$  die Varianzen der subskaligen Fluktuationen der Windgeschwindigkeitskomponenten, so ist die TKE definiert als  $TKE = \frac{1}{2}(\overline{u'^2} + \overline{v'^2} + \overline{w'^2})$ . Die TKE wird im Rahmen der Turbulenzschließung zweiter Ordnung berechnet und ist im operationellen COSMO-D2 die Lösung einer prognostischen Gleichung. In der Darstellung der turbulenten Diffusionskoeffizienten taucht  $\sqrt{2 TKE}$  als Faktor auf. Auf dem Level  $\mathbf{k} = \mathbf{ke} + 1$ , also der untersten Nebenfläche, wird der untere Randwert ausgegeben, welcher im operationellen Transferschema des COSMO-D2 bei der Darstellung der Transferkoeffizienten benutzt wird.

### 5.2.3 Bodenfelder

Die folgenden Felder sind Ein-Flächen-Felder am Erdboden oder Mehr-Flächen-Felder im Erdboden, die unmittelbar mit dem prognostischen Gleichungssatz des Bodenmodells verknüpft sind oder diagnostisch aus verschiedenen Parametrisierungsverfahren resultieren.

- **PS**

Nichthydrostatischer Bodendruck (unreduziert) an der Erdoberfläche. Im COSMO-D2 wird **PS** durch eine einfache Extrapolation des prognostizierten Gesamtdrucks auf der untersten Modellhauptfläche berechnet. **PS** wird also nicht – wie in hydrostatischen Modellen – mithilfe der hydrostatischen Grundgleichung und der vertikal integrierten Kontinuitätsgleichung berechnet, sondern enthält Beiträge durch vertikale Imbalancen des Druck-Masse-Feldes. Der Bodendruck ist somit auch kein strenges Maß für das Gewicht der Luftsäule über dem jeweils betrachteten Gitterpunkt – obwohl diese Beziehung natürlich näherungsweise erfüllt ist.

- **PMSL**

Auf NN reduzierter Bodendruck (mean sea level pressure). Hierbei wird der nichthydrostatische Druck **PS** mit standardisierten Reduktionsmethoden auf Meeresniveau extrapoliert. Zur Erleichterung der graphischen Darstellung wird das so berechnete Feld noch einer leichten Glättung mittels digitalem Filter der Länge 4 unterzogen.

- **T\_SNOW**

Temperatur der Schneeoberfläche.

- **T\_S**

Temperatur an der Grenzfläche Erdboden-Atmosphäre oder – falls Schnee vorhanden ist – an der Grenzfläche Erdboden-Schnee.

- **T\_G**

Temperatur der Unterlage. Sie wird als gewogenes Mittel der Schneetemperatur **T\_SNOW**

und der Erdbodentemperatur  $T_S$  berechnet. In der Turbulenzparametrisierung der Prandtl-Schicht beeinflusst die Temperaturdifferenz zwischen  $T_G$  und der Temperatur  $T$  der untersten Modellschicht ( $k = k_e$ ) maßgeblich die Intensität der vertikalen Flüsse von Wärme, Feuchte und Impuls.

Für Landgitterpunkte ohne Schnee und für Wassergitterpunkte ist  $T_S = T_G = T_{SNOW}$ . Bei geringer Schneehöhe wird im Bodenmodell des COSMO-D2 angenommen, dass der Schnee nicht das gesamte Gitterelement bedeckt.  $T_{SNOW}$  bezieht sich dann nur auf den mit Schnee bedeckten Flächenanteil. Der schneefreie Flächenanteil wird als Funktion des Wassergehalts  $W_{SNOW}$  der Schneedecke zu  $e^{-0,2 \cdot W_{SNOW}}$  parametrisiert ( $W_{SNOW}$  in  $\text{kg/m}^2$ ). Die Temperatur  $T_G$  an der unteren Grenzfläche der Atmosphäre resultiert dann als flächengewogener Mittelwert:

$$\begin{aligned} T_G &= T_{SNOW} + e^{-0,2 \cdot W_{SNOW}} (T_S - T_{SNOW}), & W_{SNOW} > 0, \\ T_G &= T_S = T_{SNOW}, & W_{SNOW} = 0. \end{aligned}$$

-  $T_{SO}$

enthält die Temperaturen der 7 aktiven Bodenschichten und die der untersten (also achten) klimatologischen Schicht. Neben diesen 8 Werten enthält  $T_{SO}$  zusätzlich die Erdoberflächentemperatur. Im Modell wird zu jedem Zeitschritt folgendes gesetzt:  $T_S = T_{SO}(0 \text{ cm})$ .

Als Tiefen der 8 Schichten werden im GRIB-Code die Tiefen der Schichtmitten (Hauptflächen) in cm angegeben. Da sich hier nur ganze Zahlen im GRIB darstellen lassen, wird allerdings statt dem korrekten Wert 0,5 cm für die erste Schicht 1 cm eingetragen. Einzige Ausnahme ist die Oberflächentemperatur. Hier handelt es sich um eine Schichtgrenze (Nebenfläche) in 0 cm Tiefe.

-  $QV_S$

Spezifische Feuchte an der Oberfläche. Für Wassergitterpunkte ist  $QV_S$  gleich der Sättigungsfeuchte. Für Landgitterpunkte hängt sie von Wind und Feuchte in der Prandtl-Schicht sowie vom Bodenwassergehalt ab.  $QV_S$  steuert die Gesamtverdunstung, d. h. den latenten Wärmefluß zwischen Atmosphäre und unbewachsenem Boden bzw. der Vegetation.

-  $W_{SNOW}$

Wassergehalt der Schneedecke. Das Bodenmodell unterscheidet nicht zwischen verschiedenen Schneearten. Für Wassergitterpunkte ist  $W_{SNOW} = 0$ .

-  $RHO_{SNOW}$

Prognostische Schneedichte, mit deren Hilfe eine bessere Simulation der Wärmeleitung zwischen Erd- und Schneeoberfläche ermöglicht wird.

-  $H_{SNOW}$

Die Höhe der Schneedecke wird aus den beiden Größen  $RHO_{SNOW}$  und  $W_{SNOW}$  diagnostiziert.

-  $W_I$

Wassergehalt des Interzeptionsspeichers. Er enthält den Tau, den Reif und die an den Oberflächen haftenden Regentropfen bis zu einem Maximalwert, der vom Pflanzenbedeckungsgrad (Element  $PLCOV$ ) abhängt. Für Wassergitterpunkte ist  $W_I = 0$ .

- **W\_SO, W\_SO\_ICE**  
Sie enthalten die Werte des Gesamtbodenwassergehalts bzw. des Bodeneisgehalts der 6 aktiven Bodenschichten. Den flüssigen Teil des Bodenwassers erhält man also aus der Differenz der beiden. Die 7. und 8. Komponente der Felder sind ohne Bedeutung. Die Angabe der Schichttiefen erfolgt in gleicher Weise wie bei T\_SO.
- **Z0**  
Z0 ist die Rauigkeitslänge der Unterlage. Über Land ist Z0 zeitlich konstant und setzt sich aus zwei Anteilen zusammen: einem Anteil, der aus der Varianz der subskaligen Orographie resultiert (Hügeligkeit des Geländes) und einem Anteil, der von der Art der Vegetation abhängt. Über Wasser ist Z0 zeitlich variabel und wird nach der Charnock-Formel berechnet. Diese Beziehung beschreibt den Einfluß der Wellen auf die Rauigkeit in Abhängigkeit von der bodennahen Windgeschwindigkeit und der Stabilität der Schichtung.
- **FRESHSNW**  
Indikator der Schneeealterung zur Schneeealbedobestimmung. Wenn eine ausreichende Menge Neuschnee gefallen ist, wird FRESHSNW = 1 gesetzt. Das entspricht einem Wert der Schneeealbedo von 0,7. Bei Ausbleiben weiteren Schneefalls nimmt der Wert von FRESHSNW allmählich ab. Auf diese Weise wird der Effekt beschrieben, dass die Schneedecke altert und damit dunkler wird. Im Extremfall strebt FRESHSNW gegen Null, das entspricht einer Schneeealbedo von 0,4.
- **RAIN\_GSP**  
Regen aus skaliger Niederschlagsbildung; summiert seit Vorhersagebeginn.
- **SNOW\_GSP**  
Schnee aus skaliger Niederschlagsbildung; summiert seit Vorhersagebeginn.
- **GRAU\_GSP**  
Graupel aus skaliger Niederschlagsbildung; summiert seit Vorhersagebeginn.  
Die obigen drei Elemente sind jeweils die seit Beginn der Vorhersage zeitlich integrierten Niederschlagsflüsse, sie stellen also die jeweiligen summierten Niederschlagsmengen in kg/m<sup>2</sup> bzw. mm an einem Gitterpunkt dar. In der Natur ist die Verteilung des Niederschlags auf diese Anteile häufig unscharf, und im Modell hängt sie empfindlich von einigen Parametrisierungsannahmen ab. Für viele Nutzer ist vor allem die aus den Anteilen gebildete Gesamtsumme des Niederschlags interessant, sie wird daher als separates Feld (Element TOT\_PREC) zusätzlich gespeichert.  
Als zusätzliche Information hinsichtlich des Auftretens eines bestimmten Niederschlagstyps kann die Änderung der Schneedecke (Element W\_SNOW) herangezogen werden.
- **PRR\_GSP, PRS\_GSP, PRG\_GSP**  
Aktuelle Niederschlagsraten der skaligen Anteile von Regen, Schnee und Graupel.
- **TOT\_PREC**  
Gesamte Niederschlagsmenge (total precipitation) summiert seit Vorhersagebeginn, d. h. die Summe der obigen drei Anteile.

#### 5.2.4 Diagnostische Ein-Flächen-Felder

Neben den obigen Bodenfeldern werden weitere diagnostische Ein-Flächen-Felder in die COSMO-D2-Datenbank eingebracht.

Dies sind zum einen Felder wie die 2m-Temperatur und der 10m-Wind, die diagnostisch aus den prognostizierten Werten der untersten Modellhauptfläche ( $k = k_e$ , etwa 10 m über Grund) und den Bodenwerten mittels der Beziehungen für die Prandtlschicht abgeleitet werden. Hierbei wird ein einheitlicher Erdboden in der mittleren Höhe der Orographie des jeweiligen Gitterelements angenommen. Die Inhomogenität dieser Eigenschaften in der Natur hat aber eine entsprechend starke Streuung der bodennahen Variablen innerhalb eines Gitterelements zur Folge. Dies kann durch das Modell natürlich nicht erfaßt werden.

Darüberhinaus werden Felder zur Bestimmung der Ober- und Untergrenze von Konvektionselementen sowie die Bedeckungsgrade in verschiedenen Wolkenstockwerken in die Datenbank eingebracht.

- U\_10M, V\_10M  
Zonaler und meridionaler Wind 10 m über Grund im rotierten Gitter. Bei Darstellung im geographischen Gitter müssen diese Windkomponenten noch in die entsprechenden Richtungen gedreht werden.
- T\_2M  
Temperatur 2 m über Grund.
- TD\_2M  
Taupunkttemperatur 2 m über Grund.
- TMIN\_2M, TMAX\_2M  
Minimum- bzw. Maximumtemperatur 2 m über Grund. Die Extrema beziehen sich auf einen Zeitbereich von derzeit sechs Stunden. Der gültige Zeitbereich ist in der Product Definition Section = section 4 angegeben. Wegen `indicatorOfUnitForTimeRange=1` [Hour] und `lengthOfTimeRange=6` für `step = 18` [h] beziehen sich die Extrema beispielsweise auf den Zeitbereich von +12 h bis +18 h.
- VMAX\_10M  
Maximale Windgeschwindigkeit in 10 m über Grund. Das Maximum bezieht sich auf einen Zeitbereich von derzeit einer Stunde. Der gültige Zeitbereich ist in der Product Definition Section = section 4 angegeben. Wegen `IndicatorOfUnitForTimeRange=1` [Hour] und `lengthOfTimeRange=1` für `step=18` [h] bezieht sich VMAX\_10M beispielsweise auf den Zeitbereich von +17 h bis +18 h. VMAX\_10M repräsentiert die maximale Geschwindigkeit der Windböen in 10 m Höhe. Sie wird aus der *bodennahen Turbulenz*, so wie sie vom Modell vorhergesagt wird, empirisch abgeleitet. VMAX\_10M kann die aus den Windkomponenten U\_10M und V\_10M gebildete Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe erheblich überschreiten.
- CLCT, CLCH, CLCM, CLCL  
Diese Felder enthalten die Bedeckungsgrade (in %) des oberen (CLCH), des mittleren (CLCM) und des unteren (CLCL) Wolkenstockwerks sowie den Gesamtbedeckungsgrad (CLCT). Diese Werte werden mit einem speziellen Überlappungsalgorithmus aus den Bedeckungsgraden in jeder Modellschicht (CLC) berechnet.

Für verschiedene Anwendungen ist es wichtig, die ungefähre Höhererstreckung der obigen Wolkenstockwerke zu kennen. Bezogen auf einen Bodendruck von 1000 hPa erstreckt sich das untere Wolkenstockwerk vom Boden bis in eine Höhe von 800 hPa, das mittlere Wolkenstockwerk von 800 hPa bis 400 hPa und das obere Stockwerk von 400 hPa bis zum Oberrand der Atmosphäre.

- **CLDEPTH**  
Modifizierte Wolkenmächtigkeit. Diese normierte (daher dimensionslose) Größe dient der graphischen Darstellung der Bewölkung im Medienbereich; sie wird als Grauwert genutzt. Der Wert `CLDEPTH = 1` bezieht sich auf eine etwa 700 hPa dicke Wolke.
- **CLCT\_MOD**  
Modifizierter Gesamtbedeckungsgrad (dimensionslos). Diese Größe dient der graphischen Darstellung der Bewölkung im Medienbereich. Sind an einem Gitterpunkt nur hohe Wolken ("Cirren") vorhanden, werden sie bei der Berechnung des Bedeckungsgrades kaum berücksichtigt.
- **CEILING**  
Ceiling ist die Höhe über NN, in der die skalige Wolkenbedeckung (genauer: die skalige und subskalige, jedoch ohne den konvektiven Anteil) zum erstenmal 50% überschreitet.
- **HBAS\_SC, HTOP\_SC**  
Geometrische Höhe der Basis (`HBAS_SC`) und der Obergrenze (`HTOP_SC`) der flachen Konvektionswolken (in m über Meeresniveau). Wenn am betrachteten Gitterpunkt keine flache Konvektion auftritt, ist `HBAS_SC = HTOP_SC = 0,0`. Um bei auftretender flacher Konvektion die entsprechenden Höhen über Grund zu erhalten, muß noch die Höhe der Topographie (im Feld `HSURF`) subtrahiert werden.
- **HTOP\_DC**  
Geometrische Höhe der Obergrenze trockener Konvektion (Blauthermik) in m über Meeresniveau. Sie kennzeichnet die Obergrenze trockener Thermikenelemente mit Wurzeln in Bodennähe. Die Untergrenze der Blauthermik ist an der Schichtmitte der unteren Modellhauptfläche (`k = ke`) definiert, also in etwa 10 m über Grund. Wenn am betrachteten Gitterpunkt keine trockene Konvektion auftritt, ist `HTOP_DC = 0,0`. Um bei auftretender Thermik die entsprechende Höhe über Grund zu erhalten, muß noch die Höhe der Topographie (im Feld `HSURF`) subtrahiert werden.
- **HZEROCL**  
Höhe der 0°C-Grenze bezogen auf das Meeresniveau (Einheit: m). `HZEROCL` gibt die Höhe der vom Boden aus gesehen untersten 0°C-Grenze an. Liegt die Temperatur der untersten Modellschicht unterhalb 0°C, so wird dieser Gitterpunkt mit dem Wert -999,0 markiert. Achtung: Aufgrund der GRIB-Codierung wird dieser Wert nach dem Auspacken nicht exakt -999,0 betragen. Um diese undefinierten Punkte in Anschlußprogrammen zu eliminieren, sollte deshalb nach Werten  $< -990,0$  abgefragt werden.
- **SNOWLMT**  
Höhe der Schneefallgrenze über NN (Einheit: m)
- **SDI\_1, SDI\_2**  
Der 'supercell detection index (SDI)' detektiert die Mesozyklone einer Superzelle. Er basiert auf dem Produkt aus der Korrelation zwischen Vertikalgeschwindigkeit und Vorticity und der lokalen Vorticity (Wicker et al., 2005).
- **CAPE\_ML, CIN\_ML**  
Mixed layer-CAPE (convective potential available energy) und -CIN (convective inhibition), wobei das Probeteilchen aus der Mitte der bodennahen Mischungsschicht heaus startet. (nicht zu verwechseln mit der mostly unstable-CAPE oder convective-CAPE, ...). Im Feld `CIN_ML` kann gelegentlich der undefinierte Wert -999.9 auftreten.

- TWATER, TQV, TQC, TQI, TQR, TQS, TQG  
Diese Elemente enthalten die jeweils über die Modellsäule integrierten Werte. In TWATER werden dabei alle Komponenten des in der Atmosphäre vorhandenen Wassers zusammengefaßt. Dies sind Wasserdampf (QV), Wolkenwasser (QC), Wolkeneis (QI), Regenwasser (QR), Schneegehalt (QS) und Graupelgehalt (QG).
- DBZ\_850, DBZ\_CMAX  
Aus den Modellgrößen Regenwasser (QR), Schneegehalt (QS) Graupelgehalt (QG) und Temperatur wird mit Hilfe der Rayleigh-Beziehung eine synthetische Radarinformation abgeleitet. DBZ\_850 gibt diese Information für jene Modellschicht an, die am nächsten zum 850 hPa-Niveau liegt, während DBZ\_CMAX das maximale Radarecho aus der gesamten Modellsäule angibt.

### 5.2.5 Zeitlich gemittelte Felder

- ASOB\_S **Beschreibung**
- ATHB\_S **Beschreibung**
- APAB\_S **Beschreibung**
- ASWDIR\_S **Beschreibung**
- ASWDIFD\_S **Beschreibung**
- ASWDIFU\_S **Beschreibung**
- ASOB\_T **Beschreibung**
- ATHB\_T **Beschreibung**
- AUMFL\_S **Beschreibung**
- AVMFL\_S **Beschreibung**
- ASHFL\_S **Beschreibung**
- ALHFL\_S **Beschreibung**

Die Felder ASOB\_S, ATHB\_S, APAB\_S, ASWDIR\_S, ASWDIFD\_S, ASWDIFU\_S, ASOB\_T, ATHB\_T, AUMFL\_S, AVMFL\_S, ASHFL\_S, ALHFL\_S stehen als zeitliche Mittel über die jeweilige Vorhersagezeit (step) in der COSMO-D2-Datenbank. Dies ist in der Product Definition Section (PDS) durch `typeOfStatisticalProcessing` vermerkt. Sei  $\psi(t)$  der Momentanwert einer der obigen Größen zu einem beliebigen Zeitpunkt  $t$ . Dann ist der in der Datenbank abgespeicherte zeitliche Mittelwert  $\bar{\psi}(T)$  zu einem Vorhersagezeitpunkt  $T$  definiert durch

$$\bar{\psi}(T) = \frac{1}{T} \int_0^T \psi(t) dt, \quad T > 0.$$

Für  $T = 0$  ist  $\bar{\psi}$  der Momentanwert von  $\psi$  im ersten Zeitschritt der Modellvorhersage. Der Mittelwert von  $\psi$  im Zeitintervall  $T_1$  bis  $T_2$ ,  $\bar{\psi}(T_1, T_2)$ , läßt sich aus den bekannten Mittelwerten

$\bar{\psi}(T_1)$  und  $\bar{\psi}(T_2)$  folgendermaßen berechnen:

$$\begin{aligned}\bar{\psi}(T_1, T_2) &= \frac{1}{T_2 - T_1} \int_{T_1}^{T_2} \psi(t) dt \\ &= \frac{1}{T_2 - T_1} \left\{ \int_0^{T_2} \psi(t) dt - \int_0^{T_1} \psi(t) dt \right\} \\ &= \frac{1}{T_2 - T_1} \left\{ T_2 \bar{\psi}(T_2) - T_1 \bar{\psi}(T_1) \right\}.\end{aligned}$$

Die Vorzeichenkonvention im COSMO lautet folgendermaßen: Flüsse, die zur Oberflächenbilanz beitragen, sind positiv, wenn sie zur Oberfläche hin gerichtet sind. Also: positiver Bodenwärmestrom: nach oben, positive fühlbare oder latente Wärmeströme: nach unten gerichtet. Der Vorteil dieser Konvention ist: die Summe über alle Energieflüsse am Boden ist 0.

Die Globalstrahlung GLOB am Erdboden kann man gemäß

$$\text{GLOB} = \text{ASWDIR}_S + \text{ASWDIR}_D_S$$

berechnen.

### 5.2.6 Pseudo-Satellitenbilder im operationellen COSMO-D2

In Zusammenarbeit mit der DLR (Oberpfaffenhofen) wurde im COSMO-Modell eine Schnittstelle zur RTTOV-Bibliothek (Fast Radiative Transfer Model for TIROS Operational Sounder) implementiert. Damit können aus COSMO-Modelldaten die vom Satelliten gemessenen 'Radiances' und 'Brightness Temperatures' simuliert werden. Die Felder liegen ebenfalls im GRIB2-Format in der COSMO-D2-Datenbank vor; sie sind durch die Gribkennungen für das Satelliteninstrument (satser, satid, instr) sowie wie üblich Disziplin, Kategorie, Parameternummer sowie einen Wellenlängenkanal (wave) gekennzeichnet. Bei der sky-Abfrage genügt jedoch die Angabe des `shortName` (z.B. SYNMSG\_BT\_CL\_IR13.4, s. Tab. 16).

Es werden momentan noch 8 Kanäle mit je 4 verschiedenen Produkten bereitgestellt.

### 5.2.7 Felder aus Anschlußverfahren

- MH  
Mischungsschichthöhe in m über Grund Fay *et al.* (1997). Die Datenbankkategorie für dieses Feld lautet `cat=cd2.main.fcmix.vera`.
- WW  
Wetterinterpretation. Basierend auf den Vorhersagefeldern des COSMO-D2 wird in einem von FE15 bereitgestellten Anschlußverfahren eine objektive Wetterinterpretation (Feld WW) durchgeführt. Die Interpretation orientiert sich am WMO-Schlüssel für das aktuelle Wetter. In Tabelle ?? sind einige der verwendeten Schlüsselnummern aufgeführt. Da sich die Modellausgaben von COSMO-EU und COSMO-D2 in einigen entscheidenden Punkten unterscheiden, musste die Wetterinterpretation an die neuen Gegebenheiten angepasst werden. Dies bedeutet, dass die Interpretation im COSMO-EU und COSMO-D2 zum Teil auf einer anderen Grundlage stattfindet.

Wird keine der in Tab. ?? genannten WW-Schlüssel-Nummern interpretiert, so wird stattdessen die Wolkenbedeckung in WW verschlüsselt, und zwar in folgender Form:

0: wolkenlos, 1: leicht bewölkt, 2: wolkig, 3: stark bewölkt bis bedeckt.

- **geglättete und kalibrierte Felder**

Vorhersagen hochauflösender Modelle können auch im Vorhersagehorizont von wenigen Stunden nicht als vollkommen deterministisch betrachtet werden. Die Vorhersage eines stochastisch ablaufenden Prozesses (z. B. Schauerbildung) kann nicht aus der Modell-Terminprognose an Einzelgitterpunkten (Punktterminprognosen, PTP) abgeleitet werden. Es erscheint deshalb notwendig, die reinen Modellergebnisse vor ihrer Weitergabe an die Nutzer einer statistischen Nachbearbeitung, die der räumlichen und zeitlichen Unsicherheit der Modellvorhersagen Rechnung trägt, zu unterziehen. Die Vorhersagen sollen, sofern nötig, einer Glättung unterzogen werden, durch die stochastische Effekte abgemildert, Extremereignisse aber nicht über Gebühr weggeglättet werden. Durch die Mittelung wird die Verteilung des Originalfeldes verändert; insbesondere beim Niederschlag entstehen auf diese Weise mehr Gitterpunkte mit geringem Niederschlag als im Originalfeld und die Spitzenwerte werden mehr oder weniger stark geglättet. Als zusätzliches Ziel wurde daher im Verlauf der Arbeiten aufgenommen, einen Kalibrierungs-Algorithmus zu implementieren, der die Verteilung des Originalfeldes auch im geglätteten bzw. kalibrierten Feld wieder herstellt.

Die geglätteten und kalibrierten Felder werden mit den gleichen Elementnummern und Leveltyp-Angaben in die Datenbanken geschrieben und lassen sich an Hand der Tabellennummern von der direkten Modellausgabe unterscheiden. Geglättete Felder stehen hierbei in der Tabelle 206, kalibrierte Felder in der Tabelle 207. Weitere Einzelheiten finden sich in Hoffmann (2005), Hoffmann (2006). Tabelle 18 zeigt die Liste der geglätteten Felder und in Tab. 19 sind die kalibrierten Felder zusammengefaßt.

Tabelle 7: Hybride Viel-Flächen-Felder auf der Modellschicht k für COSMO-D2-Analysen und -Vorhersagen.

ShortName	Beschreibung	D	K	Nr	L1	L2	Sonstige	unit
U	Zonaler Wind	0	2	2	150	150		m/s
V	Meridionaler Wind	0	2	3	150	150		m/s
W	Vertikalwind $w$	0	2	9	150	255		m/s
P	Druck	0	3	0	150	150		Pa
T	Temperatur	0	0	0	150	150		K
QV	Spezifische Feuchte	0	1	0	150	150		kg/kg
QC	Spezifischer Wolkenwassergehalt	0	1	22	150	150		kg/kg
QI	Spezifischer Wolkeneisgehalt	0	1	82	150	150		kg/kg
QR	Spezifischer Regenwassergehalt	0	1	24	150	150		kg/kg
QS	Spezifischer Schneewassergehalt	0	1	25	150	150		kg/kg
QG	Spezifischer Graupelwassergehalt	0	1	32	150	150		kg/kg
Q_SEDIM	Spez. Masse sedimentier. Partikel	0	1	196	150	150	oc=78	kg/kg
CLC	Wolkenbedeckungsgrad	0	6	22	150	150		%
TKE	Turbulente kinetische Energie	0	19	11	150	255		m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup>
TKVM	Turb. Diffusionskoeffizient für vertikalen Impulstransport	0	2	31	150	255		m <sup>2</sup> /s
TKVH	Turb. Diffusionskoeffizient für vertikalen Wärme- und Feuchtetransport	0	0	20	150	255		m <sup>2</sup> /s

Tabelle 8: Ein-Flächen-Felder für COSMO-D2-Analysen und -Vorhersagen. Die mit (m) gekennzeichneten Elemente stellen Mittelwerte über den Vorhersagezeitraum dar.

ShortName	Beschreibung	D	K	Nr	L1	L2	Sonstige	unit
PS	Unreduzierter Bodendruck	0	3	0	1			Pa
PMSL	Auf NN reduzierter Bodendruck	0	3	1				Pa
T_SNOW	Schneetemperatur	0	0	18	1	255		K
T_S	Temperatur der Erdoberfläche	2	3	18	1			K
T_G	Temperatur der Unterlage	0	0	0	1			K
QV_S	Spezifische Feuchte an der Oberfläche	0	1	0	1			kg/kg
W_SNOW	Wassergehalt der Schneedecke	0	1	60	1	255		kg/m <sup>2</sup>
RHO_SNOW	Schneedichte	0	1	61	1	255		kg/m <sup>3</sup>
H_SNOW	Höhe der Schneedecke	0	1	11	1	255		m
W_I	Wassergehalt des Interzeptionsspeichers	2	0	13				kg/m <sup>2</sup>
ALB_RAD	Albedo des Bodens im Kurzwelligen	0	19	1				%
FRESHSNW	Indikator der Schneealterung zur Schneeralbedobestimmung	0	1	203				1
ASOB_S	Kurzw. Strahlungsbilanz an der Oberfläche (m)	0	4	9	1			W/m <sup>2</sup>
ATHB_S	Langw. Strahlungsbilanz an der Oberfläche (m)	0	5	5	1			W/m <sup>2</sup>
APAB_S	Bilanz der photosynthetisch aktiven Strahlung an der Oberfläche (m)	0	4	10	1			W/m <sup>2</sup>
ASWDIR_S	Direkte kurzw. Strahlung an der Oberfläche (m)	0	4	198	1			W/m <sup>2</sup>
ASWDIFD_S	Diffuse abwärts gerichtete kurzwellige Strahlung an der Oberfläche (m)	0	4	199	1			W/m <sup>2</sup>
ASWDIFU_S	Diffuse aufwärts gerichtete kurzwellige Strahlung an der Oberfläche (m)	0	4	8	1			W/m <sup>2</sup>
ASOB_T	Kurzw. Strahlungsbilanz am Modelloberrand (m)	0	4	9	8			W/m <sup>2</sup>
ATHB_T	Langw. Strahlungsbilanz am Modelloberrand (m)	0	5	5	8			W/m <sup>2</sup>

Tabelle 9: Ein-Flächen-Felder für COSMO-D2-Analysen und -Vorhersagen. Die mit (s) gekennzeichneten Felder sind seit Vorhersagebeginn summiert, und (i) kennzeichnet Felder, die in einem Zeitintervall definiert sind.

ShortName	Beschreibung	D	K	Nr	L1	L2	Sonstige	unit
RAIN_GSP	Skaliger Regen (s)	0	1	77			sptype=1	kg/m <sup>2</sup>
SNOW_GSP	Skaliger Schnee (s)	0	1	56			sptype=1	kg/m <sup>2</sup>
GRAU_GSP	Skaliger Graupel (s)	0	1	75			sptype=1	kg/m <sup>2</sup>
TOT_PREC	Gesamtniederschlag (s)	0	1	52			sptype=1	kg/m <sup>2</sup>
PRR_GSP	Niederschlagsrate, skal. Regen	0	1	77			sptype≠1	kg/s/m <sup>2</sup>
PRS_GSP	Niederschlagsrate, skal. Schnee	0	1	56			sptype≠1	kg/s/m <sup>2</sup>
PRG_GSP	Niederschlagsrate, skal. Graupel	0	1	75			sptype≠1	kg/s/m <sup>2</sup>
RUNOFF_S	Oberflächenabfluß (s)	2	0	5	106			kg/m <sup>2</sup>
RUNOFF_G	Bodenwasserabfluß (s)	2	0	5	106			kg/m <sup>2</sup>
AEVAP_S	Feuchtefluß an der Oberfläche (s)	0	1	79	1			kg/m <sup>2</sup>
TDIV_HUM	Vertikal integr. Divergenz spezifischer Feuchte (s)	0	1	192			oc=78 sptype=1	kg/m <sup>2</sup>
TWATER	Vertikal integr. Wasser	0	1	78				kg/m <sup>2</sup>
TQV	Vertikal integr. Wasserdampf	0	1	64				kg/m <sup>2</sup>
TQC	Vertikal integr. Wolkenwasser	0	1	69				kg/m <sup>2</sup>
TQI	Vertikal integr. Wolkeneis	0	1	70				kg/m <sup>2</sup>
TQR	Vertikal integr. Regen	0	1	45				kg/m <sup>2</sup>
TQS	Vertikal integr. Schnee	0	1	46				kg/m <sup>2</sup>
TQG	Vertikal integr. Graupel	0	1	74				kg/m <sup>2</sup>
U_10M	Zonaler 10m-Wind	0	2	2	103			m/s
V_10M	Meridionaler 10m-Wind	0	2	3	103			m/s
T_2M	2m-Temperatur	0	0	0	103			K
TD_2M	2m-Taupunkt	0	0	6	103			K
RELHUM_2M	2m-relative Feuchte	0	1	1	103			%
TMIN_2M	Minimum der 2m-Temperatur (i)	0	0	0	103		sptype=3	K
TMAX_2M	Maximum der 2m-Temperatur (i)	0	0	0	103		sptype=2	K
VMAX_10M	Maximum der 10m-Windgeschwindigkeit (i)	0	2	22	103		sptype=2	m/s
CLCT	Gesamtbedeckungsgrad mit Wolken	0	6	1				%
CLCH	Bedeckungsgrad mit hohen Wolken (0 - 400 hPa)	0	6	22	100	100	lv1=0	%
CLCM	Bedeckungsgrad mit mittelhohen Wolken (400 - 800 hPa)	0	6	22	100	100	lv1=40000	%
CLCL	Bedeckungsgrad mit niedrigen Wolken (800 hPa - Boden)	0	6	22	100	1	lv1=80000	%
CLDEPTH	Modifizierte Wolkenmächtigkeit	0	6	198				1
CLCT_MOD	Modifizierter Gesamtbedeckungsgrad	0	6	199				1
CEILING	Ceilinghöhe (über NN)	0	6	13				m
HBAS_SC	Höhe der Basis der flachen Konvektion über NN (i)	0	6	192	2	101		m
HTOP_SC	Höhe der Obergrenze der flachen Konvektion über NN (i)	0	6	193	3	101		m

Tabelle 10: Ein-Flächen-Felder für COSMO-D2-Analysen und -Vorhersagen. Die mit (m) gekennzeichneten Elemente stellen Mittelwerte über den Vorhersagezeitraum dar.

ShortName	Beschreibung	D	K	Nr	L1	L2	Sonstige	unit
HTOP_DC	Obergrenze trockener Konvektion über NN	0	6	196	3	101		m
HZEROCL	Höhe der 0°C-Grenze über NN	0	3	6	4	101		m
SNOWLMT	Höhe der Schneefallgrenze über NN	0	1	204	4	101		m
AUMFL.S	u-Impulsfluß an der Oberfläche (m)	0	2	17	1			N/m <sup>2</sup>
AVMFL.S	v-Impulsfluß an der Oberfläche (m)	0	2	18	1			N/m <sup>2</sup>
ASHFL.S	Fühlbarer Wärmefluß an der Oberfläche (m)	0	0	11	1			W/m <sup>2</sup>
ALHFL.S	Latenter Wärmefluß an der Oberfläche (m)	0	0	10	1			W/m <sup>2</sup>
TCM	Turb. Transferkoeffizient für Impuls an der Oberfläche	0	2	29				-
TCH	Turb. Transferkoeffizient für Wärme und Feuchte an der Oberfläche	0	0	19				-
Z0	Rauhigkeitslänge	2	0	1				m
SDI.1	Supercell detection index 1 (rotierende up-/drafts)	0	7	192			oc=78	1/s
SDI.2	Supercell detection index 2 (nur rotierende updrafts)	0	7	193			oc=78	1/s
CAPE_ML	Mixed layer CAPE	0	7	6	192			J/kg
CIN_ML	Mixed layer CIN	0	7	7	192			J/kg
FOR.E	Bedeckungsgrad Nadelwald	2	0	29				1
FOR.D	Bedeckungsgrad Laubwald	2	0	30				1
LPI	Lightning Potential Index	0	17	192	1	255		J/kg

Tabelle 11: Ein-Flächen-Felder für COSMO-D2-Analysen und -Vorhersagen.

ShortName	Beschreibung	D	K	Nr	L1	L2	Sonstige	unit
ZHD	Verzögerung des GPS-Signals in trockener Atmosphäre	0	15	194			oc=78	m
ZWD	Verzögerung des GPS-Signals in feuchter Atmosphäre	0	15	193			oc=78	m
ZTD	Verzögerung des GPS-Signals in gesamter Atmosphäre	0	15	192			oc=78	m
DBZ.850	Radarreflektivität in 850 hPa	0	15	1	1	255		dBZ
DBZ.CMAX	Maximum der Radarreflektivität innerhalb der Modellsäule	0	15	1	1	8		dBZ

Tabelle 12: Auf Druckflächen pres (in hPa) interpolierte Felder für COSMO-D2-Analysen und -Vorhersagen.

ShortName	Beschreibung	D	K	Nr	L1	L2	Sonstige	unit
U	Zonaler Wind	0	2	2	100	255		m/s
V	Meridionaler Wind	0	2	3	100	255		m/s
OMEGA	Vertikalbewegung $\omega$	0	2	8	100	255		Pa/s
FI	Geopotential	0	3	4	100	255		m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup>
T	Temperatur	0	0	0	100	255		K
RELHUM	Relative Feuchte	0	1	1	100	255		%

Tabelle 13: Auf z-Flächen z (in m) interpolierte Felder für COSMO-D2-Analysen und -Vorhersagen.

ShortName	Beschreibung	D	K	Nr	L1	L2	Sonstige	unit
U	Zonaler Wind	0	2	2	102	255		m/s
V	Meridionaler Wind	0	2	3	102	255		m/s
W	Vertikalwind $w$	0	2	9	102	255		m/s
P	Druck	0	3	0	102	255		Pa
T	Temperatur	0	0	0	102	255		K
RELHUM	Relative Feuchte	0	1	1	102	255		%

Tabelle 14: Mehr-Schichten-Felder des Bodenmodells mit Schichtindex  $k$  für COSMO-D2-Analysen und -Vorhersagen.

ShortName	Beschreibung	D	K	Nr	L1	L2	Sonstige	unit
T_S0	Mehr-Schichten-Bodentemperatur	2	3	18	106	255		K
W_S0	Mehr-Schichten-Gesamt-Bodenwassergehalt	2	3	20	106	106		kg/m <sup>2</sup>
W_S0_ICE	Mehr-Schichten-Bodeneisgehalt	2	3	22	106	106		kg/m <sup>2</sup>

Tabelle 15: Ausgabevariablen des Seenmodells FLake und des Meereismodells.

ShortName	Beschreibung	D	K	Nr	L1	L2	Sonstige	unit
T_ICE	Oberflächentemperatur von Meer-/Seeis	10	2	8				K
H_ICE	Dicke von Meer-/Seeis	10	2	1				m
T_WML_LK	Temperatur der Mischungsschicht im See	1	2	1	1	166		K
H_ML_LK	Dicke der Mischungsschicht im See	1	2	0	1	166		m
T_MNW_LK	Mittlere Temperatur der Wassersäule im See	1	2	1	1	162		K
T_BOT_LK	Temperatur am Bodensediment im See	1	2	1	162			K
C_T_LK	Formfaktor im Seenmodell	1	2	10	166	162		-

Tabelle 16: Satelliteninstrument SEVIRI des MSG (Ausgaben der RTTOV-Bibliothek); weitere GRIB2-Parameter sind: satser=333, satid=72, instr=207

ShortName	Beschreibung	D	K	Nr	L1	L2	Sonstige	unit
SYNMSG_BT_CL_IR13.4	brightness temp. cloudy	3	1	14			wave=74626.0	-
SYNMSG_BT_CL_IR12.1	brightness temp. cloudy	3	1	14			wave=82644.0	-
SYNMSG_BT_CL_IR10.8	brightness temp. cloudy	3	1	14			wave=92592.0	-
SYNMSG_BT_CL_IR9.7	brightness temp. cloudy	3	1	14			wave=103092.0	-
SYNMSG_BT_CL_IR8.7	brightness temp. cloudy	3	1	14			wave=114942.0	-
SYNMSG_BT_CL_WV7.3	brightness temp. cloudy	3	1	14			wave=136986.0	-
SYNMSG_BT_CL_WV6.2	brightness temp. cloudy	3	1	14			wave=161290.0	-
SYNMSG_BT_CL_IR3.9	brightness temp. cloudy	3	1	14			wave=256410.0	-
SYNMSG_BT_CS_IR13.4	brightness temp. clear sky	3	1	15			wave=74626.0	-
SYNMSG_BT_CS_IR12.1	brightness temp. clear sky	3	1	15			wave=82644.0	-
SYNMSG_BT_CS_IR10.8	brightness temp. clear sky	3	1	15			wave=92592.0	-
SYNMSG_BT_CS_IR9.7	brightness temp. clear sky	3	1	15			wave=103092.0	-
SYNMSG_BT_CS_IR8.7	brightness temp. clear sky	3	1	15			wave=114942.0	-
SYNMSG_BT_CS_WV7.3	brightness temp. clear sky	3	1	15			wave=136986.0	-
SYNMSG_BT_CS_WV6.2	brightness temp. clear sky	3	1	15			wave=161290.0	-
SYNMSG_BT_CS_IR3.9	brightness temp. clear sky	3	1	15			wave=256410.0	-
SYNMSG_RAD_CL_IR13.4	radiance cloudy	3	1	16			wave=74626.0	-
SYNMSG_RAD_CL_IR12.1	radiance cloudy	3	1	16			wave=82644.0	-
SYNMSG_RAD_CL_IR10.8	radiance cloudy	3	1	16			wave=92592.0	-
SYNMSG_RAD_CL_IR9.7	radiance cloudy	3	1	16			wave=103092.0	-
SYNMSG_RAD_CL_IR8.7	radiance cloudy	3	1	16			wave=114942.0	-
SYNMSG_RAD_CL_WV7.3	radiance cloudy	3	1	16			wave=136986.0	-
SYNMSG_RAD_CL_WV6.2	radiance cloudy	3	1	16			wave=161290.0	-
SYNMSG_RAD_CL_IR3.9	radiance cloudy	3	1	16			wave=256410.0	-
SYNMSG_RAD_CS_IR13.4	radiance clear sky	3	1	17			wave=74626.0	-
SYNMSG_RAD_CS_IR12.1	radiance clear sky	3	1	17			wave=82644.0	-
SYNMSG_RAD_CS_IR10.8	radiance clear sky	3	1	17			wave=92592.0	-
SYNMSG_RAD_CS_IR9.7	radiance clear sky	3	1	17			wave=103092.0	-
SYNMSG_RAD_CS_IR8.7	radiance clear sky	3	1	17			wave=114942.0	-
SYNMSG_RAD_CS_WV7.3	radiance clear sky	3	1	17			wave=136986.0	-
SYNMSG_RAD_CS_WV6.2	radiance clear sky	3	1	17			wave=161290.0	-
SYNMSG_RAD_CS_IR3.9	radiance clear sky	3	1	17			wave=256410.0	-

Tabelle 17: Ein-Flächen-Felder für COSMO-D2-Vorhersagen aus Anschlußverfahren (Post-processing).

ShortName	Beschreibung	D	K	Nr	L1	L2	Sonstige	unit
MH	Mischungsschichthöhe über Grund	0	19	3				m
WW	Interpretiertes Wetter im WMO-Schlüssel	0	19	25				-

Tabelle 18: Geglättete Ein-Flächen-Felder (gptype=197)

ShortName	Beschreibung	D	K	Nr	L1	L2	Sonstige	unit
T_2M_S	2m-Temperatur	0	0	0	103			K
TD_2M_S	2m-Taupunkt	0	0	6	103			K
TMAX_2M_S	Maximum der 2m-Temperatur	0	0	0	103		sptype=2	K
TMIN_2M_S	Minimum der 2m-Temperatur	0	0	0	103		sptype=3	K
U_10M_S	Zonaler 10m-Wind	0	2	2	103			m/s
V_10M_S	Meridionaler 10m-Wind	0	2	3	103			m/s
VMAX_10M_S	Maximum der 10m-Windgeschwindigkeit	0	2	22	103		sptype=2	m/s
TOT_PREC_S	Gesamtniederschlag	0	1	52			sptype=1	kg/m <sup>2</sup>
SNOW_GSP_S	Skaliger Schnee	0	1	56			sptype=1	kg/m <sup>2</sup>
CLCT_S	Gesamtbedeckungsgrad mit Wolken	0	6	1				%
CLCH_S	Bedeckungsgrad mit hohen Wolken (0 - 400 hPa)	0	6	22	100	100		%
CLCM_S	Bedeckungsgrad mit mittelhohen Wolken (400 - 800 hPa)	0	6	22	100	100		%
CLCL_S	Bedeckungsgrad mit niedrigen Wolken (800 hPa - Boden)	0	6	22	100	1		%
T_S_S	Temperatur der Erdoberfläche	2	3	18	106			K

Tabelle 19: Geglättete Ein-Flächen-Felder mit Kalibrierung (gptype=198)

ShortName	Beschreibung	D	K	Nr	L1	L2	Sonstige	unit
VMAX_10M_C	Maximum der 10m-Windgeschwindigkeit	0	2	22	103			s
TOT_PREC_C	Gesamtniederschlag	0	1	52			sptype=1	kg/m <sup>2</sup>
SNOW_GSP_C	Skaliger Schnee	0	1	56			sptype=1	kg/m <sup>2</sup>

## 6 Operationeller Ablauf

Der operationelle Ablauf gliedert sich in den *Datenassimilationszyklus* und die Erstellung der *Hauptlaufanalysen* und *Hauptlaufvorhersagen*.

Im *Datenassimilationszyklus* des COSMO-D2 werden kontinuierlich Analysen mit einem längeren Datenredaktionsschluß (Cut-Off<sup>4</sup>) von 2 h 20 Min. bis 3 h 20 Min. (je nach Lauf, siehe dazu auch die Zeiten in Tabelle 20) erstellt. Dieser relativ lange Cut-off garantiert, daß fast alle beobachteten Daten auch tatsächlich assimiliert werden. Dabei werden die Analysen organisatorisch in Blöcken von je drei Stunden Länge berechnet und herausgeschrieben. Es steht eine Analyse zu jeder vollen Stunde zur Verfügung.

Um auch möglichst zeitnah Beobachtungsdaten berücksichtigen zu können, werden zusätzlich *Hauptlaufanalysen* mit einem kurzen Datenredaktionsschluß von 30 Min. erstellt. Bei diesem kurzen Cut-off können aufgrund längerer Übertragungswege jedoch etliche Beobachtungen fehlen (diese werden dann aber, wie erwähnt, im Datenassimilationszyklus fast komplett berücksichtigt). Die *Hauptlaufanalysen* werden nur für die Termine 00, 03, 06, 09, 12, 15, 18 und 21 UTC erstellt.

Die *Hauptlaufvorhersagen* schließlich sind 27h-Prognosen für die eben genannten Termine 00, 06, 09, 12, 15, 18 und 21 UTC sowie eine 45h-Prognose für den 03 UTC-Lauf. Die Tabelle 20 zeigt den zur Zeit vorgesehenen Ablaufplan für COSMO-D2.

Tabelle 20: Erstellungstermine der COSMO-D2-Analysen und -vorhersagen.

Termin (UTC)	Datenassimilation Fertigstellung (UTC)	Hauptlauf-Analyse Fertigstellung (UTC)	Hauptlaufvorhersage Fertigstellung (UTC)
00	02:30	00:40	01:00
03	06:30	03:40	04:00
06	09:30	06:40	07:00
09	12:30	09:40	10:00
12	14:30	12:40	13:00
15	18:30	15:40	16:00
18	21:30	18:40	19:00
21	00:30	21:40	22:00

Die COSMO-D2-Rechnungen werden auf dem Großrechner des DWD durchgeführt, und die GRIB-Felder pro Lauf werden gleichzeitig auf dem Datenbank-Server in die ORACLE-Datenbanken eingebracht.

<sup>4</sup>Cut-Off ist hier definiert als die Zeitspanne vom *Ende* des Beobachtungszeitraums bis zum *Beginn* des zugehörigen Assimilationslaufs.

## 7 GRIB-Felder in den COSMO-D2-Datenbanken

Die Datenbanken des COSMO-D2 enthalten die in Abschnitt 5 beschriebenen Felder der Analysen aus dem Datenassimilationszyklus, der Hauptlaufanalysen und der Hauptlaufvorhersagen.

Die Anzahl der Gitterpunkte einer Modellfläche beträgt  $651 \times 716 = 466116$ .

Die GRIB-Länge eines 2D-Feldes beträgt damit (ohne Packung) 466116 Gitterpunkte à 2 Bytes = 932232 Bytes + ca. 200 Bytes für die GRIB2-Metadaten (PDS, GDS sowie weitere Sektionen); lediglich die drei Felder HHL, P und T\_S0 werden seit der GRIB2-Einführung mit höherer Genauigkeit (24 bit = 3 bytes) rausgeschrieben.

### 7.1 COSMO-D2-Analysen aus dem Datenassimilationszyklus

Analysen des COSMO-D2 für jede volle Stunde aus dem Datenassimilationszyklus erhält man aus der Datenbank mit Hilfe der sky-Kurzsprachengebote:

- für die derzeitige VERA-Parallelroutine:  

```
read db=vera cat=/Verification Routine/Local Model/COSMO D2/Assimilation/Analysis ..
(alternativ Pfad in Kurzform: cd2_ass_an_vera)
```
- zukünftig für die Routine:  

```
read db=roma cat=/Routine/Local Model/COSMO D2/Assimilation/Analysis ...
(alternativ Pfad in Kurzform: cd2_ass_an_rout)
```
- zukünftig für die Parallelroutine:  

```
read db=parma cat=/Parallel Routine/Local Model/COSMO D2/Assimilation/Analysis ...
(Pfad in Kurzform: cd2_ass_an_para, für die Parallelroutine)
```

Alternativ zu dieser sogenannten sky-Kurzsprache kann man sky-Datenbankabfragen auch als .xml-Request formulieren. In Abschnitt 7.5 werden beide anhand eines Beispiels gegenübergestellt.

Die Datenbank enthält je Termin folgende Felder:

– HHL auf 66 Modell-Nebenflächen (mit 24 bit Genauigkeit in GRIB2)

– 2D-Flächenfelder:

```
FIS      ,HSURF      ,FR_LAND      ,SOILTYP      ,RLAT      ,RLON      ,
ROOTDP   ,PLCOV      ,LAI          ,FC           ,HMO3      ,VIO3      ,
FOR_E    ,FOR_D          ,
FR_LAKE  ,DEPTH_LK     ,ALB_DIF
```

– auf 65 Modell-Hauptflächen:

```
U        ,V          ,P          ,T          ,QV        ,QC        ,
QI       ,QR        ,QS        ,QG
```

- W auf 66 Modell-Nebenflächen
- auf 11 Druckflächen (in p= 200, 250, 300, 400, 500, 600, 700, 850, 950, 975, 1000 hPa):

```
U          ,V          ,OMEGA      ,FI          ,T          ,RELHUM
```

- auf 4 z-Flächen (in z=1000, 2000, 3000, 5000 m)

```
U          ,V          ,W          ,P          ,T          ,RELHUM
```

- 2D-Flächenfelder:

```
PS          ,PMSL          ,T_SNOW      ,T_S          ,T_G          ,QV_S          ,
W_SNOW      ,W_I            ,TCM          ,TCH          ,ZO           ,ALB_RAD       ,
FRESHSNW    ,ASOB_S         ,ATHB_S       ,APAB_S       ,ASOB_T       ,ATHB_T       ,
RAIN_GSP    ,SNOW_GSP       ,GRAU_GSP     ,TOT_PREC     ,              ,
PRR_GSP     ,PRS_GSP        ,PRG_GSP      ,              ,              ,
RUNOFF_S    ,RUNOFF_G       ,AEVAP_S      ,TDIV_HUM     ,TWATER       ,              ,
TQV         ,TQC            ,TQI          ,TQR          ,TQS          ,TQG          ,
U_10M       ,V_10M          ,VMAX_10M    ,              ,              ,
T_2M        ,TD_2M          ,TMIN_2M     ,TMAX_2M      ,RELHUM_2M    ,
CLCT        ,CLCH           ,CLCM         ,CLCL         ,CLCT_MOD     ,
CLDEPTH     ,HBAS_SC        ,HTOP_SC     ,              ,              ,
HTOP_DC     ,HZEROCL        ,AUMFL_S     ,AVMFL_S      ,ASHFL_S      ,ALHFL_S      ,
RHO_SNOW    ,H_SNOW         ,SNOWLMT     ,              ,              ,
ZHD         ,ZTD            ,ZWD          ,              ,              ,
T_MNW_LK    ,T_WML_LK       ,T_BOT_LK    ,C_T_LK       ,H_ML_LK      ,
T_ICE       ,H_ICE
```

- Felder des Bodenmodells:

```
T_SO      (Bodenoberfläche + 8 Bodenschichten)
```

```
W_SO      ,W_SO_ICE      (8 Bodenschichten, nur 6 davon relevant)
```

- Daneben wird zu jeder vollen Stunde eine Analyse der 2m-Temperatur und 2m-relative Feuchte aus SYNOP-Beobachtungen erstellt. Die daraus hervorgehenden Felder T\_2M und RELHUM\_2M werden ebenfalls in die Datenbank eingebracht. Außerdem befinden sich zu jeder vollen Stunde 2 Felder mit 10m-Wind-Analysen in der Datenbank. Weiterhin findet sich zu den Terminen 06 und 18 UTC das Feld TOT\_PREC in der Datenbank, das das Ergebnis einer Analyse der SYNOP-Beobachtungen (12h-Niederschlagssummen) ist.

- Zusätzlich werden zu den Terminen 00, 06, 12 und 18 UTC die Felder

```
T_SNOW, W_SNOW, RHO_SNOW, H_SNOW, FRESHSNW, W_I
```

in die Datenbank eingebracht, die aus der Schneehöhenanalyse hervorgehen. Zum Termin 00 schreibt die Meerestemperaturanalyse das Feld `T_S0` hinzu. Schließlich werden um 00, 03, 06, 09, 12, 15, 18, 21 UTC die klimatologischen Felder durch das Interpolationsprogramm `int21m` für die seitlichen Randfelder wobei die Werte nur um 00 UTC aufdatiert werden und zu den übrigen Terminen dieselben Werte wie um 00 UTC vorhanden sind.

Es liegt online, d. h. auf Festplatte mit raschem Zugriff, 1 Tag in der Datenbank vor, alle älteren Termine sind offline, d. h. im allgemeinen auf Kassetten im Silo mit etwas längerer Zugriffszeit. Die COSMO-D2-Analysen werden "ewig" archiviert.

**Außerdem werden die auf das COSMO-D2-Gitter aggregierten Radardaten (5-minütige Felder) in die Datenbank geschrieben. Sie können z.B. mittels**  
`> echo 'read db=roma cat=cd2_main_anrad_rout d=...' | sky`  
**extrahiert werden**

## 7.2 Hauptlaufanalysen des COSMO-D2

Die Datenbank enthält die Hauptlaufanalysen des COSMO-D2 für die Termine 00, 03, 06, 09, 12, 15, 18 und 21 UTC. Sie bilden die Ausgangsdaten für die Hauptlaufvorhersagen des COSMO-D2. Für die sky-Kurzsprache benötigt man dazu

- für die derzeitige VERA-Parallelroutine:  
`read db=vera cat=/Verification Routine/Local Model/COSMO D2/Main Run/Analysis ...`  
 (alternativ Pfad in Kurzform: `cd2_main_an_vera`)
- zukünftig für die Routine:  
`read db=roma cat=/Routine/Local Model/COSMO D2/Main Run/Analysis ...`  
 (alternativ Pfad in Kurzform: `cd2_main_an_rout`)
- zukünftig für die Parallelroutine:  
`read db=parma cat=/Parallel Routine/Local Model/COSMO D2/Main Run/Analysis ...`  
 (Pfad in Kurzform: `cd2_main_an_para`)

Die Datenbank enthält je Termin die gleichen Felder wie die Analysen aus dem Datenassimilationszyklus. Hinzu kommen zu allen 4 Terminen 00, 06, 12 und 18 UTC die 4 Felder aus der Schneehöhenanalyse.

Es liegt online auf Festplatte 1 Tag in der Datenbank vor, alle älteren Termine sind offline auf Bändern im Silo. Auch die COSMO-D2-Hauptlaufanalysen werden "ewig" aufgehoben.

## 7.3 Hauptlaufvorhersagen des COSMO-D2

Die Datenbank (sky-Kurzsprache):

- für die derzeitige VERA-Parallelroutine:  
`read db=parma cat=/Verification Routine/Local Model/COSMO D2/Main Run/Forecast ...`  
 (Pfad in Kurzform: `cd2_main_fc_vera`)

- zukünftig für die Routine:  
`read db=roma cat=/Routine/Local Model/COSMO D2/Main Run/Forecast ...`  
 (alternativ Pfad in Kurzform: `cd2_main_fc_rout`)
- zukünftig für die Parallelroutine:  
`read db=parma cat=/Parallel Routine/Local Model/COSMO D2/Main Run/Forecast ...`  
 (Pfad in Kurzform: `cd2_main_fc_para`)

enthält die Hauptlaufvorhersagen des COSMO-D2 für die Termine 00, 03, 06, 09, 12, 15, 18, und 21 UTC. Der Vorhersagezeitraum beträgt 27h (Ausnahme: 03 UTC-Lauf bis 45h); die Speicherung der Ausgabefelder erfolgt stündlich bzw. für einen reduzierten Ausgabesatz alle 15 Min.

Speziell das Feld MH aus den Anschlussverfahren ist in der Datenbankkategorie 'cd2\_main\_fcmix\_rout' abgelegt.

Die Datenbank enthält folgende Felder:

- Für `step = 0h`:
  - HHL (66 Schichtgrenzen) (mit 24 bit Genauigkeit in GRIB2)
  - konstante 2D-Flächenfelder:
 

FIS	,HSURF	,FR_LAND	,SOILTYP	,RLAT	,RLON	,
ROOTDP	,FC	,PLCOV	,LAI	,HMO3	,VIO3	,
FOR_E	,FOR_D	,				
FR_LAKE	,DEPTH_LK	,ALB_DIF				
- Für `step ≥ 0h` mit stündlicher Ausgabe:
  - Ausgabe auf den 65 Modell-Hauptflächen:
 

U	,V	,P	,T	,QV	,QC	,
QI	,QR	,QS	,QG	,Q_SEDIM	,CLC	
  - auf 66 Nebenflächen:
 

W	,TKE					
---	------	--	--	--	--	--
  - auf 11 Druckflächen (in  $p= 200, 250, 300, 400, 500, 600, 700, 850, 950, 975, 1000$  hPa, s. Abschnitt 5):
 

U	,V	,OMEGA	,FI	,T	,RELHUM	
---	----	--------	-----	----	---------	--
  - auf 6 z-Flächen (in  $z= 500, 1000, 1500, 2000, 3000, 5000$  m, s. Abschnitt 5):
 

U	,V	,W	,P	,T	,RELHUM	
---	----	----	----	----	---------	--

- 2D-Flächenfelder:

```

PS      ,PMSL      ,T_SNOW  ,T_S      ,T_G      ,QV_S      ,
W_SNOW  ,W_I        ,TCM     ,TCH      ,ZO        ,ALB_RAD   ,
FRESHSNW,ASOB_S     ,ATHB_S  ,APAB_S  ,ASOB_T   ,ATHB_T   ,
RAIN_GSP,SNOW_GSP   ,GRAU_GSP,TOT_PREC ,          ,
PRR_GSP ,PRS_GSP   ,PRG_GSP ,DBZ_850 ,DBZ_CMAX ,
RUNOFF_S,RUNOFF_G  ,AEVAP_S ,TDIV_HUM,TWATER   ,
TQV     ,TQC      ,TQI     ,TQR     ,TQS     ,TQG     ,
U_10M   ,V_10M   ,VMAX_10M,          ,          ,
T_2M    ,TD_2M   ,TMIN_2M ,TMAX_2M ,RELHUM_2M,
CLCT    ,CLCH    ,CLCM    ,CLCL    ,CLCT_MOD,
CLDEPTH ,HBAS_SC ,HTOP_SC ,HTOP_DC ,HZEROCL ,
AUMFL_S ,AVMFL_S ,ASHFL_S ,ALHFL_S ,
RHO_SNOW,H_SNOW  ,CAPE_ML ,CIN_ML  ,
ZHD     ,ZTD     ,ZWD     ,CEILING ,
SDI_1   ,SDI_2   ,SNOWLMT ,
ASWDIR_S,ASWDIFD_S,ASWDIFU_S,
FOR_D   ,FOR_E   ,
T_MNW_LK,T_WML_LK ,T_BOT_LK ,C_T_LK  ,H_ML_LK ,
T_ICE   ,H_ICE

```

- Für  $\text{step} \geq 1\text{h}$  das 2D-Flächenfeld 'Wetterinterpretation'

```

WW      ,

```

- T\_S0 (Bodenoberfläche + 8 Bodenschichten)
- W\_S0 , W\_S0\_ICE (8 Bodenschichten)
- Felder der synthetischen Satellitendaten:

```

SYNMSG

```

- Für  $\text{step} \geq 0\text{h}$  mit 15-minütiger Ausgabe:

- Q\_SEDIM und CLC auf 65 Modell-Hauptflächen
- w auf 66 Nebenflächen
- 2D-Flächenfelder:

```

TQV     ,TQC      ,TQI     ,TQR     ,TQS     ,TQG     ,
RAIN_GSP,SNOW_GSP ,GRAU_GSP,TOT_PREC ,
PRR_GSP ,PRS_GSP   ,PRG_GSP ,
HBAS_SC ,HTOP_SC  ,DBZ_850 ,DBZ_CMAX ,
CAPE_ML ,CIN_ML   ,SDI_1   ,SDI_2   ,
SNOWLMT ,
ASWDIR_S ,ASWDIFD_S

```

– Felder der synthetischen Satellitendaten:

SYNMSG

Die Gesamtmenge der Daten einer 27h-Vorhersage des COSMO-D2 beträgt:

Anzahl der Ausgabeflächen zu  $t = 0$ :

Typ	Anzahl Var.	×	Anzahl Flächen
3D	1	×	66
2D	17	×	1
			$\Sigma = 83$

Anzahl der Ausgabeflächen zu jeder vollen Stunde:

Typ	Anzahl Var.	×	Anzahl Flächen
3D	12	×	65
3D	2	×	66
p-Levels	6	×	11
z-Levels	6	×	6
2D	84	×	1
Boden	1	×	(1+8)
Boden	2	×	8
SynSat	32	×	1
			$\Sigma = 1155$

Anzahl der Ausgabeflächen zu jeder 1/4-h (außer den vollen Stunden):

Typ	Anzahl Var.	×	Anzahl Flächen
3D	2	×	65
3D	1	×	66
2D	24	×	1
SynSat.	32	×	1
			$\Sigma = 252$

Speicherplatzbedarf (ohne weitere Packung):

- für ein einzelnes Level:  $651 \times 716 \times 2$  Byte  $\sim 0.93$  MB/Level  
bzw. für HHL und P:  $421 \times 461 \times 3$  Byte  $\sim 1.4$  MB/Level
- für ein einzelnes 3D-Feld (65 Levels): 61 MB (bzw. 91 MB)
- für ein einzelnes 3D-Feld in einem 27h-Vorhersagelauf mit 1h-Ausgabe: 1.7 GB (bzw. 2.5 GB)
- für ein einzelnes 3D-Feld in einem 27h-Vorhersagelauf mit 1/4h-Ausgabe: 6.6 GB (bzw. 9.9 GB)

Für die 27 h Vorhersagezeit ist das eine Datenmenge von

$$\begin{aligned} & (1 \times (83 - 66) + 28 \times (1155 - 65) + 3 \times 27 \times 252) \times 0.93 \text{ MByte} \\ & + (1 \times 66 + 28 \times 65) \times 1.4 \text{ MByte} \\ & = 50.0 \text{ GByte/Vorhersagelauf.} \end{aligned}$$

Bei 8 Vorhersageläufen pro Tag also eine Datenmenge von ca. 440 GByte pro Tag für die sog. 'deterministischen' COSMO-D2-Vorhersagen. Das multipliziert sich noch einmal mit dem Faktor 20 für das COSMO-D2-EPS.

Dazu kommen noch die Assimilationsläufe, die zusätzlich die Datenmenge von ca. ??? Hauptläufen täglich beitragen.

Es liegt online, d. h. auf Festplatte mit raschem Zugriff, 1 Tag in der Datenbank vor, alle älteren Termine sind offline, d. h. im allgemeinen auf Kassetten im Silo mit etwas längerer Zugriffszeit. Die COSMO-D2-Vorhersagen der Routine werden ein Jahr lang archiviert; diejenigen der Parallelroutine nur ca. 1/2 Jahr.

## 7.4 Modellinterpretation des COSMO-D2

Die Datenbank (sky-Kurzsprache):

- für die derzeitige VERA-Parallelroutine:  
`read db=vera cat=/Routine/Local Model/COSMO D2/Main Run/Forecast ...`  
 (alternativ Pfad in Kurzform: `cd2_main_fc_vera`)
- zukünftig für die Routine:  
`read db=roma cat=/Routine/Local Model/COSMO D2/Main Run/Forecast ...`  
 (alternativ Pfad in Kurzform: `cd2_main_fc_rout`)
- zukünftig für die Parallelroutine:  
`read db=parma cat=/Parallel Routine/Local Model/COSMO D2/Main Run/Forecast ...`  
 (Pfad in Kurzform: `cd2_main_fc_para`)

enthält außerdem die Modellinterpretation der Hauptlaufvorhersagen des COSMO-D2 für die Termine 00, 03, 06, 09, 12, 15, 18 und 21 UTC.

- Für `step ≥ 0h` mit stündlicher Ausgabe:
  - Die geglätteten Ein-Flächen-Felder
 

```
T_2M_S      ,TD_2M_S      ,TMAX_2M_S  ,TMIN_2M_S  ,U_10M_S   ,V_10M_S   ,
VMAX_10M_S ,TOT_PREC_S ,SNOW_GSP_S ,CLCT_S    ,CLCH_S    ,CLCM_S    ,
CLCL_S      ,T_S_S
```
  - Geglättete Ein-Flächen-Felder mit Kalibrierung
 

```
VMAX_10M_C ,TOT_PREC_C ,SNOW_GSP_C
```

## 7.5 Beispiel eines sky-.xml-Files

Die folgende Beispiel-.xml-Datei erzeugt einen Datenbankauftrag über die sky-Zugriffsschicht. Dabei werden zum Startzeitpunkt des Routine-COSMO-D2-Laufs vom '08.06.2017, 0 UTC' die 2D-Felder 'CAPE\_ML' und 'T\_2M' sowie die Temperatur auf den 3 Drucklevel 500, 700 und 850 hPa extrahiert.

ACHTUNG: vorläufig funktioniert dieses Beispiel für das präoperationelle COSMO-D2:

```
<?xml version="1.0" encoding="ISO-8859-1" standalone="yes"?>
<requestCollection append="true" processing="PARALLEL" repeats="1" xmlns="http://dwd.de/sky">
  <read database="vera">
    <select category="/Verification Routine/Local Model/COSMO D2/Main Run/Forecast">
      <referenceDate>
        <value>2017060800</value>
      </referenceDate>
      <field name="PARAMETER_SHORTNAME">
        <value>CAPE_ML</value>
        <value>T_2M</value>
      </field>
      <field name="STEP" unit="h">
        <value>0</value>
      </field>
    </select>
    <sort>
      <order direction="ASC" name="PARAMETER_SHORTNAME"/>
    </sort>
    <result>
      <binary/>
      <metadataArray>
        <requestedField name="PARAMETER_SHORTNAME"/>
      </metadataArray>
      <info/>
    </result>
    <transfer>
      <file hitFile="ihits00000000" infoFile="info00000000" name="lfff00000000"/>
    </transfer>
  </read>
  <read database="vera">
    <select category="/Verification Routine/Local Model/COSMO D2/Main Run/Forecast">
      <referenceDate>
        <value>2017060800</value>
      </referenceDate>
      <field name="p">
        <value>T</value>
      </field>
      <field name="lvt1">
        <value>100</value>
      </field>
      <field name="lvt2">
        <notValue>100</notValue>
      </field>
      <field name="lv1">
        <value>50000</value>
        <value>70000</value>
        <value>85000</value>
      </field>
      <field name="STEP" unit="h">
        <value>0</value>
      </field>
    </select>
    <sort>
      <order direction="ASC" name="PARAMETER_SHORTNAME"/>
    </sort>
  </read>
</requestCollection>
```

```

    <result>
      <binary/>
      <metaDataArray>
        <requestedField name="PARAMETER_SHORTNAME"/>
      </metaDataArray>
      <info/>
    </result>
  <transfer>
    <file hitFile="ihits00000000" infoFile="info00000000" name="lfff00000000"/>
  </transfer>
</read>
</requestCollection>

```

In sky-Kurzsprache übersetzt lautet das

```

reqColl proc=PARALLEL app=true
read db=vera cat="/Verification Routine/Local Model/COSMO D2/Main Run/Forecast"
d=2017060800
PARAMETER_SHORTNAME=CAPE_ML,T_2M STEP[h]=0
sort=PARAMETER_SHORTNAME bin info metaArray=PARAMETER_SHORTNAME
f=lfff00000000 infoF=info00000000 hitF=ihits00000000
read db=vera cat="/Verification Routine/Local Model/COSMO D2/Main Run/Forecast"
d=2017060800
p=T lvt1=100 lvt2=!100 lv1=50000,70000,85000 STEP[h]=0
sort=PARAMETER_SHORTNAME bin info metaArray=PARAMETER_SHORTNAME
f=lfff00000000 infoF=info00000000 hitF=ihits00000000

```

## 8 Danksagung

Im Laufe der Jahre haben etliche Personen zu verschiedenen Zeitspannen und Anteilen an der Entwicklung des COSMO-D2 mitgewirkt. Wir möchten uns insbesondere bedanken bei Barbara Fay (FE14), die zahlreiche Experimente durchgeführt und ausgewertet hat Thomas Hanisch (FE13), Helmut Frank (FE13), Christian Koziar (FE13) und Micheline Brenner (TI12) die das Experimentiersystem NUMEX vorbereitet und die Parallelroutine eingerichtet haben, Kathrin Wapler (FE2C), die erste Vorstudien durchgeführt hat sowie Ulrich Schättler (FE13), Axel Seifert (FE14), Ulrich Blahak (FE12), Detlev Majewski (FE1), Günther Zängl (FE13), Felix Fundel (FE15), Jürgen Helmert (FE14), Klaus Stephan (FE12), Hendrik Reich (FE12) für ihre tatkräftige Unterstützung.

## A Transformationsprogramme

Dieser Abschnitt enthält einige Beispielprogramme zur Umrechnung der rotierten in geographische Koordinaten und umgekehrt.

Die entsprechenden Function-Unterprogramme der DWDLIB wurden bereits in Abschnitt 4.1 angesprochen. Wer lieber in einer Fortran90-Umgebung arbeitet, dem liefern die folgenden Programme aus dem LM-Quelltext die gewünschten Transformationen. Der Kind-Parameter `ireals` zur Festlegung der Genauigkeit von Realgrößen muß in der Umgebung des rufenden Programms gesetzt sein. Die Programme erwarten und geben die Winkel in Grad.

## A.1 Umrechnung der rotierten Länge ( $\lambda$ ) in die geographische Länge ( $\lambda_g$ )

```

FUNCTION rlarot2rla (phirot, rlarot, polphi, pollam, polgam)
!-----
!
! Description:
! This function converts lambda from one rotated system to lambda in another
! system. If the optional argument polgam is present, the other system
! can also be a rotated one, where polgam is the angle between the two
! north poles.
! If polgam is not present, the other system is the real geographical
! system.
!-----

REAL (KIND=wp), INTENT (IN) :: &
  polphi, & ! latitude of the rotated north pole
  pollam, & ! longitude of the rotated north pole
  phirot, & ! latitude in the rotated system
  rlarot ! longitude in the rotated system

REAL (KIND=wp), INTENT (IN) :: &
  polgam ! angle between the north poles of the systems

REAL (KIND=wp) :: &
  rlarot2rla ! longitude in the geographical system

! Local variables
REAL (KIND=wp) :: &
  zsinpol, zcospol, zlampol, zphis, zrlas, zarg1, zarg2, zgam

REAL (KIND=wp), PARAMETER :: &
  zpi18 = 57.2957795_wp, & !
  zpir18 = 0.0174532925_wp

!-----

zsinpol = SIN (zpir18 * polphi)
zcospol = COS (zpir18 * polphi)

zlampol = zpir18 * pollam
zphis = zpir18 * phirot
IF (rlarot > 180.0_wp) THEN
  zrlas = rlarot - 360.0_wp
ELSE
  zrlas = rlarot
ENDIF
zrlas = zpir18 * zrlas

IF (polgam /= 0.0_wp) THEN
  zgam = zpir18 * polgam
  zarg1 = SIN (zlampol) *
    (- zsinpol * COS(zphis) * (COS(zrlas) * COS(zgam) - SIN(zrlas) * SIN(zgam)) &
    + zcospol * SIN(zphis)) &
  - COS (zlampol) * COS(zphis) * (SIN(zrlas) * COS(zgam) + COS(zrlas) * SIN(zgam)) &

  zarg2 = COS (zlampol) * &
    (- zsinpol * COS(zphis) * (COS(zrlas) * COS(zgam) - SIN(zrlas) * SIN(zgam)) &
    + zcospol * SIN(zphis)) &
  + SIN (zlampol) * COS(zphis) * (SIN(zrlas) * COS(zgam) + COS(zrlas) * SIN(zgam)) &
ELSE
  zarg1 = SIN (zlampol) * (-zsinpol * COS(zrlas) * COS(zphis) + &
    zcospol * SIN(zphis)) - &
    COS (zlampol) * SIN(zrlas) * COS(zphis)
  zarg2 = COS (zlampol) * (-zsinpol * COS(zrlas) * COS(zphis) + &

```

```
                zcospol *          SIN(zphis) + &
      SIN (zlampol) *          SIN(zrlas) * COS(zphis)
ENDIF
IF (zarg2 == 0.0_wp) zarg2 = 1.0E-20_wp
rlarot2rla = zrpi18 * ATAN2(zarg1,zarg2)
END FUNCTION rlarot2rla
```

## A.2 Umrechnung der rotierten Breite ( $\varphi$ ) in die geographische Breite ( $\varphi_g$ )

```

FUNCTION phiro2phi ( phiro, rlarot, polphi, pollam, polgam )
!-----
!
! Description:
! This function converts phi from one rotated system to phi in another
! system. If the optional argument polgam is present, the other system
! can also be a rotated one, where polgam is the angle between the two
! north poles.
! If polgam is not present, the other system is the real geographical
! system.
!-----
REAL (KIND=wp), INTENT (IN) :: &
  polphi, & ! latitude of the rotated north pole
  pollam, & ! longitude of the rotated north pole
  phiro, & ! latitude in the rotated system
  rlarot ! longitude in the rotated system

REAL (KIND=wp), INTENT (IN) :: &
  polgam ! angle between the north poles of the systems

REAL (KIND=wp) :: &
  phiro2phi ! latitude in the geographical system

! Local variables
REAL (KIND=wp) :: &
  zsinpol, zcospol, zphis, zrlas, zarg, zgam

REAL (KIND=wp), PARAMETER :: &
  zrpi18 = 57.2957795_wp, &
  zpir18 = 0.0174532925_wp

!-----

  zsinpol = SIN (zpir18 * polphi)
  zcospol = COS (zpir18 * polphi)

  zphis = zpir18 * phiro
  IF (rlarot > 180.0_wp) THEN
    zrlas = rlarot - 360.0_wp
  ELSE
    zrlas = rlarot
  ENDIF
  zrlas = zpir18 * zrlas

  IF (polgam /= 0.0_wp) THEN
    zgam = zpir18 * polgam
    zarg = zsinpol*SIN (zphis) +
      zcospol*COS (zphis) * ( COS (zrlas)*COS (zgam) - SIN (zgam)*SIN (zrlas) ) &
  ELSE
    zarg = zcospol * COS (zphis) * COS (zrlas) + zsinpol * SIN (zphis)
  ENDIF

  phiro2phi = zrpi18 * ASIN (zarg)
END FUNCTION phiro2phi

```

### A.3 Umrechnung der geographischen Länge ( $\lambda_g$ ) in die rotierte Länge ( $\lambda$ )

```

FUNCTION rla2rlarot ( phi, rla, polphi, pollam, polgam )
!-----
!
! Description:
! This routine converts lambda from the real geographical system to lambda
! in the rotated system.
!-----
REAL (KIND=wp), INTENT (IN) :: &
  polphi, & ! latitude of the rotated north pole
  pollam, & ! longitude of the rotated north pole
  phi, & ! latitude in geographical system
  rla ! longitude in geographical system

REAL (KIND=wp), INTENT (IN) :: &
  polgam ! angle between the north poles of the systems

REAL (KIND=wp) :: &
  rla2rlarot ! longitude in the the rotated system

! Local variables
REAL (KIND=wp) :: &
  zsinpol, zcospol, zlampol, zphi, zrla, zarg1, zarg2, zrla1

REAL (KIND=wp), PARAMETER :: &
  zrpi18 = 57.2957795_wp, & !
  zpir18 = 0.0174532925_wp

!-----

  zsinpol = SIN (zpir18 * polphi)
  zcospol = COS (zpir18 * polphi)
  zlampol = zpir18 * pollam
  zphi = zpir18 * phi
  IF (rla > 180.0_wp) THEN
    zrla1 = rla - 360.0_wp
  ELSE
    zrla1 = rla
  ENDIF
  zrla = zpir18 * zrla1

  zarg1 = - SIN (zrla-zlampol) * COS(zphi)
  zarg2 = - zsinpol * COS(zphi) * COS(zrla-zlampol) + zcospol * SIN(zphi)

  IF (zarg2 == 0.0_wp) zarg2 = 1.0E-20_wp

  rla2rlarot = zrpi18 * ATAN2 (zarg1,zarg2)

  IF (polgam /= 0.0_wp) THEN
    rla2rlarot = polgam + rla2rlarot
    IF (rla2rlarot > 180._wp) rla2rlarot = rla2rlarot -360._wp
  ENDIF

END FUNCTION rla2rlarot

```

## A.4 Umrechnung der geographischen Breite ( $\varphi_g$ ) in die rotierte Breite ( $\varphi$ )

```

FUNCTION phi2phirot ( phi, rla, polphi, pollam )
!-----
! Description:
! This routine converts phi from the real geographical system to phi
! in the rotated system.
!-----

REAL (KIND=wp), INTENT (IN) :: &
  polphi, & ! latitude of the rotated north pole
  pollam, & ! longitude of the rotated north pole
  phi, & ! latitude in the geographical system
  rla ! longitude in the geographical system

REAL (KIND=wp) :: &
  phi2phirot ! latitude in the rotated system

! Local variables
REAL (KIND=wp) :: &
  zsinpol, zcospol, zlampol, zphi, zrla, zarg1, zarg2, zrla1

REAL (KIND=wp), PARAMETER :: &
  zrpi18 = 57.2957795_wp, & !
  zpir18 = 0.0174532925_wp

!-----

  zsinpol = SIN (zpir18 * polphi)
  zcospol = COS (zpir18 * polphi)
  zlampol = zpir18 * pollam
  zphi = zpir18 * phi
  IF (rla > 180.0_wp) THEN
    zrla1 = rla - 360.0_wp
  ELSE
    zrla1 = rla
  ENDIF
  zrla = zpir18 * zrla1

  zarg1 = SIN (zphi) * zsinpol
  zarg2 = COS (zphi) * zcospol * COS (zrla - zlampol)

  phi2phirot = zrpi18 * ASIN (zarg1 + zarg2)

END FUNCTION phi2phirot

```

## Literatur

- Baldauf, M., Förstner, J., Klink, S., Reinhardt, T., Schraff, C., Seifert, A., and Stephan, K. (2016). *Kurze Beschreibung des Lokal-Modells Kurzzeitfrist COSMO-DE (LMK) und seiner Datenbanken auf dem Datenserver des DWD*. Deutscher Wetterdienst (DWD), Offenbach.
- Bott, A. (1989). A positive definite advection scheme obtained by nonlinear renormalization of the advective fluxes. *Mon. Wea. Rev.*, **117**, 1006–1015.
- Doms, G. and Baldauf, M. (2015). *A Description of the Nonhydrostatic Regional COSMO-Model. Part I: Dynamics and Numerics*. Deutscher Wetterdienst (DWD), Offenbach, Germany.
- Doms, G., Förstner, J., Heise, E., Herzog, H. J., Mironov, D., Raschendorfer, M., Ritter, T. R. B., Schrodin, R., Schulz, J.-P., and Vogel, G. (2011). *A Description of the Nonhydrostatic Regional COSMO Model. Part II: Physical Parameterization*. Deutscher Wetterdienst (DWD), Offenbach, Germany.
- Fay, B., Schrodin, R., Jacobsen, I., and Engelbart, D. (1997). Validation of mixing heights derived from the operational NWP models at the German Weather Service. In: The determination of the mixing height – current progress and problems. In *EURASAP Workshop Proceedings*, pages 55–58.
- Hoffmann, H. (2005). Geglättete LMK-Felder für Punktterminprognosen. Technical report, DWD.
- Hoffmann, H. (2006). LMK-Wahrscheinlichkeitsvorhersagen für Warnzwecke mit der Umgebungsmethode (UGM). Technical report, DWD.
- Hunt, B. R., Kostelich, E. J., and Szunyogh, I. (2007). Efficient Data Assimilation for Spatio-temporal Chaos: a Local Ensemble Transform Kalman Filter. *Physica D*, **230**, 112–126.
- Leuenberger, D., Koller, M., Fuhrer, O., and Schär, C. (2010). A Generalization of the SLEVE Vertical Coordinate. *Mon. Wea. Rev.*, **138**, 3683–3689.
- Lynch, P. (1997). The Dolph-Chebyshev window: A simple optimal filter. *Mon. Wea. Rev.*, **125**, 655–660.
- Mellor, G. L. and Yamada, T. (1974). A Hierarchy of Turbulence Closure Models for Planetary Boundary Layers. *J. Atmosph. Sci.*, **31**, 1791–1806.
- Ritter, B. and Geleyn, J. F. (1992). A comprehensive radiation scheme for numerical weather prediction models with potential applications in climate simulations. *Mon. Wea. Rev.*, **120**, 303–325.
- Schättler, U. and Blahak, U. (2016). *A Description of the Nonhydrostatic Regional COSMO-Model. Part V: Preprocessing: Initial and Boundary Data for the COSMO-Model*. Deutscher Wetterdienst (DWD), Offenbach, Germany.
- Schättler, U., Doms, G., and Schraff, C. (2016). *A Description of the Nonhydrostatic Regional COSMO-Model. Part VII: User's Guide*. Deutscher Wetterdienst (DWD), Offenbach, Germany.

- Schraff, C. and Hess, R. (2012). *A Description of the Nonhydrostatic Regional COSMO-Model. Part III: Data Assimilation*. Deutscher Wetterdienst (DWD), Offenbach, Germany.
- Schraff, C., Reich, H., Rhodin, A., Schomburg, A., Stephan, K., Perianez, A., and Potthast, R. (2016). Kilometre-scale ensemble data assimilation for the COSMO model (KENDA). *QJRM*, **142**, 1453–1472.
- Stephan, K., Klink, S., and Schraff, C. (2008). Assimilation of radar-derived rain rates into the convective-scale model COSMO-DE at DWD. *Quart. J. Royal Met. Soc.*, **134**(634), 1315–1326. DOI: 10.1002/qj.269.
- Theis, S. (2005). *Deriving probabilistic short-range forecasts from a deterministic high-resolution model*. Ph.D. thesis, University of Bonn, Germany. [http://hss.ulb.uni-bonn.de/diss\\_online/math\\_nat\\_fak/2005/theis\\_susanne/index.htm](http://hss.ulb.uni-bonn.de/diss_online/math_nat_fak/2005/theis_susanne/index.htm).
- Theis, S., Gebhardt, C., and Bouallegue, Z. B. (2017). *Beschreibung des COSMO-DE-EPS und seiner Ausgabe in die Datenbanken des DWD*. o, o, o edition. o.