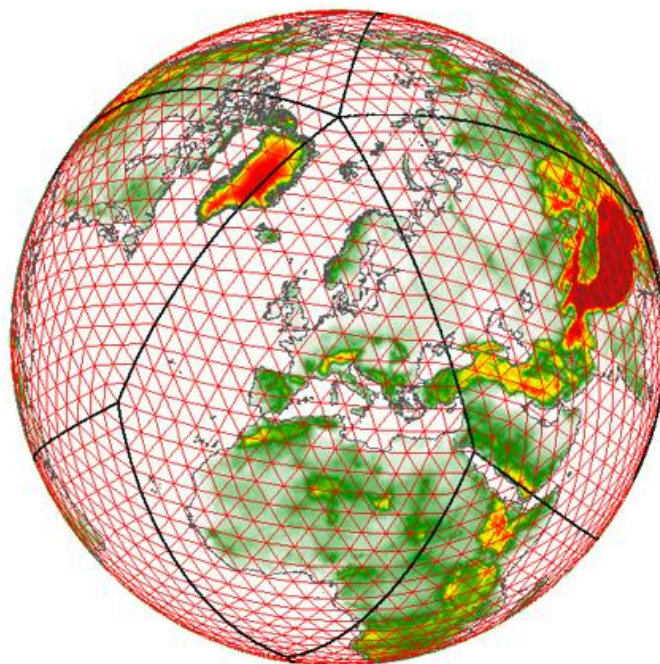




**Kurze Beschreibung**  
**des Globalmodells GME (20 km / L60) und seiner**  
**Datenbanken auf dem Datenserver des DWD**

**D. Majewski, H. Frank, D. Liermann (FE 13) und B. Ritter (FE 14)**

**Stand: Februar 2012**



# INHALTSVERZEICHNIS:

|        |   |    |
|--------|---|----|
| 1      | Vorbemerkungen .....  | 4  |
| 2      | Gitterstruktur und Diskretisierung des GME .....  | 6  |
| 2.1.   | Horizontale Gitterstruktur .....  | 6  |
| 2.2.   | Vertikale Gitterstruktur .....  | 9  |
| 2.3.   | Differenzenoperatoren.....  | 12 |
| 2.4.   | Interpolationsverfahren.....  | 15 |
| 3      | Dreidimensionale Modellversion .....  | 18 |
| 3.1.   | Differentielle Form der Modellgleichungen.....  | 18 |
| 3.2.   | Numerische Lösung der dreidimensionalen GME-Gleichungen.....  | 19 |
| 3.3.   | Physikalische Parametrisierungen.....   | 19 |
| 3.3.1. | Strahlung .....   | 20 |
| 3.3.2. | Skaliger Niederschlag .....   | 21 |
| 3.3.3. | Feuchtkonvektion.....   | 21 |
| 3.3.4. | Vertikale turbulente Flüsse.....  | 21 |
| 3.3.5. | Bewölkung .....   | 22 |
| 3.3.6. | Subgrid-skalige orographische Effekte .....   | 22 |
| 3.3.7. | Meereismodell.....  | 22 |
| 3.3.8. | Bodenprozesse.....  | 23 |
| 3.4.   | Externe Parameter .....   | 24 |
| 4      | Parallelisierung für MPP-Rechner, zweidimensionale Gebietszerlegung.....  | 27 |
| 5      | GME-Vorhersagen als Randwerte für Regionalmodelle weltweit .....  | 29 |
| 6      | Anfangszustand und Initialisierung.....   | 30 |
| 7      | Interpolation vom Dreiecksgitter auf geographische und polarstereographische Gitter ..                                | 33 |
| 8      | Tabellarische Übersicht über die GME-Felder im GRIB1-Code .....   | 35 |
| 9      | GRIB1-Felder im Dreiecksgitter (Datenbanken i384a und i384f).....   | 45 |
| 9.1.   | Vorbemerkungen.....   | 45 |
| 9.2.   | Konstante Felder (Orographie, Land/Meer-Maske, etc.) .....  | 45 |
| 9.3.   | Datenbank i384a (GME-Analysen im Dreiecksgitter, Hauptlauf) .....   | 46 |
| 9.4.   | Datenbank i384f (GME-Vorhersagen im Dreiecksgitter, Hauptlauf) .....  | 46 |
| 9.5.   | Datenbank i384a (GME-Analysen im Dreiecksgitter, Assimilationslauf) .....   | 47 |
| 9.6.   | Datenbank i384f (GME-Vorhersagen im Dreiecksgitter, Assimilationslauf) .....  | 48 |
| 10     | GRIB1-Felder im geographischen Gitter (Datenbanken r384a und r384f).....  | 49 |
| 10.1.  | Vorbemerkungen.....   | 49 |
| 10.2.  | Konstante Felder (Orographie, Land/Meer-Maske, etc.) .....  | 49 |
| 10.3.  | Datenbank r384a (GME-Analysen im geographischen Gitter, Hauptlauf) .....  | 49 |
| 10.4.  | Datenbank r384f (GME-Vorhersagen im geographischen Gitter, Hauptlauf).....  | 50 |
| 10.5.  | Datenbank r384f (GME-Vorhersagen im geographischen Gitter, Monatsmittelfelder; Hauptläufe und Datenassimilation)..... | 51 |
| 11     | Datenbanken der Vorassimilation .....   | 53 |
| 12     | Hinweise zu einigen speziellen Feldern .....  | 53 |
| 12.1.  | Externe Parameterfelder (LVTYP=1) .....   | 53 |
| 12.2.  | Erdbodenfelder (LVTYP=111) .....  | 54 |
| 12.3.  | Bodenfelder (LVTYP=1, 111 und 112) .....  | 55 |
| 12.4.  | Bodennahe Felder (LVTYP=105).....   | 57 |
| 12.5.  | Kenngrößen der Bewölkung.....   | 58 |

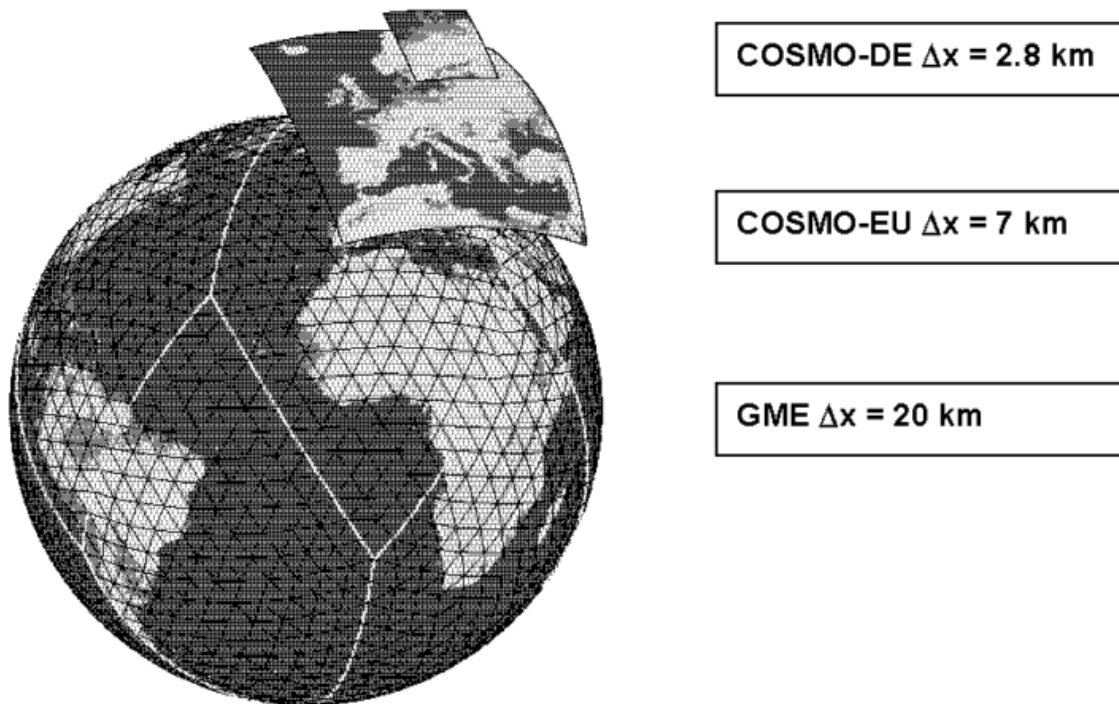
|       |   |    |
|-------|---|----|
| 12.6. | Atmosphären-Felder.....   | 60 |
| 12.7. | Zeitlich gemittelte Felder .....  | 61 |
| 12.8. | Wetterinterpretation (ww).....  | 62 |
| 13    | Inhalt der Product Definition Section PDS und der Grid Description Section GDS der<br>GRIB1-Felder .....    | 63 |
| 14    | Holen und Entpacken von GME-Feldern aus ORACLE-Datenbanken .....  | 69 |
| 15    | Zuordnung Station - Gitterpunkt im Dreiecksgitter des GME Gitterpunktsinformation des<br>GME (GMEGPI) ..... | 72 |
| 16    | Operationeller Ablauf.....  | 76 |
| 17    | Wichtige Änderungen der Analyse und des Modells .....   | 77 |
| 18    | Literatur .....   | 79 |

## 1 Vorbemerkungen

Das Globalmodell GME des DWD ist seit dem 1. Dezember 1999 im operationellen Einsatz und stellt, zusammen mit den höher auflösenden Regionalmodellen (COSMO-EU und COSMO-DE), die meteorologische Datenbasis für eine Vielzahl von Modellen und Anschlussverfahren bereit.

Analysen und Vorhersagen des GME dienen auch als Antrieb für die

- RLMs (Relocatable Local Model: Verschiebbare Version des COSMO-Modells) für Auslandseinsätze der Bundeswehr,
- COSMO-Modelle in Griechenland, Polen, Rumänien, Russland, Oman und weiteren Ländern sowie
- HRMs (High resolution Regional Model des DWD) bei mehr als 25 Wetterdiensten und Forschungsinstituten weltweit.
- Seegangmodelle GSM, MSM, LSM des DWD.



Dieser Text gibt eine kurze Übersicht über die Gitterstruktur, numerische Algorithmen und physikalische Ausstattung des GME. Weiterhin werden der Inhalt der GME-Datenbanken erläutert und einige Beispiele zum Lesen der GME-Daten aus den ORACLE-Datenbanken auf dem Datenserver des DWD gegeben.

Mit der weiteren Entwicklung des GME-Systems sind z. Z. in Abteilung FE 1 betraut:

*Externe Parameterdaten (Topographie etc.)*

J.-P. Schulz (FE 13)

*Datenassimilation*

Dr. H. Anlauf, A. Cress, Dr. R. Faulwetter, Dr. M. Lange, G. Paul, Dr. A. Rhodin (FE 12).

*Modellentwicklung*

B. Ritter (Referatsleiter FE 14), Dr. H. Frank, D. Liermann (FE 13) und Dr. J. Helmert, Dr. D. Mironov (FE 14).

*Operationelle Implementierung*

T. Hanisch, Dr. H. Frank (FE 13) und K.-T. Wirt (TI 14).

*Quellcodeverwaltung und Randdatenversorgung für HRM/COSMO-Modell-Nutzer weltweit*

M. Gertz (FE 13).

Korrekturen und Änderungsvorschläge zu diesem Text senden Sie bitte an:

H. Frank (FE 13, Tel. 069 8062 2742, e-mail: [helmut.frank@dwd.de](mailto:helmut.frank@dwd.de)).

Weitere Exemplare dieses Textes können Sie von

Frau Y. Schmidt-Reiter (FE13, Tel. 069 8062 2221, email: [yvonne.schmidt-reiter@dwd.de](mailto:yvonne.schmidt-reiter@dwd.de))

und

Frau A. Biermann (FE13, Tel. 069 8062 2225, email: [annegret.biermann@dwd.de](mailto:annegret.biermann@dwd.de))

erhalten.

## 2 Gitterstruktur und Diskretisierung des GME

### 2.1. Horizontale Gitterstruktur

Um das Gitter des GME zu erzeugen, gehen wir von einem Ikosaeder (Abb. 1) aus, der so in die Erdkugel gestellt wird, dass zwei der zwölf Eckpunkte mit den Polen übereinstimmen.

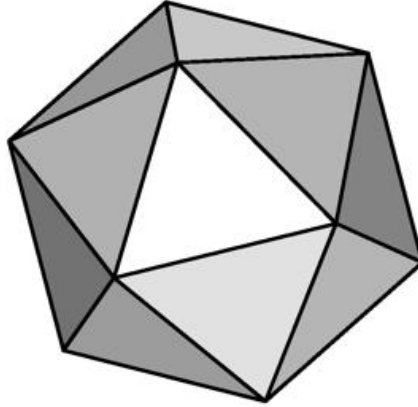


Abb. 1 Ein regulärer Ikosaeder, der aus 20 gleichseitigen Dreiecken besteht.

Fünf der übrigen zehn Eckpunkte liegen dann im Abstand von  $72^\circ$  ( $= 360^\circ/5$ ) auf einem Breitenkreis in etwa  $26.565^\circ\text{N}$ , die anderen fünf auf einem Breitenkreis in etwa  $26.565^\circ\text{S}$ .

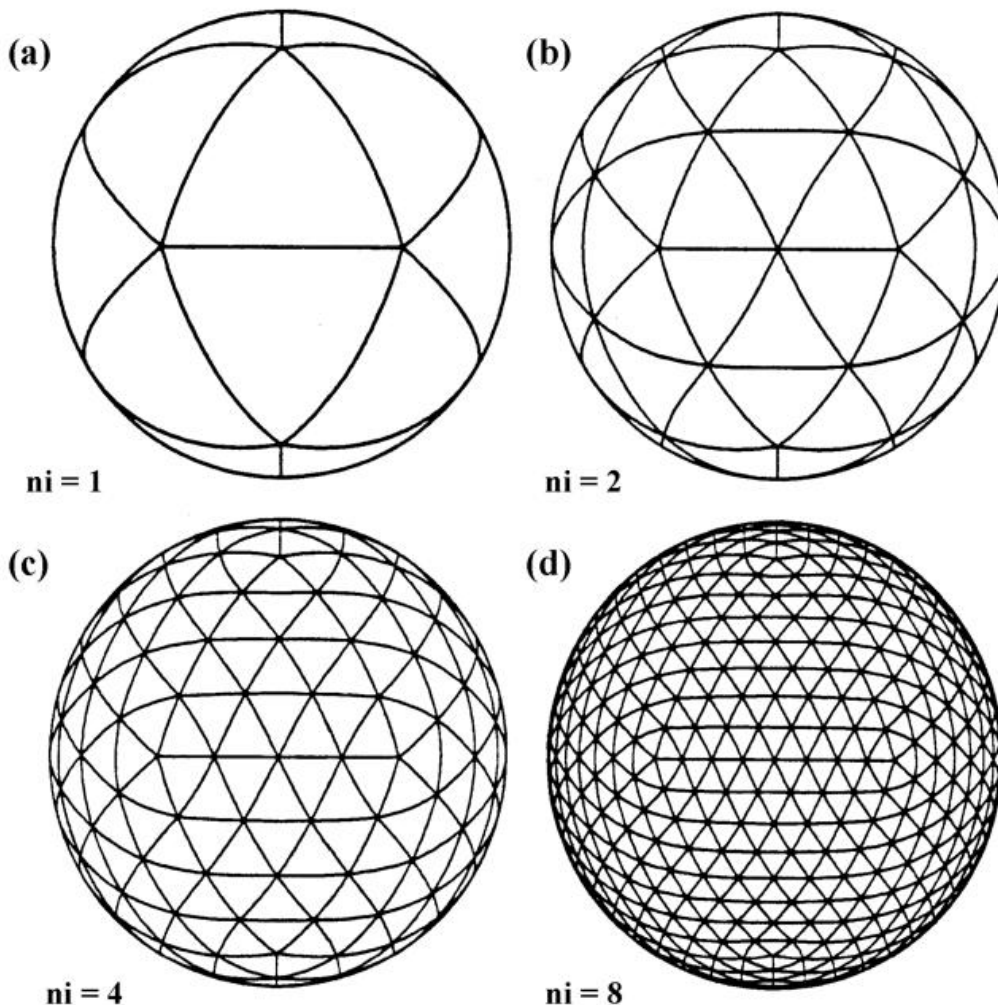


Abb. 2 **ni = 1** **ni = 2** **ni = 4** **ni = 8**  
Gittergenerierung durch rekursive Halbierung der Dreiecksseiten.  
Der Parameter  $n_i$  ist die Anzahl der Intervalle auf einer großen Dreiecksseite.

Verbindet man die nächsten Nachbarn unter diesen zwölf Punkten mit Großkreisabschnitten, so entstehen 20 große sphärische Dreiecke mit einer Seitenlänge von rund 7054 km (Abb. 2a). Ausgehend von diesem Gitter von Dreiecken, werden durch eine rekursive Halbierung der Dreiecksseiten immer feinmaschigere Gitter erzeugt (Abb. 2b bis d). Der Unterteilungsprozess wird so lange fortgesetzt, bis das Gitter die gewünschte Auflösung aufweist. Diese Konstruktionsvorschrift erzeugt ein Gitter, das aus  $10 n_i^2 + 2$  Gitterpunkten (Knoten) und  $20 n_i^2$  sphärischen Dreiecken besteht. Hierbei ist  $n_i$  die Zahl der gleich großen Intervalle, in die jede Seite der 20 großen Dreiecke unterteilt wird.

Jeder der  $10 n_i^2 + 2$  Gitterpunkte ist von sechs Nachbarpunkten umgeben, bis auf die zwölf Punkte des ursprünglichen Ikosaeders, die nur von fünf Punkten umgeben sind. Da jeder Gitterpunkt repräsentativ für ein umgebendes Flächenelement steht, setzt sich das GME-Gitter aus vielen sphärischen Sechsecken und genau zwölf Fünfecken zusammen.

Dieses Gitter bietet eine nahezu gleichförmige Diskretisierung der Kugeloberfläche, auch wenn die sechseckigen Gitterzellen in ihrer Form und Größe variieren (Tab. 2.1a), speziell in der Nähe der Fünfecke. Um die Auswahl an Auflösungen zu erhöhen, kann zusätzlich zuerst eine Dreiteilung der großen Dreiecksseite mit anschließender rekursiver Halbierung vorgenommen werden (Tab. 2.1b).

**Tabelle 2.1** Einige charakteristische Größen des Dreiecksgitters für verschiedene Auflösungen, gekennzeichnet durch  $n_i$ , die Anzahl der Intervalle auf einer großen Dreiecksseite.

$N = 10 n_i^2 + 2$  ist die Anzahl der Gitterpunkte,  $A_{\min}$  ist die Fläche des kleinsten Gitterelementes,  $A_{\max}$  ist die Fläche des größten Elementes.  $\Delta_{av}$  ist der mittlere;  $\Delta_{\min}$  ist minimale und  $\Delta_{\max}$  der maximale Abstand zwischen Gitterpunkten.

**Tabelle 2.1a** Die Seiten der Dreiecke werden  $q$  mal halbiert, d.h.  $n_i = 2^q$ , wobei  $q$  eine positive ganze Zahl ist.

| $q$ | $n_i$ | N       | $A_{\min}$ (km <sup>2</sup> ) | $A_{\max}$ (km <sup>2</sup> ) | $\Delta_{av}$ (km) | $\Delta_{\min}$ (km) | $\Delta_{\max}$ (km) |
|-----|-------|---------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------|----------------------|----------------------|
| 4   | 16    | 2562    | 154109                        | 238061                        | 477.6              | 440.5                | 526.0                |
| 5   | 32    | 10242   | 38515                         | 59955                         | 239.3              | 220.3                | 263.2                |
| 6   | 64    | 40962   | 9628                          | 15017                         | 119.8              | 110.1                | 131.6                |
| 7   | 128   | 163842  | 2407                          | 3756                          | 59.9               | 55.1                 | 65.8                 |
| 8   | 256   | 655362  | 602                           | 939                           | 30.0               | 27.6                 | 32.9                 |
| 9   | 512   | 2621442 | 150                           | 235                           | 15.0               | 13.8                 | 16.5                 |

**Tabelle 2.1b** Die Seiten der Dreiecke werden einmal gedrittelt, danach  $l$  mal halbiert, d.h.

$n_i = 3 \cdot 2^l = 2^q$ , wobei  $q = 1.585 + l$ .

| $q$ | $n_i$ | N       | $A_{\min}$ (km <sup>2</sup> ) | $A_{\max}$ (km <sup>2</sup> ) | $\Delta_{av}$ (km) | $\Delta_{\min}$ (km) | $\Delta_{\max}$ (km) |
|-----|-------|---------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------|----------------------|----------------------|
| 4.6 | 24    | 5762    | 68477                         | 97683                         | 319.0              | 293.7                | 346.9                |
| 5.6 | 48    | 23042   | 17117                         | 24494                         | 159.7              | 146.8                | 173.5                |
| 6.6 | 96    | 92162   | 4279                          | 6128                          | 79.9               | 73.4                 | 86.8                 |
| 7.6 | 192   | 368642  | 1070                          | 1532                          | 40.0               | 36.7                 | 43.4                 |
| 8.6 | 384   | 1474562 | 267                           | 383                           | 20.0               | 18.4                 | 21.7                 |
| 9.6 | 768   | 5898242 | 67                            | 96                            | 10.0               | 9.2                  | 10.9                 |

Beim operationellen GME hat  $n_i$  den Wert 384, d. h. die mittlere horizontale Maschenweite im Modell beträgt 20 km, und die mittlere Gitterfläche beträgt 346 km<sup>2</sup>.

Vom 01.12.1999 bis zum 26.09.2004 war  $n_i = 128$ , d. h. die mittlere Maschenweite im Modell betrug 59.9 km, und die mittlere Gitterfläche betrug 3100 km<sup>2</sup>.

Vom 26.09.2004 bis zum 02.02.2010 war  $n_i = 192$ , d. h. die mittlere Maschenweite im Modell betrug 40.0 km, und die mittlere Gitterfläche betrug 1384 km<sup>2</sup>.

Vom 02.02.2010 bis zum 29.02.2012 war  $n_i = 256$ , d. h. die mittlere horizontale Maschenweite im Modell betrug 30 km, und die mittlere Gitterfläche betrug 778 km<sup>2</sup>.



1482250 Gitterpunkten für  $n_i=384$  (für  $n_i = 128$  waren es 166410 Gitterpunkte, für  $n_i = 192$  372490 Gitterpunkte und für  $n_i=256$  660490 Gitterpunkte). Die Dimensionierung eines GME-Feldes unter FORTRAN sollte also folgendermaßen erfolgen:

```
PARAMETER (ni=384)
REAL      gme_feld (0:ni, 1:ni+1, 10).
```

Der dritte Index gibt bei dieser Definition den Rhombus (Laufvariable  $jd = 1,10$ ) an.

Da die GME-Gitterstruktur für viele Routineanwendungen, z. B. einfache Grafikprodukte für den Vorhersagedienst, zu komplex ist, werden Modellergebnisse auch in einem regulären geographischen Gitter bereitgestellt. Die Interpolation vom Dreiecksgitter auf beliebige geographische und polarstereographische Gitter wird im Kapitel 7 erläutert.

Vom Standpunkt der Programmierung her bietet das GME-Gitter den großen Vorteil, dass keine indirekte Adressierung der Variablen benötigt wird. Die Datenstruktur ist regulär, und das Gitter wird durch zehn quadratische Felder (Matrizen) definiert. Die Differenzenoperatoren haben die Form eines 7-Punkte-Sterns, der den zentralen Punkt und die umliegenden sechs nächsten Nachbarpunkte einbezieht.

## 2.2. Vertikale Gitterstruktur

GME verwendet zur vertikalen Diskretisierung die Hybrid-Koordinate (sigma-Druck) nach *Simmons und Burridge (1981)*. Der Druck  $p_h$  an den Schichtgrenzen (= Nebenflächen, engl.: half levels) ergibt sich aus:

$$p_h(j_1, j_2, j_3, j_d) = a_k(j_3) + b_k(j_3) * p_s(j_1, j_2, j_d)$$

mit  $j_3 = 1, i_3e + 1$  wobei  $i_3e$  die Anzahl der GME-Schichten ist und  
 $p_s$  zeitabhängiger Bodendruck auf der Modellorographie  
 $j_1 = 0, n_i$  Zeilenindex  
 $j_2 = 1, n_i + 1$  Spaltenindex  
 $j_d = 1, 10$  Rhombusindex.

Z. Z. gilt:  $i_3e = 60$  (vorher bei  $n_i = 192$ :  $i_3e=40$  und bei  $n_i = 128$ :  $i_3e = 31$ )

Der Druck  $p_f$  in der Schichtmitte (= Hauptfläche, engl.: full levels), wo die meisten Variablen des GME definiert sind, ergibt sich als arithmetisches Mittel des Druckes an den angrenzenden Nebenflächen:

$$p_f(j_1, j_2, j_3, j_d) = 0.5 * ( p_h(j_1, j_2, j_3, j_d) + p_h(j_1, j_2, j_3+1, j_d) )$$

mit  $j_3 = 1, i_3e$ .

Die Vertikalkoordinatenparameter  $a_k$  und  $b_k$  sind in der Grid Description Section (GDS) eines jeden GRIB1-Feldes enthalten (siehe Kapitel 12) und haben z. Z. folgende Werte (Tab. 2.2).

Diese Werte sollten aber nicht fest in Anwenderprogrammen gesetzt werden, sondern aus der GDS der Mehrflächenfelder des GME gelesen werden, um bei Änderungen der Schichteneinteilung Umprogrammierungen oder Fehler zu vermeiden.

**Tabelle 2.2** Die Vertikalkoordinatenparameter ak und bk des GME (Stand 01.12.2009)

| <b>K</b> | <b>ak (Pa)</b> | <b>bk (-)</b> | <b>K</b> | <b>ak (Pa)</b> | <b>bk (-)</b> |
|----------|----------------|---------------|----------|----------------|---------------|
| 1        | 0.0            | 0.00000       | 32       | 18970.0        | 0.28236       |
| 2        | 1000.0         | 0.00000       | 33       | 18366.6        | 0.31497       |
| 3        | 2000.0         | 0.00000       | 34       | 17676.2        | 0.34876       |
| 4        | 3000.0         | 0.00000       | 35       | 16907.7        | 0.38354       |
| 5        | 4000.0         | 0.00000       | 36       | 16070.4        | 0.41909       |
| 6        | 5000.0         | 0.00000       | 37       | 15172.8        | 0.45526       |
| 7        | 6000.0         | 0.00000       | 38       | 14227.4        | 0.49175       |
| 8        | 7000.0         | 0.00000       | 39       | 13244.6        | 0.52835       |
| 9        | 7998.4         | 0.00002       | 40       | 12235.5        | 0.56482       |
| 10       | 8990.0         | 0.00010       | 41       | 11211.0        | 0.60094       |
| 11       | 9969.2         | 0.00031       | 42       | 10182.2        | 0.63648       |
| 12       | 10930.6        | 0.00076       | 43       | 9159.9         | 0.67123       |
| 13       | 11875.7        | 0.00158       | 44       | 8154.6         | 0.70496       |
| 14       | 12805.4        | 0.00293       | 45       | 7176.4         | 0.73749       |
| 15       | 13722.0        | 0.00494       | 46       | 6234.6         | 0.76861       |
| 16       | 14620.0        | 0.00782       | 47       | 5338.5         | 0.79817       |
| 17       | 15493.2        | 0.01173       | 48       | 4495.9         | 0.82598       |
| 18       | 16331.1        | 0.01687       | 49       | 3714.3         | 0.85192       |
| 19       | 17122.8        | 0.02342       | 50       | 3000.0         | 0.87586       |
| 20       | 17855.2        | 0.03157       | 51       | 2357.9         | 0.89771       |
| 21       | 18516.6        | 0.04147       | 52       | 1792.5         | 0.91738       |
| 22       | 19094.8        | 0.05326       | 53       | 1306.5         | 0.93483       |
| 23       | 19579.7        | 0.06705       | 54       | 901.0          | 0.95005       |
| 24       | 19962.4        | 0.08290       | 55       | 575.6          | 0.96304       |
| 25       | 20236.3        | 0.10087       | 56       | 328.7          | 0.97384       |
| 26       | 20397.0        | 0.12094       | 57       | 156.6          | 0.98254       |
| 27       | 20441.8        | 0.14311       | 58       | 52.7           | 0.98927       |
| 28       | 20370.4        | 0.16731       | 59       | 6.6            | 0.99420       |
| 29       | 20183.6        | 0.19346       | 60       | 0.0            | 0.99763       |
| 30       | 19884.9        | 0.22145       | 61       | 0.0            | 1.00000       |
| 31       | 19478.5        | 0.25113       |          |                |               |

**Tabelle 2.3** Druck und die mittlere Höhe der GME-Modellschichten (Hauptflächen) für die US-Standard-Atmosphäre (US 1976)

| K  | p <sub>r</sub> (hPa) | z <sub>r</sub> (m) | K  | p <sub>r</sub> (hPa) | z <sub>r</sub> (m) |
|----|----------------------|--------------------|----|----------------------|--------------------|
| 1  | 5.00                 | 35776              | 31 | 462.52               | 6145               |
| 2  | 15.00                | 28368              | 32 | 489.31               | 5734               |
| 3  | 25.00                | 25028              | 33 | 516.48               | 5335               |
| 4  | 35.00                | 22856              | 34 | 543.92               | 4949               |
| 5  | 45.00                | 21247              | 35 | 571.52               | 4576               |
| 6  | 55.00                | 19971              | 36 | 599.18               | 4217               |
| 7  | 65.00                | 18912              | 37 | 626.78               | 3872               |
| 8  | 75.00                | 18004              | 38 | 654.17               | 3541               |
| 9  | 85.00                | 17210              | 39 | 681.23               | 3225               |
| 10 | 95.00                | 16505              | 40 | 707.84               | 2925               |
| 11 | 105.04               | 15868              | 41 | 733.88               | 2639               |
| 12 | 115.22               | 15281              | 42 | 759.23               | 2369               |
| 13 | 125.69               | 14730              | 43 | 783.78               | 2114               |
| 14 | 136.62               | 14201              | 44 | 807.44               | 1874               |
| 15 | 148.18               | 13686              | 45 | 830.08               | 1650               |
| 16 | 160.47               | 13181              | 46 | 851.64               | 1442               |
| 17 | 173.61               | 12681              | 47 | 872.01               | 1248               |
| 18 | 187.68               | 12187              | 48 | 891.12               | 1070               |
| 19 | 202.75               | 11697              | 49 | 908.91               | 907                |
| 20 | 218.87               | 11212              | 55 | 925.32               | 759                |
| 21 | 236.05               | 10732              | 51 | 940.32               | 626                |
| 22 | 254.33               | 10252              | 52 | 953.87               | 506                |
| 23 | 273.68               | 9773               | 53 | 965.97               | 401                |
| 24 | 294.09               | 9297               | 54 | 976.60               | 310                |
| 25 | 315.54               | 8824               | 55 | 985.79               | 231                |
| 26 | 337.97               | 8357               | 56 | 993.58               | 165                |
| 27 | 361.33               | 7897               | 57 | 1000.02              | 111                |
| 28 | 385.55               | 7445               | 58 | 1005.17              | 67                 |
| 29 | 410.55               | 7001               | 59 | 1009.15              | 34                 |
| 30 | 436.24               | 6567               | 60 | 1012.05              | 10                 |

Tab. 2.3 gibt den Druck (in hPa) und die mittlere Höhe (in m) der GME-Modellschichten (Hauptflächen) für die US-Standard-Atmosphäre an. Die unterste Hauptfläche liegt also in etwa 10 m über Grund. Die unterste Schicht, die etwa 20 m mächtig ist, wird in der Turbulenzparametrisierung (siehe Kap. 3.3.4) als Prandtl-Schicht (constant flux layer) behandelt. Die oberste Hauptfläche liegt in 5 hPa.

Variablen an den Hauptflächen haben im GRIB1-Code in der Product Definition Section PDS im Wort 8 (Oktet 10) den Leveltyp (LVTYPE) **110**; im GME sind dies die Variablen Temperatur T, Windkomponenten U und V, Vertikalbewegung OMEGA, Wasserdampf QV, Wolkenwasser QC, Wolkeneis QI, Regen QR, Schnee QS, Wolkenbedeckungsgrad CLC und Ozon O3.

Variablen an den Nebenflächen haben  $LVTYP = 109$ ; im GME ist dies die Variable Geopotential FL.

Folgende Programmsequenz (in FORTRAN 90) holt die Vertikalkoordinatenparameter **ak** und **bk** aus der GDS; nur in der GDS von Modellflächenfeldern sind die „ak“ und „bk“ enthalten, nicht jedoch in der GDS von GME-Feldern, die auf Druckflächen interpoliert wurden.

```

      INTEGER, PARAMETER :: i3e = 60      ! Anzahl der GME-Schichten
!
      INTEGER              :: igds(25+2*(i3e+1))
!
      REAL                 :: ak(i3e+1), bk(i3e+1)
!
!   i3e ist die Anzahl der Schichten (Hauptflächen), i3e+1 die Anzahl der
!   Schichtgrenzen (Nebenflächen); hier sind 'ak' und 'bk' definiert.
!
!   Die Anzahl der Vertikalkoordinatenparameter steht in igds(2)
!
      ki3e = igds(2)/2 - 1
!
      IF (ki3e /= i3e) STOP 'Falsche Anzahl von Schichten'
!
!   Lesen der 'ak' und 'bk' aus der igds
!
      DO j3 = 1, ki3e + 1
         ak(j3) = REFSTF(igds(25 + j3))
         bk(j3) = REFSTF(igds(25 + j3 + ki3e + 1))
      ENDDO
!

```

REFSTF ist eine Funktion in der LIBDWD.

### 2.3. Differenzenoperatoren

Die Numerik des GME basiert auf den Arbeiten von Baumgardner (1983, 1985, 1995) und Baumgardner und Fredeickson (1985). Die Herleitung der Differenzenoperatoren basiert nicht auf dem Gaußschen Satz wie in *Masuda and Ohnishi* (1987) oder *Heikes and Randall* (1995a und 1995b), sondern folgt einem Ansatz ähnlich dem von *Stuhne and Peltier* (1996, 1999). Detailliertere Beschreibungen sind in *Majewski* (1998), *Majewski et al.* (2000) und *Majewski et al.* (2002) zu finden. Es werden in jedem Gitterpunkt auf der Kugel lokale Basisfunktionen eingeführt. Diese Basisfunktionen sind die Länge und Breite eines lokal definierten sphärischen Koordinatensystems, dessen Äquator und Nullmeridian sich im betrachteten Gitterpunkt schneiden.  $(\eta, \chi)$  sind die Koordinaten dieses lokalen Systems; die lokale Ost-Richtung stimmt mit der globalen Ost-Richtung und die lokale Nord-Richtung mit der globalen Nord-Richtung überein. Das lokale sphärische Koordinatensystem wird durch drei orthogonale Einheitsvektoren aufgespannt  $[\mathbf{x}_0, (\mathbf{e}_\lambda)_0, (\mathbf{e}_\phi)_0]$ , wobei  $\mathbf{x}_0$  der Ortsvektor des Gitterpunktes auf der Einheitskugel ist,  $(\mathbf{e}_\lambda)_0$  ist orthogonal zu  $\mathbf{x}_0$  und stimmt mit der globalen Ost-Richtung überein, und  $(\mathbf{e}_\phi)_0$  ist orthogonal zu  $\mathbf{x}_0$  und zeigt in die globale Nord-Richtung (Abb. 5).

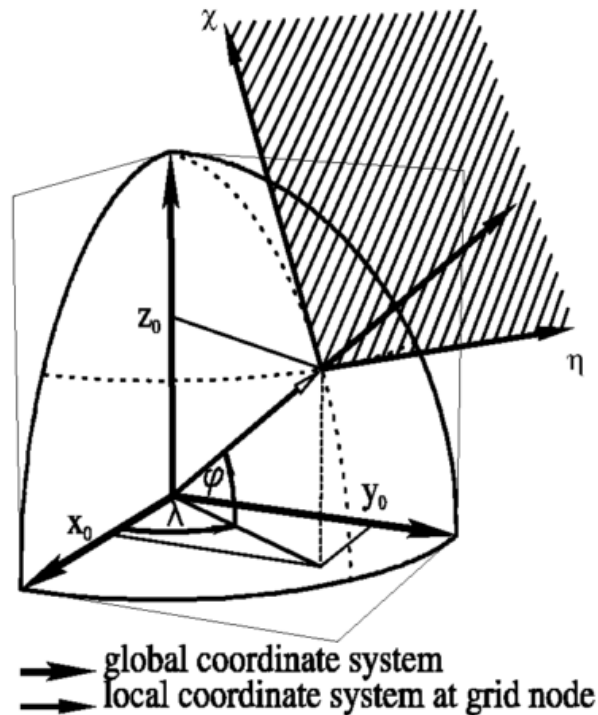


Abb. 5 Das globale kartesische und das lokale sphärische  $(\eta, \chi)$  Koordinatensystem

Als Vorteile des lokalen Koordinatensystems sind zu nennen

- innerhalb der lokalen Umgebung eines Gitterpunktes ist das Koordinatensystem nahezu kartesisch, d. h. die Singularitäten des Koordinatensystems sind weit von der Gitterpunkts Umgebung entfernt,
- nur zwei (tangente) Geschwindigkeitskomponenten werden benötigt, um horizontale (kugeloberflächenparallele) Geschwindigkeitsvektoren zu beschreiben.

Ein Nachteil ist allerdings, dass Geschwindigkeitsfelder in das jeweilige lokale Koordinatensystem transformiert werden müssen, bevor die Differenzenoperatoren berechnet werden können.

Die meteorologischen Gleichungen werden aufgestellt und gelöst für das lokale sphärische Koordinatensystem  $(\eta, \chi)$ , wobei die horizontalen Abstände  $(dx, dy)$  auf der Erde mit dem Radius  $a$  durch  $dx = a \cos \chi d\eta$  und  $dy = a d\chi$  gegeben sind.

Um für dieses Koordinatensystem Differenzenoperatoren für Gradient und Laplace herzuleiten, gehen wir von der üblichen analytischen Form der Operatoren in sphärischen Koordinaten aus (z. B. Dutton, 1976), wobei wir berücksichtigen, dass am zentralen Gitterpunkt gilt:

$$\eta = \chi = 0.$$

Jede beliebige globale Funktion  $\psi^*$  wird in der Nachbarschaft eines Gitterpunktes durch ein quadratisches Polynom  $\psi$  in den lokalen Koordinaten  $(\eta, \chi)$  folgendermaßen approximiert

$$\psi(\eta, \chi) = \psi_0 + \alpha_1 \eta + \alpha_2 \chi + \alpha_3 \eta^2 + \alpha_4 \eta \chi + \alpha_5 \chi^2 \quad (2.1)$$

Gl. (2.1) lässt sich interpretieren als eine Taylorreihe der Form

$$\psi(\eta, \chi) = \psi_0 + \left(\frac{\partial \psi}{\partial \eta}\right) \eta + \left(\frac{\partial \psi}{\partial \chi}\right) \chi + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial^2 \psi}{\partial \eta^2}\right) \eta^2 + \left(\frac{\partial^2 \psi}{\partial \eta \partial \chi}\right) \eta \chi + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial^2 \psi}{\partial \chi^2}\right) \chi^2 \quad (2.2)$$

Die diskretisierte Form der Gradient und Laplace Operatoren eines skalaren Feldes  $\psi$  wird als gewichtete Linearkombination der Werte von  $\psi$  am zentralen Gitterpunkt und den umge-

benden fünf oder sechs nächsten Nachbarpunkten angesetzt. (In der folgenden Ableitung lassen wir den Index  $m$  der Nachbarpunkte immer von 1 bis 6 variieren, wobei es klar ist, dass das Gewicht des nicht existenten Gitterpunktes bei den pentagonalen Gitterpunkten identisch 0 ist.)

Der Gradient-Operator in jedem Gitterpunkt ist definiert als

$$\frac{\partial \psi}{\partial \eta} = \sum_{m=1}^6 G_{\eta,m} (\psi_m - \psi_0) \quad (2.3)$$

$$\frac{\partial \psi}{\partial \chi} = \sum_{m=1}^6 G_{\chi,m} (\psi_m - \psi_0) \quad (2.4)$$

Die Gewichte  $G_{\eta,m}$ ,  $G_{\chi,m}$  ( $m = 1, \dots, 6$ ) sind für jeden Nachbargitterpunkt unterschiedlich und hängen nur von der Position der Gitterpunkte ab, die durch die lokalen Koordinaten  $(\eta, \chi)$  gegeben ist. Die Zählung der Gitterpunkte erfolgt gegen den Uhrzeigersinn (Abb. 6).

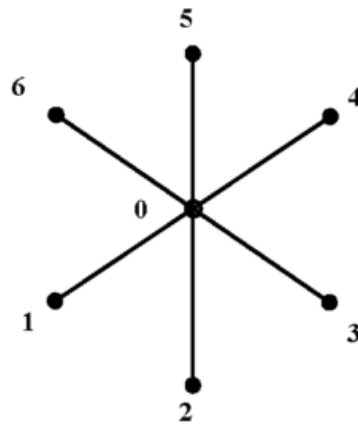


Abb. 6 Der zentrale Gitterpunkt (0) und die 6 Nachbargitterpunkte (1 bis 6).

Analog zum Gradient-Operator wird auch der Laplace-Operator als gewichtete Linearkombination des zentralen Punktes und der sechs (fünf) Nachbarn definiert

$$\left( \frac{\partial^2}{\partial \eta^2} + \frac{\partial^2}{\partial \chi^2} \right) \psi = \sum_{m=1}^6 L_m (\psi_m - \psi_0) \quad (2.5)$$

Um die Gewichte  $G_{\eta,m}$ ,  $G_{\chi,m}$  und  $L_m$  abzuleiten, gehen wir von der quadratischen Polynomapproximation in Gl. (2.1) aus. Für sechs Nachbargitterpunkte haben wir sechs Bestimmungsgleichungen für die fünf Koeffizienten  $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_5$ , welche die Funktion  $\psi$  in der lokalen Umgebung des zentralen Gitterpunktes bestimmen, nämlich

$$\psi_m(\eta_m, \chi_m) = \psi_0 + \alpha_1 \eta_m + \alpha_2 \chi_m + \alpha_3 \eta_m^2 + \alpha_4 \eta_m \chi_m + \alpha_5 \chi_m^2 \quad (2.6)$$

mit  $m = 1, \dots, 6$ . Bestimmt man die fünf gesuchten Koeffizienten mittels einer Minimierung der Fehlerquadrate, so erhält man folgendes Gleichungssystem

$$\alpha_j = \beta_{j,m}(\psi_m - \psi_0) \quad (2.7)$$

wobei  $j = 1, \dots, 5$ , und die Summe gebildet wird für  $m = 1, \dots, 6$ .

Basierend auf Gl. (2.1) bis Gl. (2.6) ergeben sich die Gradient-Gewichte  $G_{\eta,m}$ ,  $G_{\chi,m}$  durch

$$G_{\eta,m} = \beta_{1,m} \quad \text{und} \quad G_{\chi,m} = \beta_{2,m} \quad (2.8)$$

und die Laplace-Gewichte  $L_m$  durch

$$L_m = 2(\beta_{3,m} + \beta_{5,m}) \quad (2.9)$$

wobei  $m = 1, \dots, 6$ .

Aufgrund der Symmetriebeziehungen im GME-Gitter reicht es aus, die Gewichte  $G_{\eta,m}$ ,  $G_{\chi,m}$  und  $L_m$  nur für den Rhombus 1 zu berechnen. Die gleichen Gewichte werden auch für die Bestimmung der horizontalen Winddivergenz genutzt. Allerdings müssen die Windkomponenten  $(u_m, v_m)$  der sechs (fünf) Nachbargitterpunkte in das lokale Koordinatensystem des zentralen Gitterpunktes rotiert werden, bevor der Divergenz-Operator berechnet werden kann.

## 2.4. Interpolationsverfahren

Um die horizontale Advektion der Feuchtegrößen (Wasserdampf, Wolkenwassergehalt, Wolkeneisgehalt) sowie des Ozons genauer durchführen zu können, wird im GME ein semi-Lagrange-Ansatz genutzt. Semi-Lagrange-Verfahren (*Staniforth and Côté, 1991*) erfordern die Interpolation der Felder von den benachbarten Gitterpunkten auf die Start- und Mittelpunkte der Trajektorien der Luftpakete.

Wir unterscheiden zwei Interpolationsverfahren, nämlich *bilinear* und *biquadratisch*. *Bilineare* Interpolation wird zur Berechnung der Trajektorie des Luftpaketes eingesetzt, um die Windkomponenten  $(u, v)$  am Mittelpunkt der Trajektorie zu berechnen. *Biquadratische* Interpolation dient dazu, die prognostischen Felder, z. B. Wasserdampf und Wolkenwassergehalt, am Startpunkt der Trajektorie zu bestimmen. Beide Interpolationsverfahren werden innerhalb des sphärischen Dreiecks, das durch die drei umliegenden Gitterpunkte aufgespannt wird (Abb. 7 und 8), durchgeführt.

Bilineare Interpolation einer beliebigen Funktion  $\psi(\eta, \chi)$  am Punkt  $P(\eta, \chi)$  basiert auf den Werten  $(\psi_0, \psi_1, \psi_2)$  der Funktion an den drei umliegenden Gitterpunkten  $(P_0, P_1, P_2)$ , die durch ihre Ortsvektoren  $(\mathbf{p}_0, \mathbf{p}_1, \mathbf{p}_2)$  bestimmt sind. Diese drei Gitterpunkte bilden die Ecken eines sphärischen Dreiecks, das den Punkt  $P(\eta, \chi)$  umschließt (Abb. 7). Um den Wert  $\psi(\eta, \chi)$  der Funktion am Punkt  $P(\eta, \chi)$  abzuleiten, führen wir baryzentrische Koordinaten ein. Jeder Punkt im Dreieck ist eindeutig bestimmt durch den Vektor

$$\mathbf{p} = \gamma_0 \mathbf{p}_0 + \gamma_1 \mathbf{p}_1 + \gamma_2 \mathbf{p}_2 \quad \text{mit} \quad \gamma_0 + \gamma_1 + \gamma_2 = 1 \quad (2.10)$$

wobei  $(\gamma_0, \gamma_1, \gamma_2)$  die baryzentrischen Koordinaten des Punktes  $P$  sind. Diese Koordinaten sind die Lösung des folgenden linearen Gleichungssystems (bei der Herleitung wird benutzt, dass am zentralen Punkt  $P_0$  gilt:  $\eta = \chi = 0$ ):

$$\eta = \gamma_1 \eta_1 + \gamma_2 \eta_2 \quad \text{und} \quad \chi = \gamma_1 \chi_1 + \gamma_2 \chi_2 \quad \text{und} \quad \gamma_0 = 1 - \gamma_1 - \gamma_2 \quad (2.11)$$

Die bilineare Interpolation der Funktion  $\psi(\eta, \chi)$  ergibt sich dann durch eine Linearkombination der Werte von  $\psi$  an den Ecken des sphärischen Dreiecks mit den baryzentrischen Koordinaten als Gewichten

$$\psi(\eta, \chi) = \gamma_0 \psi(\eta_0, \chi_0) + \gamma_1 \psi(\eta_1, \chi_1) + \gamma_2 \psi(\eta_2, \chi_2) \quad (2.12)$$

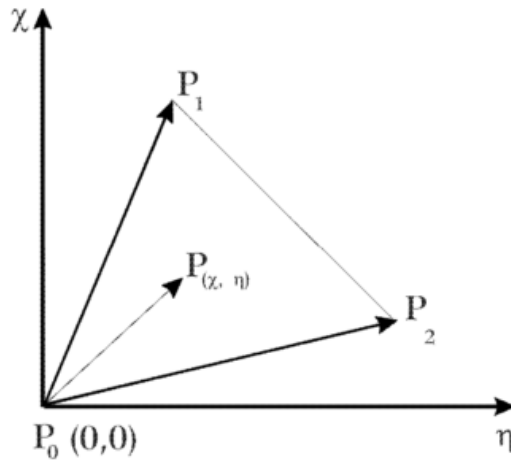


Abb. 7 Ein Dreieck ( $P_0, P_1, P_2$ ) im lokalen sphärischen Koordinatensystem ( $\eta, \chi$ ).

Das biquadratische Interpolationsverfahren basiert auf *Zienkiewicz* (1979). Neben den Werten an den drei Eckpunkten werden auch Werte an den Mittelpunkten der Dreiecksseiten berücksichtigt (Abb.8), um den Wert  $\psi$  an einem beliebigen Punkt  $P(\eta, \chi)$  im Dreieck zu bestimmen:

$$\psi(\gamma_0, \gamma_1, \gamma_2) = \gamma_0(2\gamma_0 - 1)\psi_0 + \gamma_1(2\gamma_1 - 1)\psi_1 + \gamma_2(2\gamma_2 - 1)\psi_2 + 4(\gamma_0\gamma_1\psi_4 + \gamma_1\gamma_2\psi_5 + \gamma_2\gamma_0\psi_6) \quad (2.13)$$

wobei  $(\gamma_0, \gamma_1, \gamma_2)$  wieder die baryzentrischen Koordinaten des Punktes  $P$  sind. Die Werte der Funktion  $\psi$  an den Mittelpunkten der Dreiecksseiten,  $\psi_4, \psi_5, \psi_6$ , werden durch eine Approximation von  $\psi$  entlang der Dreiecksseiten durch ein kubisches Hermite-Polynom bestimmt. Dazu benutzen wir die Gradienten an den Dreiecksecken, d. h. an den Punkten  $(P_0, P_1, P_2)$ . Da zur Gradientenberechnung jeweils die sechs umliegenden Gitterpunkte genutzt werden, basiert die biquadratische Interpolation auf zwölf umliegenden Gitterpunkten (Abb. 9).

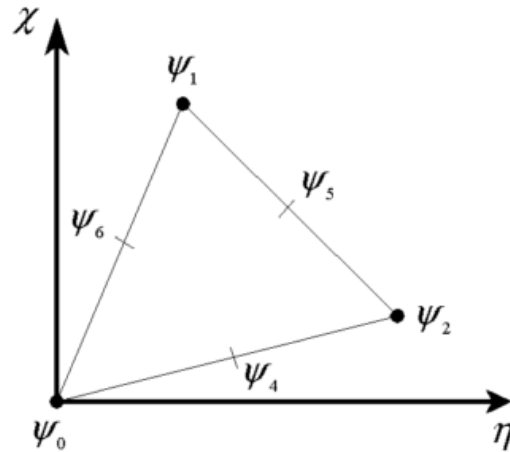


Abb. 8 Die sechs Funktionswerte bei der biquadratischen Interpolation.

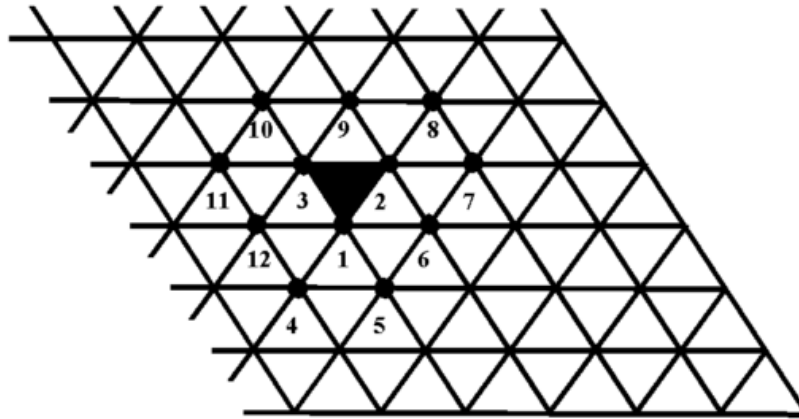


Abb. 9 Die zwölf bei der biquadratischen Interpolation genutzten Gitterpunkte.

*Formerhaltung* bei der Interpolation kann erreicht werden, indem gefordert wird, dass der interpolierte Wert nicht größer oder kleiner ist als die Werte in den drei Eckpunkten ( $P_0, P_1, P_2$ ). In gleicher Weise lässt sich eine *positiv-definite Interpolation* durch die Forderung erzwingen, dass der interpolierte Wert größer oder gleich Null ist.

Wird die Courant-Zahl auf Werte kleiner eins beschränkt, kann sehr einfach bestimmt werden, in welchem der sechs (fünf) umgebenden sphärischen Dreiecke der Start- oder Mittelpunkt der Trajektorie liegt. Ohne diese Einschränkung ist der Suchalgorithmus komplexer und benötigt ein binäres Suchverfahren, um die Konvergenz zu beschleunigen.

### 3 Dreidimensionale Modellversion

#### 3.1. Differentielle Form der Modellgleichungen

Die prognostischen Gleichungen des GME für die lokalen sphärischen Koordinaten  $(\eta, \chi)$  und die hybride Vertikalkoordinate  $\xi$  lauten in differentieller Form:

$$\frac{\partial u}{\partial t} - (\zeta + f)v + \xi \frac{\partial u}{\partial \xi} = -\frac{1}{a} \frac{\partial}{\partial \eta} (\Phi + K) - \frac{RT_v}{a} \frac{\partial}{\partial \eta} (\ln p) + \left( \frac{\partial u}{\partial t} \right)_{sub} - K_4 \nabla^4 u \quad (3.1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + (\zeta + f)u + \xi \frac{\partial v}{\partial \xi} = -\frac{1}{a} \frac{\partial}{\partial \chi} (\Phi + K) - \frac{RT_v}{a} \frac{\partial}{\partial \chi} (\ln p) + \left( \frac{\partial v}{\partial t} \right)_{sub} - K_4 \nabla^4 v \quad (3.2)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \frac{u}{a} \frac{\partial T}{\partial \eta} + \frac{v}{a} \frac{\partial T}{\partial \chi} + \xi \frac{\partial T}{\partial \xi} = \frac{\alpha \omega}{c_p} + \frac{L_v}{c_p} C_{vc} + \left( \frac{\partial T}{\partial t} \right)_{sub} - K_4 \nabla^4 (T - T_{ref}) \quad (3.3)$$

$$\frac{\partial p_s}{\partial t} = -\frac{1}{a} \int_0^1 \left\{ \frac{\partial}{\partial \eta} \left( u \frac{\partial p}{\partial \xi} \right) + \frac{\partial}{\partial \chi} \left( v \frac{\partial p}{\partial \xi} \right) \right\} d\xi \quad (3.4)$$

$$\frac{\partial q_v}{\partial t} + \frac{u}{a} \frac{\partial q_v}{\partial \eta} + \frac{v}{a} \frac{\partial q_v}{\partial \chi} + \xi \frac{\partial q_v}{\partial \xi} = -C_{vc} + \left( \frac{\partial q_v}{\partial t} \right)_{sub} - K_4 \nabla^4 q_v \quad (3.5)$$

$$\frac{\partial q_c}{\partial t} + \frac{u}{a} \frac{\partial q_c}{\partial \eta} + \frac{v}{a} \frac{\partial q_c}{\partial \chi} + \xi \frac{\partial q_c}{\partial \xi} = C_{vc} + \left( \frac{\partial q_c}{\partial t} \right)_{sub} \quad (3.6)$$

$$\frac{\partial q_i}{\partial t} + \frac{u}{a} \frac{\partial q_i}{\partial \eta} + \frac{v}{a} \frac{\partial q_i}{\partial \chi} + \xi \frac{\partial q_i}{\partial \xi} = \left( \frac{\partial q_i}{\partial t} \right)_{sub} \quad (3.7)$$

$$\frac{\partial q_r}{\partial t} + \frac{u}{a} \frac{\partial q_r}{\partial \eta} + \frac{v}{a} \frac{\partial q_r}{\partial \chi} + \xi \frac{\partial q_r}{\partial \xi} = \left( \frac{\partial q_r}{\partial t} \right)_{sub} \quad (3.8)$$

$$\frac{\partial q_s}{\partial t} + \frac{u}{a} \frac{\partial q_s}{\partial \eta} + \frac{v}{a} \frac{\partial q_s}{\partial \chi} + \xi \frac{\partial q_s}{\partial \xi} = \left( \frac{\partial q_s}{\partial t} \right)_{sub} \quad (3.9)$$

$$\frac{\partial o_3}{\partial t} + \frac{u}{a} \frac{\partial o_3}{\partial \eta} + \frac{v}{a} \frac{\partial o_3}{\partial \chi} + \xi \frac{\partial o_3}{\partial \xi} = 0 \quad (3.10)$$

wobei  $(u, v)$  die zonalen (meridionalen) Windkomponenten sind,  $T$  ist die Temperatur,  $p_s$  ist der Bodendruck,  $q_v$  ist der spezifische Wasserdampfgehalt,  $q_c$  ist der spezifische Wolkenwassergehalt,  $q_i$  ist der spezifische Wolkeneisgehalt,  $q_r$  der spezifische Regenwassergehalt,  $q_s$  der spezifische Schneegehalt,  $o_3$  ist das Ozonmischungsverhältnis.  $t$  ist die Zeit und  $a$  ist der mittlere Erdradius ( $a=6371229$  m),  $\zeta$  ist die Vorticity und  $f$  der Coriolis Parameter,  $\xi$  ist die Vertikalgeschwindigkeit im hybriden System und  $\omega$  ist die Vertikalgeschwindigkeit in Druckkoordinaten,  $\alpha$  ist die Dichte der Luft,  $\Phi$  ist das Geopotential und  $K$  ist die spezifische kinetische Energie,  $p$  ist der Druck und  $T_v$  ist die virtuelle Temperatur,  $T_{ref}$  ist eine Referenztemperatur, die nur von der Höhe abhängt,  $L_v$  ist die Kondensationswärme,  $C_{vc}$  ist die Kondensationsrate und  $(..)_{sub}$  sind die subskaligen Tendenzen durch parametrisierte Prozesse wie Strahlung, Konvektion oder Turbulenz,  $K_4$  ist der konstante Koeffizient der linearen Horizontaldiffusion 4. Ordnung.

### 3.2. Numerische Lösung der dreidimensionalen GME-Gleichungen

In der Flachwasserversion des GME wurden zwei verschiedene Lösungsverfahren getestet, nämlich ein semi-Lagrange-Ansatz (*Staniforth and Côté, 1991*) und ein Euler-Verfahren. Das semi-Lagrange-Verfahren war auf Courant-Zahlen kleiner 1 beschränkt. Für größere Courant-Zahlen ist der Suchalgorithmus komplexer und wurde deshalb in der kurzen Zeit, die für die Entwicklung des GME zur Verfügung stand, nicht implementiert. Im Rahmen des Flachwassermodells ergaben beide Lösungsansätze sehr ähnliche Ergebnisse, aber die Eulersche Modellversion war um etwa 20% schneller. Deshalb wird der „trockene Teil“ des dreidimensionalen GME, d. h. die Gleichungen für  $u$ ,  $v$ ,  $T$  und  $p_s$  mittels eines semi-impliziten Euler-Verfahrens (*Robert, 1981*) gelöst. Nur für die prognostischen Feuchtevariablen ( $q_v$ ,  $q_c$ ,  $q_b$ ,  $q_r$ ,  $q_s$ ) und das Ozon  $o_3$  wird ein semi-Lagrange-Ansatz genutzt, um formerhaltende, positiv-definite Advektion (in horizontaler Richtung) zu garantieren. Für GME mit einer Maschenweite von 30 km oder mehr kann auf die Advektion der Niederschlagsgrößen ( $q_r$ ,  $q_s$ ) verzichtet werden. In vertikaler Richtung wird ein Energie und Impuls erhaltendes Differenzenverfahren (*Simmons and Burridge, 1981*) auf alle prognostischen Variablen angewendet.

Die semi-implizite Behandlung der Schwerewellen führt zu einer dreidimensionalen Helmholtz-Gleichung für die zweite zeitliche Ableitung der Divergenz des horizontalen Windfeldes. Die Eigenvektoren der vertikalen Strukturmatrix, die man durch Linearisierung des „trockenen Modellteils“ erhält, werden genutzt, um die dreidimensionale Helmholtz-Gleichung in eine Anzahl von entkoppelten zweidimensionalen Helmholtz-Gleichungen umzuformen. Das split semi-implizite Verfahren nach *Burridge (1975)* erlaubt es, nur die ersten sechs (externer Mode und die ersten fünf internen Moden) Helmholtz-Gleichungen zu lösen. Diese sechs zweidimensionalen Helmholtz-Gleichungen werden in der derzeitigen GME-Version mit einem iterativen Relaxationsverfahren gelöst; etwa 17 Iterationen werden für den externen Mode, nur 3 bis 11 Iterationen für die internen Moden benötigt.

### 3.3. Physikalische Parametrisierungen

Die Beschreibung diabatischer Prozesse im hexagonalen GME-Gitter beruht auf denselben Verfahren, die auch in Wettervorhersagemodellen mit anderen Gitterstrukturen angewendet werden. Allerdings bietet die Homogenität des GME-Gitters den Vorteil, dass unnötige Rechnungen in den polaren Breiten, wie sie in regulären geographischen Gittern auftreten, vermieden werden. In solchen Gittern variiert die Größe der Gitterelemente sehr stark mit der Breite, so dass die Unterscheidung zwischen aufgelösten und zu parametrisierenden Prozessen deutlich von der Position des Gitterpunktes abhängt. In einem geographischen Gitter der Maschenweite  $0.25^\circ$  beträgt die

Gitterfläche etwa  $28 \times 28 \text{ km}^2$  am Äquator, aber nur  $28 \times 0.12 \text{ km}^2$  in Polnähe. Im GME dagegen ist die Größenvariation der Gitterelemente sehr viel geringer (siehe Kap. 2.1).

Die nicht vom Gitter aufgelösten atmosphärischen Prozesse haben eine starke Wechselwirkung mit den gröberskaligen Strukturen und enthalten darüber hinaus wichtige Vorhersageinformation (z. B. Bewölkung und Niederschlag), die nicht vom „trockenen Modellteil“ bereitgestellt werden kann. Die Simulation der subskaligen Prozesse ist Aufgabe der Parametrisierungsroutinen. Diese Routinen sind in GME und COSMO-Modell weitgehend identisch; die einzigen Unterschiede sind das Turbulenzschema (im COSMO-Modell wird eine prognostische Gleichung für die turbulente kinetische Energie gelöst) und subskalige orographische Effekte wie Blockierung und Wellenbildung (wird nur im GME und COSMO-EU parametrisiert, vom COSMO-DE dagegen weitgehend explizit erfasst). Folgende physikalische Phänomene werden behandelt:

- kurz- und langwelliger Strahlungstransfer in klarer und bewölkter Atmosphäre (*Ritter and Geleyn, 1992*)
- skaliger Niederschlag (Regen und Schnee) mit parametrisierter Wolkenmikrophysik mit diagnostischem Niederschlag (*Doms and Schättler, 2003*) oder prognostischem Niederschlag (*Seifert, 2008*)
- hochreichende und flache Konvektion basierend auf einem Massenflussschema (*Tiedtke, 1989*)
- vertikale turbulente Flüsse (*Müller, 1981*); basierend auf *Louis (1979)* in der Prandtl-Schicht, und einem diagnostischen Schema 2. Ordnung nach *Mellor and Yamada (1974)* für die Grenzschicht und die freie Atmosphäre
- skalige und subskalige Bewölkung in Abhängigkeit vom Wolkenwassergehalt, der relativen Feuchte, der konvektiven Aktivität und der Stabilität
- subskalige orographische Effekte wie Blockierung und Wellenbildung nach *Lott and Miller (1997)*
- Meereismodell (*Mironov and Ritter, 2003*)
- Austauschprozesse am und im Boden (*Heise and Schrodin, 2002*).

Im Folgenden wird eine kurze Übersicht über die eingesetzten Parametrisierungsverfahren gegeben.

### 3.3.1. Strahlung

Das Strahlungsschema des GME stimmt weitgehend mit dem Verfahren nach *Ritter und Geleyn (1992)* überein. Als Erweiterung des Originalschemas wurde eine gesonderte Behandlung optischer Eigenschaften von Eiswolken eingeführt.

Der zeitliche Abstand zwischen zwei Strahlungsschritten für die Behandlung solarer und terrestrischer Strahlung kann auf verschiedene Werte gesetzt werden. Dies ermöglicht eine bessere Anpassung der simulierten solaren Strahlungsflüsse an den Tagesgang des Zenitwinkels, da die zeitlich weniger variable terrestrische Strahlung den rechenzeitintensiveren Teil des Schemas bildet. In der zur Zeit verwendeten Modellkonfiguration wird jedoch ein einheitlicher Abstand von einer Stunde benutzt, d.h. jede Stunde wird ein kompletter Strahlungszeit-schritt berechnet. Die Erwärmungs-/Abkühlungsraten des terrestrischen Teils werden dann für die gesamte Stunde konstant gehalten, während im solaren Teil der Zenitwinkel der Sonne in jedem Zeitschritt neu berechnet, aber die atmosphärischen Eigenschaften für die Stunde konstant gehalten werden.

### 3.3.2. Skaliger Niederschlag

Das Schema zur Behandlung von skaligem Niederschlag und damit verbundenen wolkenphysikalischen Umwandlungsprozessen wird in *Doms and Schättler* (2003) detailliert beschrieben. Das Verfahren ist eine sogenannte Bulk-Formulierung (Kessler-Typ), die von einer bestimmten Einteilung der unterschiedlichsten atmosphärischen Wasser- und Eisteilchen in breite Klassen oder Kategorien von Hydrometeoren ausgeht. Die Teilchen in diesen Kategorien wechselwirken auf vielfältige Weise durch mikrophysikalische Prozesse, die in Abhängigkeit der Mischungsverhältnisse in den jeweiligen Klassen (dies sind die abhängigen Variablen des Parametrisierungsschemas) formuliert werden. Das derzeitige Verfahren berücksichtigt – neben dem Wasserdampf als gasförmige Wasserphase – vier Kategorien von Hydrometeoren, nämlich Wolkenwasser, Wolkeneis, Regenwasser und Schnee. Wolkeneis wird erst seit dem 16.09.2003 als prognostische Variable berücksichtigt. Regenwasser und Schnee werden erst mit der 30 km Version des GME prognostisch behandelt, davor waren sie diagnostische Variablen.

Das prognostische Wolkenmikrophysikschema ist mit der im COSMO-EU verwendeten Parametrisierung identisch (*Seifert* 2008). Auch bei der prognostischen Behandlung kann bei großen Maschenweiten weiterhin die Advektion vernachlässigt werden. In diesem Fall ist nur die Sedimentation von Regen und Schnee explizit prognostisch.

### 3.3.3. Feuchtkonvektion

Die Parametrisierung der Feuchtkonvektion beruht auf dem Massenflussschema nach *Tiedtke* (1989). Dieses Schema unterscheidet zwischen verschiedenen Konvektionstypen („shallow, mid-level, penetrative“) und benutzt die dreidimensionale Feuchtekonvergenz als Schließungsbedingung. Bei der Implementierung ins GME wurden einige Änderungen notwendig, die im Allgemeinen zu geringen Unterschieden im Vergleich mit der Originalversion führen. Diese Änderungen ermöglichen die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse auf Parallelrechnern und beseitigten gleichzeitig einige Inkonsistenzen in der programmtechnischen Umsetzung des Verfahrens. Für die Bildung von konvektivem Niederschlag über Land wird eine Mindestmächtigkeit der Konvektionswolke von 3000 m gefordert (1000 m über Wasser), während im COSMO-EU einheitlich die Mindestmächtigkeit auf 1000 m gesetzt ist.

Zur Rechenzeitersparnis wird das Konvektionsschema in der jetzigen Modellkonfiguration nur zu jedem 5. Modellzeitschritt aufgerufen, und die berechneten konvektiven Tendenzen werden für die nächsten Zeitschritte festgehalten.

### 3.3.4. Vertikale turbulente Flüsse

Im GME wird für die Parametrisierung der vertikalen turbulenten Prozesse zwischen der bodennahen Prandtl-Schicht und der darüber liegenden Ekman-Schicht und der freien Atmosphäre unterschieden. Das Schema zur Berechnung der vertikalen turbulenten Flüsse ist in *Müller* (1981) beschrieben. Es basiert auf *Louis* (1979) für die Prandtl-Schicht, und einem diagnostischen Schema 2. Ordnung nach *Mellor and Yamada* (1974) für die Grenzschicht und die freie Atmosphäre.

Zur Rechenzeitersparnis wird die Berechnung der atmosphärischen Austauschkoefizienten nur in jedem 3. Modellzeitschritt durchgeführt, und die berechneten Austauschkoefizienten werden für die nächsten Zeitschritte festgehalten.

### 3.3.5. Bewölkung

Die Bewölkung einer Modellschicht wird sowohl als Eingangsgröße für die Strahlungstransferrechnung als auch als Prognoseprodukt für eine Vielzahl von Anwendungen benötigt. Ist in einer Modellschicht der Wolkenwassergehalt  $q_c$  größer als 0 (in diesem Fall ist die relative Feuchte bezogen auf Wasser gleich 100%), so wird das Gitterelement in dieser Schicht als vollständig bedeckt angenommen. Bei Wolkeneis  $q_i$  ist der Schwellwert für totale Bedeckung des Gitterelementes dagegen auf 1 mg/kg gesetzt, um für dünne Cirren nicht eine völlige Bedeckung des Gitterelementes anzunehmen. Die optischen Eigenschaften von Eiswolken sind stark von der betrachteten Wellenlänge in der Strahlungsrechnung abhängig. Die parametrisierten Bedeckungsgrade von Eiswolken sind für den sichtbaren Frequenzbereich optimiert worden, um eine bessere Übereinstimmung der Modellvorhersage mit den Bodenbeobachtungen (SYNOP) zu erzielen.

Die Parametrisierung der partiellen Bewölkung (im Falle von  $q_c = q_i = 0$ ) bestimmt den Bedeckungsgrad einer Schicht durch eine empirische Funktion der relativen Feuchte und der ggf. vorhandenen konvektiven Aktivität. In konvektiven Situationen wird die vertikale Mächtigkeit der konvektiven Schicht als modulierender Faktor bei der Bestimmung des bewölkten Flächenanteils berücksichtigt. Zusätzlich erfolgt eine Überprüfung der atmosphärischen Schichtung am Oberrand der konvektiven Wolke. Dies ermöglicht eine einfache Simulation einer lateralen Ausbreitung der Wolke (Amboss) unterhalb von Tropopauseninversionen.

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, wird der Gesamtbedeckungsgrad höher sein als der maximale Bedeckungsgrad der Einzelschichten („Random Overlap“).

### 3.3.6. Subgrid-skalige orographische Effekte

Im GME wird der Einfluss der subskaligen Variabilität der orographischen Struktur auf die mittlere Strömung in einem zusätzlichen Parametrisierungsverfahren simuliert. Da innerhalb eines Modellgitterelements (Maschenweite  $\sim 30$  km) in vielen Gebieten der Erde Schwankungen der orographischen Höhe von mehreren hundert Metern auftreten, kann der Einfluss der Orographie auf die Strömung bei alleiniger Berücksichtigung der mittleren Geländehöhe im Vorhersagemodell nicht ausreichend berücksichtigt werden. Subskalige Hindernisse können sowohl eine blockierende Wirkung auf die Strömung in den unteren Modellschichten haben als auch bei geeigneter Anströmung und Schichtung Schwerewellen anregen, die in höheren atmosphärischen Schichten dissipieren und dadurch einen retardierenden Einfluss auf die Strömung ausüben. Das im GME implementierte Verfahren simuliert diese Effekte nach einer von *Lott and Miller* (1997) entwickelten Methode. Das Verfahren berücksichtigt außer der subskaligen Variabilität der orographischen Höhe auch die Orientierung, Steilheit und horizontale Anisotropie der Hindernisse. Diese Größen werden als externe Parameter aus einem geeigneten globalen Datensatz bestimmt (siehe 3.4).

In der jetzigen Modellkonfiguration erfolgt die Berechnung der zu diesen Prozessen gehörigen Tendenzen in jedem 3. Modellzeitschritt, und die berechneten Tendenzen werden für die nächsten Zeitschritte festgehalten.

### 3.3.7. Meereismodell

Ein Meereismodell (*Mironov and Ritter, 2003; Mironov und Ritter, 2004*) berechnet auf einfache Weise die thermodynamischen Effekte einer ozeanischen Eisschicht. Die Wärmeleitung

durch das Eis wird über einen Bulk-Ansatz parametrisiert, wobei die Form des sich zeitlich ändernden Temperaturprofils im Eis vorgegeben wird. Die prognostischen Variablen des Meereismodells sind die Temperatur an der Grenzfläche Luft – Meereis und die Eisdicke. In der derzeitigen Version wird keine Schneeauflage auf dem Meereis berücksichtigt. Bezüglich der Eisbedeckung hat die beobachtete Verteilung (sie wird einmal täglich für 00 UTC analysiert) Vorrang. Wenn eine GME Gitterzelle von der Analyse als eisfrei angesehen wird, so bleibt sie während der folgenden Vorhersage eisfrei. Die Eisbedeckung (FR\_ICE) ist entweder 0 (kein Meereis) oder 1 (Gitterzelle vollständig mit Meereis bedeckt), es wird keine teilweise Eisbedeckung zugelassen. In der Analyse neu gebildetem Meereis wird eine Dicke von 0.5 m zugewiesen; die maximale Dicke wird auf 3 m beschränkt.

Bis zur Einführung des Meereismodells am 31.03.2004 wurde als Eismaske die Bedingung  $T_G < -1.7^\circ\text{C}$  genutzt, wobei  $T_G$  die Oberflächentemperatur des Wassers war (analysiert um 00 UTC).

### 3.3.8. Bodenprozesse

Die Parametrisierung der Wärme- und Feuchteflüsse an der Grenzfläche Erdboden - Atmosphäre und im Boden (*Heise and Schrodin, 2002*) ist für die Energetik der Atmosphäre und die bodennahen Wetterparameter sehr wesentlich. Die thermischen und hygrischen Flüsse werden mit Hilfe eines Mehrschichten-Erdbodenmodells berechnet, dessen prognostische Variablen die Temperatur, der gesamte Bodenwassergehalt (flüssig und gefroren) und der Bodeneisgehalt sind. Zusätzlich werden eine Schneedecke über den Wassergehalt des Schnees, die mittlere Schneedichte und der Anteil an frisch gefallenem Schnee sowie ein Interzeptionsspeicher berücksichtigt. Die Bodentemperaturen sind für die neun Niveaus 0, 0.5, 2, 6, 18, 54, 162, 486 und 1458 cm im Boden definiert. Hierbei sind allerdings die Temperaturen an der Grenzfläche Boden – Atmosphäre und in der Tiefe von 0.5 cm identisch. Als unterste Temperatur in 1458 cm ist das langjährige Klimamittel der 2m-Temperatur (siehe Kap. 3.4) vorgegeben.

Die Bodenfeuchten werden für sechs Schichten 0 – 1, 1 – 3, 3 – 9, 9 – 27, 27 – 81, 81 – 243 berechnet, für die Schichten 243 – 729 und 729 – 2187 cm sind sie zeitlich konstant.

In der früheren GME-Version mit 60 km Maschenweite und 31 Schichten wurden die Erdbodenprozesse in einem einfachen Zwei-Schichten-Bodenmodell (*Jacobsen and Heise, 1982*) behandelt.

### 3.4. Externe Parameter

Das GME benötigt folgende Informationen als externe Parameter:

- mittlere orographische Höhe (FIS)
- Landanteil (FR\_LAND)
- Rauigkeitslänge über Land (Z0)
- Bodentyp (SOILTYP)
- Wurzeltiefe (ROOTDP, ab Version V2\_13 mit exponentiellem Profil)
- Pflanzenbedeckungsgrad (PLCOV\_MX, bis V2\_13 auch PLCOV\_MN)
- Pflanzenbedeckungsgrad mit Nadelwald (FOR\_E)
- Pflanzenbedeckungsgrad mit Laubwald (FOR\_D)
- Blattflächenindex (LAI\_MX, bis Version V2\_13 auch LAI\_MN)
- Verhältnis der Monatsmittelwerte des normalisierten differentiellen Vegetationsindex zum Jahresmaximum für 12 Monate (NDVI\_MRAT)
- Minimum des Stomatawiderstandes der Pflanzen (PRS\_MIN)
- Bodenemissivität für thermische Strahlung (EMIS\_RAD)
- Klimatologische Temperatur (Jahresmittel der 2m-Temperatur) als untere Randbedingung im Erdbodenmodell (T\_2M\_CL)
- subskalige Standardabweichung der orographischen Höhe (SSO\_STDH)
- horizontale Anisotropie der subskaligen Höhenstruktur (SSO\_GAMMA)
- Hauptachsenrichtung der subskaligen Höhenstruktur (SSO\_THETA)
- mittlere Neigung der subskaligen Höhenstruktur (SSO\_SIGMA)
- Die fünf Aerosoltypen Sulfat (AER\_SO412), Staub (AER\_DUST12), organisches Aerosol (AER\_ORG12), Ruß (AER\_BC12) und Meersalz (AER\_SS12) für 12 Monate.

Mit Modellversion V2\_13 (ab 24.10.2007) wurde neben der Einführung der NDVI-Klimatologie auch die Datenbasis zur Erstellung der Landnutzungsdaten erneuert. Dadurch ergaben sich u.a. auch Änderungen in der Land-Meer-Maske. Für die 40 km Auflösung (ni=192) waren 625 von 368 642 Gitterpunkten betroffen. Dabei wurden 368 vorherige Wasserpunkte zu Landpunkten und 257 vorherige Landpunkte zu Wasserpunkten.

#### Einführung der NDVI-Klimatologie:

Monatsmittelwerte des NDVI („normalized differential vegetation index“) sind Steuerungsgrößen für die Skalierung pflanzenabhängiger Eigenschaften der Erdoberfläche als Funktion der Jahreszeit. Die NDVI-Werte liegen zwischen Null und Eins und sind für die Mitte des jeweiligen Monats gültig. Es liegt auch das gitterbezogene Jahresmaximum der 12 Monatswerte vor. In der Datenbank befindet sich für jeden Monat das Verhältnis (NDVI\_MRAT) der Monatsmittelwerte zum Jahresmaximum.

**Tabelle 3.1** Beschreibung der Datensätze, auf denen die externen Parameter beruhen.

| Datensatz  | Datenquelle                            | Bedeckung | Auflösung | Projektion | Abgeleitete Parameter   |
|--|--|-----------|-----------|------------|---|
| GLOBE<br>GLOBE Task Team<br>and others, 1998   | NOAA/<br>NGDC                          | global    | 30''      | regulär    | Höhe & subgridskalie<br>Orographieparameter   |
| GLC2000<br>Global Land Cover Database 2000<br><a href="http://www-gvm.jrc.it/glc2000">http://www-gvm.jrc.it/glc2000</a>                              | JRC                                    | global    | ~1 km     | regulär    | Landanteil, Rauigkeitslänge, Wurzeltiefe, Pflanzenbedeckung, Blattflächenindex (LAI), minimaler Stomatawiderstand und thermische Emissivität der Oberfläche |
| T2m-Climatology<br>New et al, 1999<br><a href="http://www.cru.uea.ac.uk/cru/hrg.htm">http://www.cru.uea.ac.uk/cru/hrg.htm</a>                        | CRU<br>University of<br>East<br>Anglia | global    | 0.5 Grad  | regulär    | Klimatologie der<br>Bodentemperatur   |
| DSMW<br>FAO, 1992  | FAO                                    | global    | 5'        | regulär    | Bodentyp  |
| SEAWIFS NDVI<br><a href="http://www.seawifs.gsfc.nasa.gov">http://www.seawifs.gsfc.nasa.gov</a>  | NASA/<br>GSFC                          | global    | ~ 5 km    | regulär    | NDVI Klimatologie<br>(Saisonale Abhängigkeit<br>der Pflanzenbedeckung)  |
| Global Aerosol<br>Climatology Project<br><a href="http://gacp.giss.nasa.gov/data_sets/transport/">http://gacp.giss.nasa.gov/data_sets/transport/</a> | NASA/<br>GISS                          | global    | 4x5 Grad  | regulär    | Aerosolklimatologie<br>(Saisonale Abhängigkeit)   |

**GLOBE** : Global Land One-kilometer Base Elevation  
**NOAA/NGDC** : National Oceanic and Atmospheric Administration/National Geophysical Data Center  
**GLC2000** : Global Land Cover **2000**  
**JRC** : Joint Research Center  
**CRU** : Climate Research Unit  
**DSMW** : Digital Soil Map of the World  
**FAO** : Food and Agricultural Organisation of UNO  
**SEAWIFS** : Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor  
**NASA/GSFC** : National Aeronautics and Space Administration/Goddard Space Flight Center

Tab. 3.1 gibt einen Überblick über die Datensätze, die für die Berechnung der externen Parameter des GME verwendet wurden, u. a.

- digitale Geländehöhen in einer Auflösung von 30 Bogensekunden (ca. 1 km) aus dem GLOBE-Datensatz,
- GLC2000: Landnutzungsdaten in 1 km Auflösung, bereitgestellt vom EOS (Earth Observing System) der NASA und basierend auf einer Auswertung von Satellitendaten (AVHRR) durch das „Joint Research Centre“ der europäischen Gemeinschaft,

- NDVI-Klimatologie in einer Auflösung von 2.5 Bogenminuten (ca. 5 km), basierend auf Satellitendaten (AVHRR) der Jahre 1998 bis 2003,
- digitale Bodendaten in einer Auflösung von 5 Bogenminuten (ca. 10 km) aus einem globalen Datensatz der FAO (Food and Agricultural Organization),
- Globale Aerosolklimatologie nach Tegen et al. (1997).

Weitere Informationen zu den Datenquellen und Vorgehensweisen sind ausführlich im Mitarbeiterportal des DWD unter

[http://oflxs04.dwd.de/~britter/PD/EP/PD\\_external\\_parameters.html](http://oflxs04.dwd.de/~britter/PD/EP/PD_external_parameters.html) zu finden

Für jedes hexagonale (pentagonale) Gitterelement des GME werden die hochauflösenden Rohdaten, die in das jeweilige Element fallen, genutzt, um einen Flächenmittelwert zu bilden. Bei der derzeitigen Auflösung von 20 km beträgt die mittlere Größe der Gitterelemente 346 km<sup>2</sup>. Für einige Parameter muss neben der Mittelbildung auch eine Konversion von der Basisinformation, z. B. Bodentextur, in die im Modell benötigte Information, z. B. Bodentyp, vorgenommen werden.

#### 4 Parallelisierung für MPP-Rechner, zweidimensionale Gebietszerlegung

Die effiziente Nutzung von Parallelrechnern durch das GME geschieht über eine zweidimensionale (horizontale) Gebietszerlegung, wobei zur Kommunikation der zusätzlichen „Halos“ MPI (Message Passing Interface) genutzt wird. Das GME-Quellprogramm ist in Standard FORTRAN 90 geschrieben und voll portabel. Bei der zweidimensionalen Gebietszerlegung werden die  $(n_1+1)^2$  Gitterpunkte eines jeden Rhombus auf  $n_1 \times n_2$  Prozessoren (processing elements, PEs) verteilt. Außerdem können je  $10/n_4$  Rhomben auf dieselben PEs gelegt werden, so dass die Erde in insgesamt  $n_1 \times n_2 \times n_4$  Teilgebiete zerlegt wird. Für eine gute Lastverteilung sollten alle Teilgebiete möglichst die gleiche Rechenleistung benötigen; deshalb sollte die Differenz zwischen der mittleren und maximalen Anzahl von Gitterpunkten in jedem Teilgebiet gering sein. Für  $n_4=1$  berechnet jeder PE die Vorhersage in einem Teilgebiet von *allen zehn* Rhomben. Auf diese Weise kann man eine bessere Lastverteilung für die physikalischen Parametrisierungen erzielen, z. B. in der Strahlung zwischen Tag und Nacht oder in der Wolkenphysik zwischen Regen/kein Regen.

Mit  $2 \times 16$  Vektorprozessoren einer NEC SX9 benötigen die physikalischen Parametrisierungen pro Vorhersagetag beispielsweise zwischen 399 s und 462 s Realzeit; die mittlere Realzeit beträgt 424 s.

Abb. 10 zeigt den Geschwindigkeitsgewinn (Speed-Up) durch Nutzung mehrerer Prozessoren auf einer NEC SX9 für eine 24-stündige Vorhersage des GME mit Maschenweiten zwischen 120 und 10 km und 60 Schichten für  $n_4=1$ .

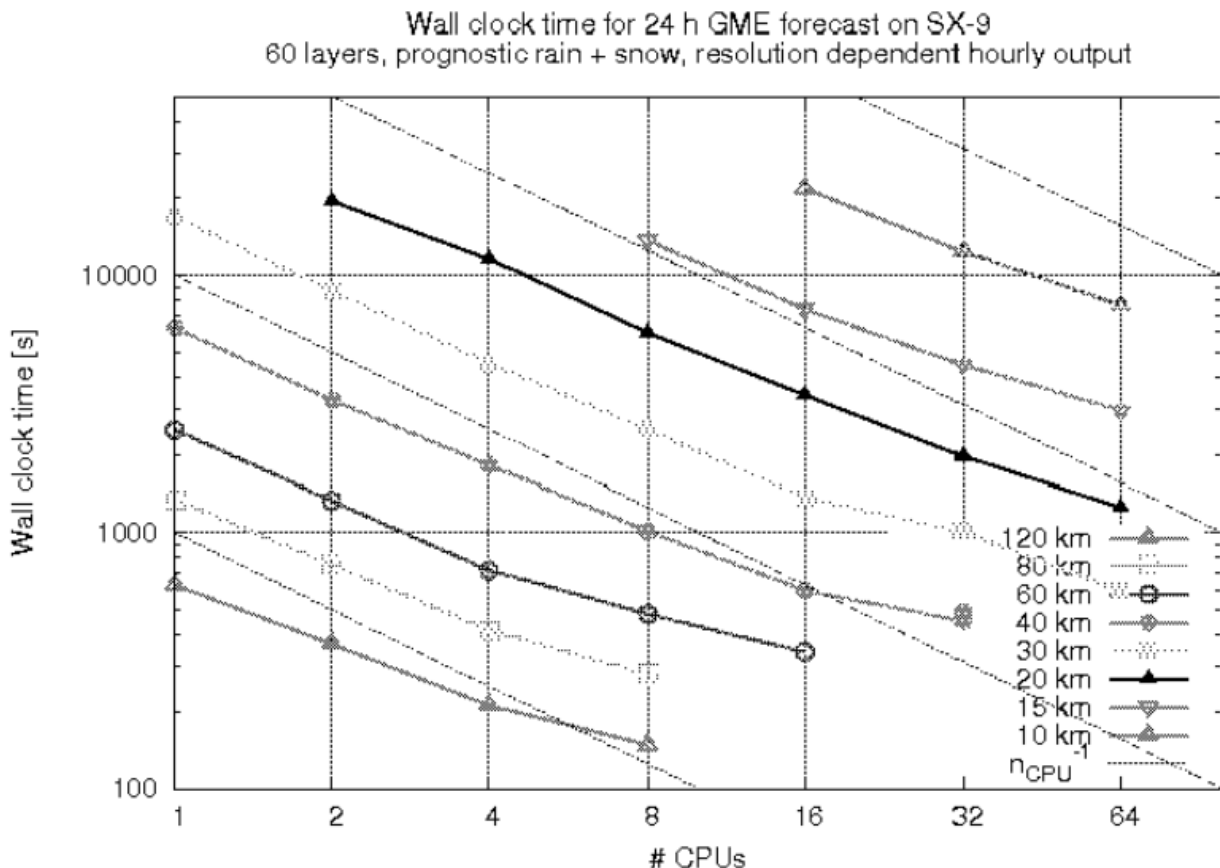


Abb. 10 Realzeit (in s) für eine 24h-Prognose des GME mit verschiedenen Maschenweiten von 120 bis 10 km und 60 Schichten als Funktion der Anzahl der genutzten NEC-SX9-Prozessoren.

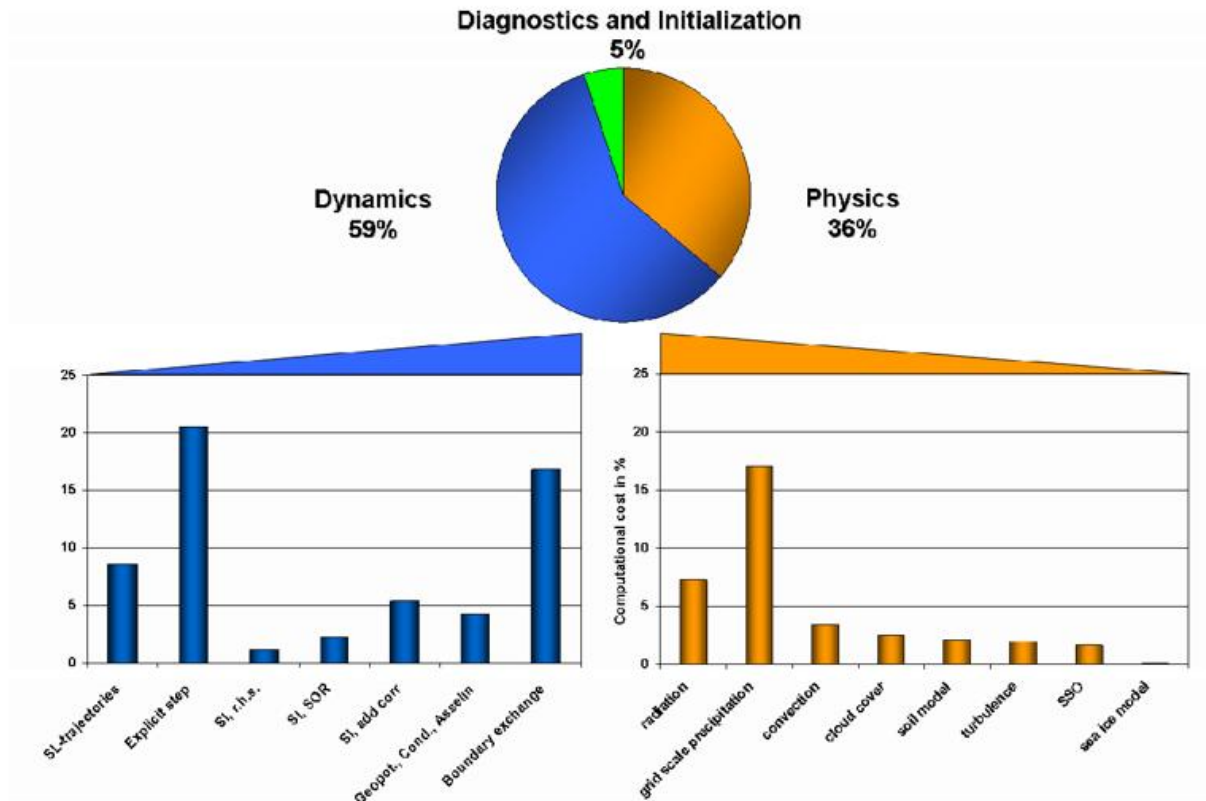


Abb.11 Kosten der verschiedenen Programmteile des GME (30 km Maschenweite, 60 Schichten) für eine 24h-Vorhersage auf NEC SX-9 mit 32 MPI-Tasks ohne Ausgabe von GRIB-Feldern.

Im operationellen Betrieb auf der NEC SX-9 werden  $2 \times 10 \times 10 = 200$  MPI-Tasks verwendet; eine 174-stündige Vorhersage benötigt dann weniger als 60 Minuten einschließlich der Ergebnisausgaben.

Abb. 11 gibt einen Überblick über die Verteilung der Kosten einer operationellen GME-Vorhersage mit 30 km Gitterweite auf die verschiedenen Programmteile. Die physikalischen Parametrisierungen benötigen etwa 40% der Rechenzeit, wobei die Berechnung des skaligen Niederschlags am teuersten ist.

## 5 GME-Vorhersagen als Randwerte für Regionalmodelle weltweit

Analyse- und Vorhersagedaten des GME werden über das Internet zu vielen anderen nationalen Wetterdiensten weltweit geschickt. Diese Daten dienen dort als Anfangs- und Randwerte für regionale Wettervorhersagemodelle, überwiegend das hochauflösende Regionalmodell (HRM) des DWD oder das nichthydrostatische COSMO-Modell. Um die Datenmengen zu reduzieren, werden nicht globale GME-Felder, sondern nur diejenigen Gitterpunkte des GME übertragen, die das jeweilige Gebiet des Regionalmodells überdecken. Auf diese Weise kann *verteiltes Rechnen* realisiert werden, bei dem das GME beim DWD und die Regionalmodelle bei den nationalen Wetterdiensten parallel rechnen und das Internet zur Datenübertragung genutzt wird. Im Augenblick erhalten die folgenden nationalen Dienste und Forschungseinrichtungen bis zu viermal täglich (für 00, 06, 12 und 18 UTC) GME-Analysen und -Vorhersagen:

- Armenien (National Meteorological Service)
- Bosnien-Herzegowina (National Meteorological Service)
- Botswana (National Meteorological Service)
- Brasilien (Directorate of Hydrography and Navigation)
- Brasilien (Instituto Nacional de Meteorologia)
- Bulgarien (National Institute for Meteorology and Hydrology)
- Georgien (National Meteorological Service)
- Griechenland (National Meteorological and Hydrological Service)
- Indien (Space Physics Laboratory)
- Indonesien (National Meteorological Service)
- Iran (Arak Universität)
- Israel (Israel Meteorological Service)
- Italien (Regional Service SMR-ARPA)
- Jordanien (National Meteorological Service)
- Kenia (National Meteorological Service)
- Libyen (National Meteorological Service)
- Madagaskar (National Meteorological Service)
- Mauritius (National Meteorological Service)
- Mosambik (National Meteorological Service)
- Oman (National Meteorological Service, DGMAN)
- Pakistan (National Meteorological Service)
- Philippinen (National Meteorological Service, PAGASA)
- Polen (National Meteorological Service, IMGW)
- Rumänien (National Meteorological Service)
- Russland (Rosshydromet)
- Schweiz (Meteo Schweiz)
- Serbien (National Meteorological and Hydrological Service)
- Spanien (INM)
- Tansania (National Meteorological Service)
- Vereinigte Arabische Emirate (National Meteorological Service)
- Vietnam (National Meteorological and Hydrological Service).

Die Maschenweiten der Regionalmodelle liegen dabei üblicherweise zwischen 20 und 7 km; auf Grund des modifizierenden Einflusses der lokalen Topographie können die Modelle wertvolle hochauflösende Details vor allem im Wind-, Bewölkungs- und Niederschlagsfeld simulieren.

## 6 Anfangszustand und Initialisierung

Die Bestimmung des Anfangszustandes (Analyse, siehe Tab. 6.1) für GME-Vorhersagen beruht auf einer intermittierenden vierdimensionalen Datenassimilation im 3-Stunden-Rhythmus (00, 03, ..., 18 und 21 UTC). Die Analyse basiert auf einem 3D-Var-Verfahren (PSAS: Physical Space Assimilation System). Hierbei wird die für den Analysetermin gültige 3-stündige GME-Vorhersage (First Guess) durch Beobachtungen so korrigiert, dass eine Kostenfunktion minimiert wird, die den quadratischen Abstand der endgültigen Analyse vom First Guess und den Beobachtungen misst. Als Gewichte gehen hierbei die Kovarianzmatrix des Modellfehlers und die Matrix der Beobachtungsfehler ein.

$$J(\mathbf{x}) = \frac{1}{2}[\mathbf{x}_b - \mathbf{x}]^T \mathbf{P}_b^{-1} [\mathbf{x}_b - \mathbf{x}] + \frac{1}{2}[\mathbf{y}_o - H(\mathbf{x})]^T \mathbf{R}^{-1} [\mathbf{y}_o - H(\mathbf{x})]$$

$$= J_b + J_o$$

$J_b$  beschreibt die Abweichung der Lösung  $\mathbf{x}$  (Anfangszustand) von First Guess  $\mathbf{x}_b$  mit der Kovarianzmatrix des Vorhersagefehlers  $\mathbf{P}_b$ .

$J_o$  beschreibt die Abweichung der Lösung  $\mathbf{x}$  (Anfangszustand) von den Beobachtungen  $\mathbf{y}_o$  mit dem Vorwärtsoperator  $H$  und dem Beobachtungsfehler  $\mathbf{R}$ .

Liegen für einzelne Modellvariablen (z. B. die Temperaturen und Wassergehalte im Erdboden) keine nutzbaren Beobachtungen vor, so wird die für den Analysetermin gültige 3-stündige GME-Vorhersage als Analyse ausgegeben.

Zusätzlich werden einmal täglich (für 00 UTC) in der *SST-Analyse (Ana\_SST)* die Wassertemperatur ( $T_{SO}$ ,  $LV=0$ ) und Eisbedeckung der Ozeane ( $FR_{ICE}$ ) bestimmt. An neu analysierten Eispunkten ( $FR_{ICE} = 1$ ) wird  $T_{ICE} = T_{SO} (LV=0) - 1.7^\circ\text{C}$  und  $H_{ICE} = 0.5$  m gesetzt. An bestehenden Meereispunkten werden  $T_{ICE}$  und  $H_{ICE}$  aus der 3-stündigen GME-Vorhersage (First Guess) übernommen und  $T_{SO} (LV=0) = -1.7^\circ\text{C}$  gesetzt. Werden Meereispunkte durch die *Ana\_SST* entfernt, so wird  $H_{ICE} = 0$  m und  $T_{ICE} = T_{SO} (LV=0)$  gesetzt.

Außerdem wird noch einmal täglich um 00 UTC eine Assimilation der Bodenfeuchte, SMA, durchgeführt. Dazu werden die Vorhersagen der Temperatur in 2 m über Grund für Mittag mit Analysen verglichen. Vereinfacht gesprochen wird bei zu hohen vorhergesagten Temperaturen die Bodenfeuchte erhöht und bei zu niedrigen reduziert.

Als letzte Variable werden in der Schneeanalyse (*Ana\_SNOW*) das Wasseräquivalent des Schnees (in Form der Schneehöhe) und der Anteil ( $FRESHSNW$ , 1 bis 0) an frisch gefallenem Schnee für die Berechnung der solaren Albedo achtmal täglich (00, 03, ..., 18 und 21 UTC) aus den verfügbaren SYNOP-Beobachtungen analysiert. Zur Umwandlung der beobachteten Schneehöhen in Wasseräquivalente wird die Schneedichte des First Guess verwendet. Wird Schnee an einem Gitterpunkt analysiert, an dem im First Guess kein Schnee vorhergesagt wurde, wird eine Schneedichte von  $250 \text{ kg/m}^3$  benutzt.

Zusätzlich findet noch ein Abgleich der Rauigkeitslänge  $Z_0$  aus dem First Guess mit der Land-See-Maske der konstanten Daten statt, falls sich diese Daten ändern sollten.

Das Ozonmischungsverhältnis wird einmal täglich (für Assimilation um 00 UTC) der 12-stündigen Vorhersage des Europäischen Zentrums für Mittelfristige Wettervorhersage (EZMW) entnommen.

**Tabelle 6.1:** Herkunft der Felder in einer Analysendatei (gaf-Datei) des GME

| Name der Felder   | Analyse                                | 00 | 03 | 06 | 09 | 12 | 15 | 18 | 21 |
|---|--|----|----|----|----|----|----|----|----|
| FIS, FR_LAND, SOILTYP, T_2M_CL, SSO_STDH, SSO_GAMMA, SSO_THETA, SSO_SIGMA, ROOTDP, PLCOV_MX, FOR_E, FOR_D, LAI_MX, PRS_MIN, EMIS_RAD, NDVI_MRAT | Zeitlich konstante Felder "Klima"-Bank | x  | x  | x  | x  | x  | x  | x  | x  |
| QC*, QI, QR, QS, QV_S, Z0, T_SO(LV>1) W_SO, W_SO_ICE<br>T_SO (LV = 0, 1), T_ICE, H_ICE, FR_ICE, O3  | 3h-First Guess                         | x  | x  | x  | x  | x  | x  | x  | x  |
| T_SO (LV = 0, 1), T_ICE, H_ICE, FR_ICE  | Ana_SST                                | x  |    |    |    |    |    |    |    |
| W_SO  | SMA                                    | x  |    |    |    |    |    |    |    |
| W_SNOW, T_SNOW, FRESHSNW, WI, RHO_SNOW, H_SNOW  | Ana_SNOW                               | x  | x  | x  | x  | x  | x  | x  | x  |
| PS, U, V, T, QV, QC*  | Ana_MWH                                | x  | x  | x  | x  | x  | x  | x  | x  |
| O3  | EZMW-Ana                               | x  |    |    |    |    |    |    |    |

\* Bei QC findet ein Abgleich mit der in der 3D-Var Assimilation analysierten relativen Feuchte (RH, über Wasser, auch für Temperaturen  $< 0^{\circ}\text{C}$ ) statt:  $\text{QC} = 0$ , wenn  $\text{RH} < 100\%$ .

Bei 60 Schichten in der Atmosphäre besteht die Analysendatei (gaf-Datei) aus  $9 \times 60 + 123 = 663$  Feldern, die zum Start der Modellvorhersage benötigt werden.

Durch die Analyse wird im Allgemeinen der balancierte Zustand des Modells (First Guess) gestört, was sich durch zeitlich hochfrequente Schwingungen (Schwerewellen) zu Beginn der Vorhersage äussert. Deshalb muss nach der Analyse ein Initialisierungsverfahren durchgeführt werden, um diesen meteorologischen „Lärm“ zu dämpfen. Es wird die Digitale-Filter-Initialisierung (DFI) nach *P. Lynch* (1997) verwendet. Das Verfahren besteht aus zwei Schritten:

Einer adiabatischen Rückwärtsintegration des GME von  $t = 0\text{h}$  bis  $t = -1.5\text{h}$ , gefolgt von einer diabatischen Vorwärtsintegration von  $t = -0.75\text{h}$  bis  $t = +0.75\text{h}$ , jeweils mit einer digitalen Filterung der prognostischen Modellvariablen. Die gefilterten Variablen der diabatischen Vorwärtsintegration beschreiben dann den gewünschten initialisierten Zustand zum Zeitpunkt  $t = 0\text{h}$  (= initialisierte Analyse).

Das eben beschriebene Verfahren hat aber zwei Nachteile:

- Durch die adiabatische Rückwärtsintegration kann die Hadley-Zirkulation in den Tropen abgeschwächt werden.
- Auch in Gebieten ohne Beobachtungen kann es wegen der zweimaligen digitalen Filterung zu einer Abänderung des First Guess kommen.

Deshalb wird im GME die *inkrementierende* DFI (IDFI) angewendet, die aus folgenden Schritten besteht:

- Der 3-stündige First Guess wird einer DFI unterworfen  $\Rightarrow$  FG (DFI)
- Die uninitialisierte Analyse wird einer DFI unterworfen  $\Rightarrow$  UA (DFI)
- Die Differenz (Inkrement) zwischen UA (DFI) und FG (DFI) wird zum First Guess addiert, d.h. die initialisierte Analyse IA zum Zeitpunkt  $t = 0\text{h}$  ergibt sich also aus:

$$\text{IA} = \text{FG} + (\text{UA (DFI)} - \text{FG (DFI)}).$$

Um die durch die IDFI erzeugten Änderungen der Analyse weiter zu verringern, wird die zeitliche Mittelung im Raum der vertikalen Normalmoden durchgeführt. Nur der externe und die

ersten 14 internen Moden werden gefiltert, alle höheren Moden werden unverändert aus der Analyse übernommen. Auf diese Weise werden vertikale Detailstrukturen, z. B. Inversionen und die Profile in der Grenzschicht, durch die Initialisierung nicht modifiziert. Zusätzlich werden die Feuchtevariablen (Wasserdampf, Wolkenwasser, Wolkeneis, Regen und Schnee) unverändert von der Analyse übernommen.

Die initialisierte Analyse IA wird als Modellvorhersage mit  $vv = 0h$  in die Datenbank eingebracht.

Die oben beschriebene Initialisierung wird aber nur für die Analysen 00, 06, 12 und 18 UTC durchgeführt, an den Zwischenterminen (03, 09, 15 und 21 UTC) liegen deutlicher weniger Beobachtungen vor, so dass der balancierte Zustand des Modells durch die Analyse weniger stark gestört wird. Deshalb kann nach diesen Analysen auf eine Initialisierung der Felder verzichtet werden.

## 7 Interpolation vom Dreiecksgitter auf geographische und polarstereographische Gitter

Da das Dreiecksgitter für einfache grafische Anwendungen zu komplex ist, werden ausgewählte Felder für den Vorhersagedienst in einem regulären geographischen Gitter der Maschenweite  $\Delta\lambda = \Delta\varphi = 0.25^\circ$ , d.h.  $1440 \cdot 721 = 1.038.240$  Gitterpunkte je Feld, bereitgestellt. Ein GME-Feld im Dreiecksgitter verfügt über  $384^2 \cdot 10 + 2 = 1.474.562$  originäre Gitterpunkte (d.h. ohne die doppelt vorhandenen Kanten der Diamanten). In polaren Breiten ist die wahre Modellauflösung geringer ist als die des geographischen Gitters.

Bei den früheren Modellauflösungen betragen die entsprechenden Zahlen:

Für 59.9 km ( $n_i = 128$ ):

$\Delta\lambda = \Delta\varphi = 0.75^\circ$ , d.h.  $480 \cdot 241 = 115.680$  Gitterpunkte im geographischen Gitter.

Für 40.0 km ( $n_i = 192$ ):

$\Delta\lambda = \Delta\varphi = 0.50^\circ$ , d.h.  $720 \cdot 361 = 259.920$  Gitterpunkte im geographischen Gitter.

Für 30.0 km ( $n_i = 256$ ) betrug  $\Delta\lambda = \Delta\varphi = 0.25^\circ$  wie für 20 km.

Für die Interpolation vom Dreiecksgitter auf das geographische Gitter existieren vier verschiedene Optionen, die für die einzelnen Variablen im Modell fest vorgegeben sind:

- Die Felder in der Atmosphäre werden biquadratisch interpoliert, wobei die umliegenden 12 GME-Gitterpunkte (Abb. 9 in Kap. 2.4) berücksichtigt werden. Wasserdampf, Wolkenwasser, Wolkeneis und relative Feuchte werden zusätzlich auf den Wertebereich  $\geq 0$  beschränkt.

Option: 'Q'

- Bodfelder, z. B. Niederschläge und Energiebilanzterme, werden bilinear interpoliert, d. h. es gehen in die Rechnung nur die umliegenden 3 GME-Gitterpunkte ein.

Option: 'L'

- Für Felder, die stark vom Land/Meerkontrast bestimmt sind, z. B. die Bodentemperatur, sowie die Felder des Meereismodells, wird bei der linearen Interpolation zusätzlich verlangt, dass die drei umliegenden GME-Punkte die gleiche Charakteristik haben, d. h. alle drei als „Land“ oder als „Wasser (bzw. Meereis)“ definiert sind. Ist das nicht der Fall, wird dem betreffenden Gitterpunkt des geographischen Gitters der Wert des nächstgelegenen GME-Punktes zugewiesen („Match“).

Option: 'M'

- Größen, die nicht sinnvoll interpoliert werden können, wie z. B. die Indizes der konvektiven Wolkenbasis oder –obergrenze, werden automatisch dem nächstgelegenen GME-Gitterpunkt entnommen („Nearest grid point“).

Option: 'N'

Ausserdem werden im Rahmen des Post-Processing des Modells Felder von den GME-Modellflächen auf beliebige Druckflächen interpoliert. Standardmäßig werden 14 Druckflächen (30, 50, 100, 150, 200, 250, 300, 400, 500, 700, 850, 900, 950, 1000 hPa) bzw. 21 Druckflächen (10, 30, 50, 70, 100, 150, 200, 250, 300, 400, 500, 600, 700, 750, 800, 850, 875, 900, 925, 950, 1000 hPa) berechnet (siehe Kap. 10.4).

Die Module für eine horizontale Interpolation vom GME-Gitter auf geographische und polarstereographische Gitter sind in den „trafo-felplo“-Komplex des DWD zur Transformation und zum Plotten von Feldern integriert.

GME-Felder des Typs **i384a/f** (Dreiecksgitter) können mit Hilfe eines „trafo“-Auftrages in Felder des Typs **r384a/f** (reguläres Gitter) überführt werden. Da die GME Vorhersagen im

Dreiecksgitter (siehe Kap. 9.4) zeitlich höher aufgelöst ausgegeben werden als die Felder im regulären Gitter (siehe Kap. 10.4), besteht so die Möglichkeit, die in der Zeitreihe der r384f-Felder bestehenden Lücken zu füllen.

Mit den Transformationsbausteinen (siehe Tabelle 7.1) können ebenso Felder im polarstereographischen Gitter erzeugt werden, die u.a. zur Visualisierung der Produkte benötigt werden.

**Tabelle 7.1:** Nutzung des „trafo-felplo“-Komplexes

| Prozedur                                 | Bankauftrag | Transformation | Plotten | Auftragsdatei   |
|--|-------------|----------------|---------|---|
| tramg3                                   | Nein        | Ja             | Nein    | /trafo, ... )   |
| obatra                                   | Ja          | Ja             | Nein    | /bank, ... )<br>/trafo, ... )                             |
| felpi                                    | Ja          | Ja             | Ja      | /init)<br>/bank, ... )<br>/trafo, ... )<br>/felplo, ... ) |
| ANWENDUNG: <i>i=auftrag prozedurname</i> |             |                |         |   |

### Beispiele:

Interpolation i384f → r384f

Steht auf \$TMPDIR/uegabe ein Feld des Typs i384f, so wird mit dem Kommando

```
~routarz/bin/tramg3
```

eine Datei \$TMPDIR/feld angelegt, die das interpolierte Feld des Typs r384f enthält.

Die Auftragsdatei „trafo\_auf“ hat dabei folgenden Inhalt:

```
/trafo,proj=0,ft=r256or,cogdb=2,intart=1)
```

Da die Maschenweite bei r384f und r256f gleich ist, kann *ft=r256or* verwendet werden. Die Zuweisungen für *cogdb* und *intart* sind Standardeinstellungen.

Die Interpolationsart *intart=1* bewirkt eine biquadratische Interpolation (siehe Abb. 9 in Kap. 2.4). Soll die im GME verwendete Interpolationsart angewandt werden, muss *intart=4* gesetzt werden. Dies funktioniert jedoch nur für Felder, die das GME ausgibt und die daher mit Element-, Tabellenummer etc. bekannt sind. Modifizierte Felder, z.B. Druck in hPa oder Temperatur in °C mit entsprechend geänderter Elementkennung, oder neu erzeugte Felder werden daher nicht erkannt und dann standardmäßig linear interpoliert.

### Interpolation auf polarstereographische Gitter

Mit der Auftragsdatei

```
/trafo,proj=5,cogdb=2,giwx=30000,giwy=30000,ft=d,intart=1)
```

wird ein polarstereographisches Gitter (*proj=5*, Standardeinstellung) für das D-Format mit einer Gitterweite von ungefähr 30 km erzeugt. Die Angabe der Maschenweiten *giwx* und *giwy* erfolgt für *proj=5* in Metern.

**Achtung**

Zur Interpolation vom Dreiecksgitter auf andere Gitter wird das GME-Modellgitter benötigt. Daher bewirkt jeder „trafo“-Aufruf die GME Gittererzeugung. Sollen mehrere Felder interpoliert werden, so sollte man diesen Aufwand (Rechenzeit) umgehen und nur einmal die Gittererzeugung durchführen lassen. Dies erreicht man im „trafo“-Aufruf mit dem Einzel-Dauerauftrag *in=-9998*, der bewirkt, dass alle Felder, die auf der „uegabe“-Datei stehen, auf die gleiche Art verarbeitet werden, z.B:

```
/trafo,cogdb=2,intart=4,proj=0,giwx=0.25,giwy=0.25,ft=r256or,in=-9998)
```

Die oben aufgelisteten Beispiele und Anmerkungen sollen die Anwendung des im „trafo-felplo“-Komplex hinzugekommenen Interpolationsmoduls erleichtern, für Details des Gesamtkomplexes muss auf die oben erwähnten Dokumentationen verwiesen werden.

Zur einfacheren Nutzung des trafo-Programms *tramg3* bzw der neueren Version *transf* empfehlen wir das Skript *trafo\_grib.pl* auf der *hpc* unter */e/rhome/routfor/routfox/bin*. Eine Erklärung zur Benutzung des Skriptes erhält man mit der Hilfe-Option *-h*: „**trafo\_grib.pl -h**“. Die Transformation aller Felder einer Datei vom hexagonalen Gitter *i384f* ins reguläre Gitter *r384f* wird dann z.B. mit dem Kommando

```
trafo_grib.pl -m r384 -o ausgabe_datei eingabe_datei
```

erreicht.

## **8 Tabellarische Übersicht über die GME-Felder im GRIB1-Code**

In GRIB1 ist eine Variable neben der Elementnummer (**ee**) auch durch eine Tabellennummer (**tab**) gekennzeichnet. Die offizielle WMO-Tabelle (*tab=2*) der Elemente erfasst nicht alle Felder des GME, deshalb werden zusätzlich die nationalen Tabellen (*tab=201*, *tab=202*, *tab=203* und *tab=204*) genutzt.

**Tabelle 8.1:** Unveränderliche Felder (Datum D=000000)

| Name                                      | Element   | Element-Nr.<br>(EE) | Tabellen-Nr.<br>(TAB) | Lev-Typ<br>(LVTYP) | Levtop<br>(LVT) | Levbot<br>(LV) | Einheit                        |
|---|---|---------------------|-----------------------|--------------------|-----------------|----------------|--------------------------------|
| FIS                                       | Geopotential der Erdoberfläche  | 6                   | WMO                   | 1                  | -               | -              | m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> |
| Z0  | Rauhigkeitslänge (nur Landpunkte !)   | 83                  | WMO                   | 1                  | -               | -              | m                              |
| FR_LAND                                   | Landanteil der Unterlage  | 81                  | WMO                   | 1                  | -               | -              | 1                              |
| SOILTYP                                   | Bodentyp des Landanteils<br>(Schlüsselziffer 0...9)                                 | 57                  | 202                   | 1                  | -               | -              | 1                              |
| RLAT                                      | Geographische Breite  | 114                 | 202                   | 1                  | -               | -              | Deg. N                         |
| RLON                                      | Geographische Länge   | 115                 | 202                   | 1                  | -               | -              | Deg. E                         |
| ROOTDP                                    | Wurzellänge, Vegetationsperiode   | 62                  | 202                   | 1                  | -               | -              | m                              |
| EMIS_RAD                                  | Thermische Emissivität des Bodens   | 56                  | 202                   | 1                  | -               | -              | 1                              |
| PRS_MIN                                   | Minimaler Stomatawiderstand   | 212                 | 201                   | 1                  | -               | -              | s/m                            |
| SSO_STDH                                  | Standardabweichung der Orographie innerhalb eines Gitterelementes                   | 46                  | 202                   | 1                  | -               | -              | m                              |
| SSO_GAMMA                                 | Anisotropie der Orographie  | 47                  | 202                   | 1                  | -               | -              | 1                              |
| SSO_THETA                                 | Winkel zwischen der Hauptachse der Orographie und dem Einheitsvektor Richtung Osten | 48                  | 202                   | 1                  | -               | -              | 1                              |
| SSO_SIGMA                                 | Mittlere Neigung der Orographie innerhalb eines Gitterelementes                     | 49                  | 202                   | 1                  | -               | -              | 1                              |
| PLCOV_MX                                  | Pflanzenbedeckungsgrad in der Vegetationsphase                                      | 67                  | 202                   | 1                  | -               | -              | 1                              |
| FOR_E                                     | Pflanzenbedeckung mit Nadelwald<br>(Englisch: evergreen forest)                     | 75                  | 202                   | 1                  | -               | -              | 1                              |
| FOR_D                                     | Pflanzenbedeckung mit Laubwald<br>(Englisch: deciduous forest)                      | 76                  | 202                   | 1                  | -               | -              | 1                              |
| LAI_MX                                    | Blattflächenindex in der Vegetationsphase<br>(Englisch: leaf area index)            | 69                  | 202                   | 1                  | -               | -              | 1                              |
| T_2M_CL                                   | Klimatologische 2m-Temperatur als untere Randbedingung im Bodenmodell               | 11                  | WMO                   | 105                | -               | 2              | K                              |
| Datum: d=1111mm1111, mm=1,...,12. tflag=3 |   |                     |                       |                    |                 |                |                                |
| NDVI_MRAT                                 | Verhältnis von Monatsmittel des NDVI zum Jahresmaximum für 12 Monate                | 79                  | 202                   | 1                  | -               | -              | 1                              |
| AER_SO412                                 | Sulfataerosol für 12 Monate   | 84                  | 202                   | 1                  | -               | -              | 1                              |
| AER_DUST12                                | Staubaerosol für 12 Monate  | 86                  | 202                   | 1                  | -               | -              | 1                              |
| AER_ORG12                                 | Organisches Aerosol für 12 Monate   | 91                  | 202                   | 1                  | -               | -              | 1                              |
| AER_BC12                                  | Rußaerosol für 12 Monat   | 92                  | 202                   | 1                  | -               | -              | 1                              |
| AER_SS12                                  | Meersalzaerosol für 12 Monate   | 93                  | 202                   | 1                  | -               | -              | 1                              |

**Tabelle 8.2:** Hybride Multi-Flächen-Felder für uninitialisierte Analysen

| Name | Element                         | Element-Nr. (EE) | Tabellen-Nr. (TAB) | Lev-Typ (LVTYP) | Levtop (LVT) | Levbot (LV) | Einheit |
|------|---------------------------------|------------------|--------------------|-----------------|--------------|-------------|---------|
| U    | Zonaler Wind                    | 33               | WMO                | 110             | -            | -           | m/s     |
| V    | Meridionaler Wind               | 34               | WMO                | 110             | -            | -           | m/s     |
| T    | Temperatur                      | 11               | WMO                | 110             | -            | -           | K       |
| QV   | Spezifische Feuchte             | 51               | WMO                | 110             | -            | -           | kg/kg   |
| QC   | Spezifischer Wolkenwassergehalt | 31               | 201                | 110             | -            | -           | kg/kg   |
| QI   | Spezifischer Wolkeneisgehalt    | 33               | 201                | 110             | -            | -           | kg/kg   |
| QR   | Spezifischer Regenwassergehalt  | 35               | 201                | 110             | -            | -           | kg/kg   |
| QS   | Spezifischer Schneewassergehalt | 36               | 201                | 110             | -            | -           | kg/kg   |
| O3   | Ozonmischungsverhältnis         | 180              | 202                | 110             | -            | -           | kg/kg   |

**Tabelle 8.3:** Ein-Flächen-Felder für uninitialisierte Analysen

| Name     | Element  | Element-Nr. (EE) | Tabellen-Nr. (TAB) | Lev-Typ (LVTYP) | Levtop (LVT) | Levbot (LV) | Einheit            |
|----------|--|------------------|--------------------|-----------------|--------------|-------------|--------------------|
| PS       | Bodendruck an der Erdoberfläche ( $\xi=1$ )                                | 1                | WMO                | 1               | -            | -           | Pa                 |
| QV_S     | Spezifische Feuchte an der Erd- bzw. Schneeoberfläche                      | 51               | WMO                | 1               | -            | -           | kg/kg              |
| W_I      | Wassergehalt des Interzeptionsspeichers                                    | 200              | 201                | 1               | -            | -           | mmH <sub>2</sub> O |
| W_SNOW   | Wassergehalt der Schneedecke   | 65               | WMO                | 1               | -            | -           | mmH <sub>2</sub> O |
| H_SNOW   | Schneehöhe (= W_SNOW / RHO_SNOW)   | 66               | WMO                | 1               | -            | -           | m                  |
| RHO_SNOW | Schneedichte   | 133              | 201                | 1               | -            | -           | kg/m <sup>3</sup>  |
| T_SNOW   | Temperatur der Schneedecke   | 203              | 201                | 1               | -            | -           | K                  |
| FRESHSNW | Anteil (1 bis 0) an frisch gefallenem Schnee für die Berechnung der Albedo | 129              | 201                | 1               | -            | -           | -                  |
| FR_ICE   | Meereisanteil (nur: 0: eisfrei oder 1: völlig mit Eis bedeckt)             | 91               | WMO                | 1               | -            | -           | -                  |
| H_ICE    | Dicke des Meereises (maximal 3 m)  | 92               | WMO                | 1               | -            | -           | m                  |
| T_ICE    | Temperatur an der Oberseite des Meereises                                  | 215              | 201                | 1               | -            | -           | K                  |

**Fortsetzung der Tabelle 8.3:** Ein-Flächen-Felder für uninitialisierte Analysen

| Name  | Element                                   | Element-Nr. (EE) | Tabellen-Nr.(TAB) | Lev-Typ (LVTYP) | Levtop (LVT) | Levbot (LV) | Einheit |
|-------|---|------------------|-------------------|-----------------|--------------|-------------|---------|
| T_2M  | Temperatur (2m über Grund)                | 11               | WMO               | 105             | -            | 2           | K       |
| TD_2M | Taupunkt (2m über Grund)                  | 17               | WMO               | 105             | -            | 2           | K       |
| Z0    | Rauhigkeitslänge (Land- und Wasserpunkte) | 83               | WMO               | 1               | -            | -           | m       |

**Tabelle 8.4:** Felder des Mehrschichten Bodenmodells für uninitialisierte Analysen

| Name     | Element                                  | Element-Nr. (EE) | Tabellen-Nr.(TAB) | Lev-Typ (LVTYP) | Levtop (LVT) | Levbot (LV) | Einheit            |
|----------|--|------------------|-------------------|-----------------|--------------|-------------|--------------------|
| T_SO     | Temperatur im Boden                      | 197              | 201               | 111             | -            | Tiefe       | K                  |
| W_SO     | Bodenwassergehalt (flüssig und gefroren) | 198              | 201               | 111             | -            | in          | mmH <sub>2</sub> O |
| W_SO_ICE | Bodeneisgehalt                           | 199              | 201               | 111             | -            | cm          | mmH <sub>2</sub> O |

Die Bodentemperaturen sind für die neun Niveaus 0, 0.5, 2, 6, 18, 54, 162, 486 und 1458 cm im Boden definiert. Hierbei sind allerdings die Temperaturen an der Grenzfläche Boden – Atmosphäre und in der Tiefe von 0.5 cm identisch. Als unterste Temperatur in 1458 cm ist das langjährige Klimamittel der 2m-Temperatur vorgegeben.

**Achtung:**

Da im GRIB1 Code die Bodentiefen nur in ganzen Zentimeter verschlüsselt werden können, wird statt 0.5 cm die Tiefe 1 cm verschlüsselt.

Die Bodenfeuchten werden für sechs Schichten 0 – 1, 1 – 3, 3 – 9, 9 – 27, 27 – 81, 81 – 243 berechnet, für die Schichten 243 – 729 und 729 – 2187 cm sind sie zeitlich konstant.

**Tabelle 8.5:** Auf Druckflächen bzw. NN interpolierte Felder für uninitialisierte Analysen (nur rty=r384a)

| Name   | Element                           | Element-Nr. (EE) | Tabellen-Nr. (TAB) | Lev-Typ (LVTYP) | Levtop (LVT) | Levbot (LV) | Einheit                        |
|--------|-----------------------------------|------------------|--------------------|-----------------|--------------|-------------|--------------------------------|
| FI     | Geopotential                      | 6                | WMO                | 100             | -            | -           | m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> |
| T      | Temperatur                        | 11               | WMO                | 100             | -            | -           | K                              |
| U      | Zonaler Wind                      | 33               | WMO                | 100             | -            | -           | m/s                            |
| V      | Meridionaler Wind                 | 34               | WMO                | 100             | -            | -           | m/s                            |
| OMEGA  | Vertikalbewegung $\omega = dp/dt$ | 39               | WMO                | 110             | -            | -           | Pa/s                           |
| RELHUM | Relative Feuchte                  | 52               | WMO                | 100             | -            | -           | %                              |
| PMSL   | auf NN reduzierter Bodendruck     | 2                | WMO                | 102             | -            | -           | Pa                             |

**Tabelle 8.6:** Hybride Multi-Flächen-Felder für Vorhersagen (VV>0) bzw. initialisierte Analysen (VV=0). O3 wird für ni=384 nur bis vv=78 berechnet.

| Name  | Element                                     | Element-Nr. (EE) | Tabellen-Nr. (TAB) | Lev-Typ (LVTYP) | Levtop (LVT) | Levbot (LV) | Einheit                        |
|-------|---|------------------|--------------------|-----------------|--------------|-------------|--------------------------------|
| FI    | Geopotential                                | 6                | WMO                | 109             | -            | -           | m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> |
| T     | Temperatur                                  | 11               | WMO                | 110             | -            | -           | K                              |
| U     | Zonaler Wind                                | 33               | WMO                | 110             | -            | -           | m/s                            |
| V     | Meridionaler Wind                           | 34               | WMO                | 110             | -            | -           | m/s                            |
| QV    | Spezifische Feuchte                         | 51               | WMO                | 110             | -            | -           | kg/kg                          |
| QC    | Spezifischer Wolkenwassergehalt             | 31               | 201                | 110             | -            | -           | kg/kg                          |
| QI    | Spezifischer Wolkeneisgehalt                | 33               | 201                | 110             | -            | -           | kg/kg                          |
| QR    | Spezifischer Regenwassergehalt              | 35               | 201                | 110             | -            | -           | kg/kg                          |
| QS    | Spezifischer Schneewassergehalt             | 36               | 201                | 110             | -            | -           | kg/kg                          |
| O3    | Ozonmischungsverhältnis                     | 180              | 202                | 110             | -            | -           | kg/kg                          |
| CLC   | Wolkenbedeckungsgrad für jede Modellschicht | 29               | 201                | 110             | -            | -           | %                              |
| OMEGA | Vertikalbewegung $\omega = dp/dt$           | 39               | WMO                | 110             | -            | -           | Pa/s                           |

**Tabelle 8.7:** Ein-Flächen-Felder für Vorhersagen (VV>0) und initialisierte Analysen (VV=0)

| Name     | Element  | Element-Nr. (EE) | Tabellen-Nr.(TAB) | Lev-Typ (LVTYP) | Levtop (LVT) | Levbot (LV) | Einheit            |
|----------|--|------------------|-------------------|-----------------|--------------|-------------|--------------------|
| PS       | Bodendruck an der Erdoberfläche ( $\xi=1$ )  | 1                | WMO               | 1               | -            | -           | Pa                 |
| T_SNOW   | Temperatur der Schneedecke   | 203              | 201               | 1               | -            | -           | K                  |
| T_S      | Temperatur an der Grenzfläche (Boden-Atm. bzw. Boden-Schnee)   | 85               | WMO               | 111             | -            | 0           | K                  |
| T_G      | Temperatur der Unterlage: ist kein Schnee vorhanden, sind alle drei Temperaturen identisch. Über Wasser bleibt die Temperatur während der Vorhersage konstant. | 11               | WMO               | 1               | -            | -           | K                  |
| QV_S     | Spezifische Feuchte an der Erd- bzw. Schneeoberfläche  | 51               | WMO               | 1               | -            | -           | kg/kg              |
| W_SNOW   | Wassergehalt der Schneedecke   | 65               | WMO               | 1               | -            | -           | mmH <sub>2</sub> O |
| W_I      | Wassergehalt des Interzeptionsspeichers  | 200              | 201               | 1               | -            | -           | mmH <sub>2</sub> O |
| TCM      | Turbulenter Transferkoeffizient für Impuls am Boden  | 170              | 201               | 1               | -            | -           | 1                  |
| TCH      | Turbulenter Transferkoeffizient für Wärme und Feuchte am Boden   | 171              | 201               | 1               | -            | -           | 1                  |
| ASOB_S   | Strahlungsbilanz am Erdboden (kurzwellig); Mittel über Vorhersagezeit  | 111              | WMO               | 1               | -            | -           | W/m <sup>2</sup>   |
| ATHB_S   | Strahlungsbilanz am Erdboden (langwellig); Mittel über Vorhersagezeit  | 112              | WMO               | 1               | -            | -           | W/m <sup>2</sup>   |
| APAB_S   | Photosynthetisch aktive Strahlung am Boden; Mittel über Vorhersagezeit   | 5                | 201               | 1               | -            | -           | W/m <sup>2</sup>   |
| ALB_RAD  | Albedo der Erdoberfläche für diffuse solare Strahlung  | 84               | WMO               | 1               | -            | -           | %                  |
| ASOB_T   | Strahlungsbilanz am Oberrand der Atmosphäre (kurzwellig); Mittel über die Vorhersagezeit   | 113              | WMO               | 8               | -            | -           | W/m <sup>2</sup>   |
| ATHB_T   | Strahlungsbilanz am Oberrand der Atmosphäre (langwellig); Mittel über die Vorhersagezeit   | 114              | WMO               | 8               | -            | -           | W/m <sup>2</sup>   |
| RAIN_GSP | Regen (skaliger Niederschlag), summiert seit Vorhersagebeginn  | 102              | 201               | 1               | -            | -           | kg/m <sup>2</sup>  |
| SNOW_GSP | Schnee (skaliger Niederschlag), summiert seit Vorhersagebeginn   | 79               | WMO               | 1               | -            | -           | kg/m <sup>2</sup>  |
| RAIN_CON | Regen (konvektiver Niederschlag), summiert seit Vorhersagebeginn   | 113              | 201               | 1               | -            | -           | kg/m <sup>2</sup>  |
| SNOW_CON | Schnee (konvektiver Niederschlag), summiert seit Vorhersagebeginn  | 78               | WMO               | 1               | -            | -           | kg/m <sup>2</sup>  |
| TOT_PREC | Gesamtniederschlag<br>RAIN_GSP+SNOW_GSP+RAIN_CON+SNOW_CON  | 61               | WMO               | 1               | -            | -           | kg/m <sup>2</sup>  |
| RUNOFF_S | Oberflächenabfluss<br>Summiert seit Vorhersagebeginn   | 90               | WMO               | 112             | 0            | 10          | kg/m <sup>2</sup>  |
| RUNOFF_G | Bodenwasserabfluss<br>Summiert seit Vorhersagebeginn   | 90               | WMO               | 112             | 10           | 100         | kg/m <sup>2</sup>  |

**Fortsetzung der Tabelle 8.7(2):** Ein-Flächen-Felder für Vorhersagen ( $VV>0$ ) und initialisierte Analysen ( $VV=0$ ). TO3 wird für  $n_i=384$  nur bis  $vv=78$  berechnet.

| Name     | Element  | Element-Nr. (EE) | Tabellen-Nr. (TAB) | Lev-Typ (LVTYP) | Levtop (LVT) | Levbot (LV) | Einheit           |
|----------|--|------------------|--------------------|-----------------|--------------|-------------|-------------------|
| ROOTDP   | Wurzeltiefe der Pflanzen   | 62               | 202                | 1               | -            | -           | m                 |
| U_10M    | zonaler Wind 10m über Grund  | 33               | WMO                | 105             | -            | 10          | m/s               |
| V_10M    | Merdionaler Wind 10m über Grund                                    | 34               | WMO                | 105             | -            | 10          | m/s               |
| T_2M     | Temperatur 2m über Grund   | 11               | WMO                | 105             | -            | 2           | K                 |
| TD_2M    | Taupunkt 2m über Grund   | 17               | WMO                | 105             | -            | 2           | K                 |
| TMIN_2M  | Minimum der Temperatur 2m über Grund                               | 16               | WMO                | 105             | -            | 2           | K                 |
| TMAX_2M  | Maximum der Temperatur 2m über Grund                               | 15               | WMO                | 105             | -            | 2           | K                 |
| VMAX_10M | Maximum des Windes 10m über Grund                                  | 187              | 201                | 105             | -            | 10          | m/s               |
| Z0       | Rauhigkeitslänge (Land- und Wasserpunkte)                          | 83               | WMO                | 1               | -            | -           | m                 |
| CLCT     | Gesamtbedeckungsgrad   | 71               | WMO                | 1               | -            | -           | %                 |
| CLCH     | Bedeckungsgrad mit hohen Wolken                                    | 75               | WMO                | 1               | -            | -           | %                 |
| CLCM     | Bedeckungsgrad mit mittelhohen Wolken                              | 74               | WMO                | 1               | -            | -           | %                 |
| CLCL     | Bedeckungsgrad mit niedrigen Wolken                                | 73               | WMO                | 1               | -            | -           | %                 |
| TO3      | Gesamttozon in der Säule   | 10               | WMO                | 1               | -            | -           | Dobson            |
| TQV      | Gesamtwasserdampfgehalt in der Säule                               | 54               | WMO                | 1               | -            | -           | kg/m <sup>2</sup> |
| TQC      | Gesamtwolkenwassergehalt in der Säule                              | 76               | WMO                | 1               | -            | -           | kg/m <sup>2</sup> |
| TQI      | Gesamtwolkeneisgehalt in der Säule                                 | 58               | WMO                | 1               | -            | -           | kg/m <sup>2</sup> |
| TQR      | Gesamtregewassergehalt in der Säule                                | 37               | 201                | 1               | -            | -           | kg/m <sup>2</sup> |
| TQS      | Gesamtschneewassergehalt in der Säule                              | 38               | 201                | 1               | -            | -           | kg/m <sup>2</sup> |
| BAS_CON  | Flächenindex der Basis der Konvektionswolken                       | 72               | 201                | 1               | -            | -           | 1                 |
| TOP_CON  | Flächenindex der Obergrenze der Konvektionswolken                  | 73               | 201                | 1               | -            | -           | 1                 |
| HBAS_CON | Höhe der Basis der Konvektionswolken bezogen auf Meeresniveau      | 68               | 201                | 2               | -            | -           | m                 |
| HTOP_CON | Höhe der Obergrenze der Konvektionswolken bezogen auf Meeresniveau | 69               | 201                | 3               | -            | -           | m                 |

**Fortsetzung der Tabelle 8.7(3):** Ein-Flächen-Felder für Vorhersagen (VV>0) und initialisierte Analysen (VV=0)

| Name          | Element   | Element-Nr.<br>(EE) | Tabellen-Nr.<br>(TAB) | Lev-Typ<br>(LVTYP) | Levtop<br>(LVT) | Levbot<br>(LV) | Einheit                |
|---------------|---|---------------------|-----------------------|--------------------|-----------------|----------------|------------------------|
| HTOP_DC       | Höhe der Obergrenze der trockenen Konvektion (Blauthermik) bezogen auf Meeresniveau | 82                  | 201                   | 1                  | -               | -              | m                      |
| CLDEPTH       | Modifizierte Wolkenmächtigkeit  | 203                 | 203                   | 1                  | -               | -              | -                      |
| CLCT_MOD      | Modifizierte Gesamtbedeckung  | 204                 | 203                   | 1                  | -               | -              | -                      |
| HZEROCL       | Nullgradgrenze, bezogen auf Meeresniveau  | 84                  | 201                   | 4                  | -               | -              | m                      |
| AUMFL_S       | Impulsfluss von U-Impuls am Boden; Mittel über Vorhersagezeit                       | 124                 | WMO                   | 1                  | -               | -              | kg/(m·s <sup>2</sup> ) |
| AVMFL_S       | Impulsfluss von V-Impuls am Boden; Mittel über Vorhersagezeit                       | 125                 | WMO                   | 1                  | -               | -              | kg/(m·s <sup>2</sup> ) |
| ASHFL_S       | fühlbarer Wärmefluss am Boden; Mittel über Vorhersagezeit                           | 122                 | WMO                   | 1                  | -               | -              | W/m <sup>2</sup>       |
| ALHFL_S       | latenter Wärmefluss am Boden; Mittel über Vorhersagezeit                            | 121                 | WMO                   | 1                  | -               | -              | W/m <sup>2</sup>       |
| FR_ICE        | Meereisanteil (nur: 0: eisfrei oder 1: völlig mit Eis bedeckt)                      | 91                  | WMO                   | 1                  | -               | -              | -                      |
| T_ICE         | Temperatur an der Oberseite des Meereises   | 215                 | 201                   | 1                  | -               | -              | K                      |
| H_ICE         | Dicke des Meereises (maximal 3 m)   | 92                  | WMO                   | 1                  | -               | -              | M                      |
| FRESHSNW      | Anteil (1 bis 0) an frisch gefallenem Schnee für die Berechnung der Albedo          | 129                 | 201                   | 1                  | -               | -              | -                      |
| RHO_SNOW      | Schneedichte  | 133                 | 201                   | 1                  | -               | -              | kg/m <sup>3</sup>      |
| H_SNOW        | Schneehöhe (= W_SNOW / RHO_SNOW)  | 66                  | WMO                   | 1                  | -               | -              | M                      |
| ASWDIR_S      | Direkte solare Einstrahlung am Boden  | 22                  | 201                   | 1                  | -               | -              | W/m <sup>2</sup>       |
| ASWDIFD_S     | Diffuse abwärtsgerichtete solare Strahlung am Boden                                 | 23                  | 201                   | 1                  | -               | -              | W/m <sup>2</sup>       |
| ASWDIFU_S     | Diffuse aufwärtsgerichtete solare Strahlung am Boden                                | 24                  | 201                   | 1                  | -               | -              | W/m <sup>2</sup>       |
| WW            | Interpretiertes Wetter im WMO-Schlüssel   | 99                  | 203                   | 1                  | -               | -              | -                      |
| Nur für vv=0: |   |                     |                       |                    |                 |                |                        |
| VIO3          | Vertikal integrierter Ozongehalt (Klimatologie) für Strahlungsprogramm              | 65                  | 202                   | 1                  | -               | -              | Pa(O3)                 |
| HMO3          | Höhe des Ozon-Maximums (Klimatologie) für Strahlungsprogramm                        | 64                  | 202                   | 1                  | -               | -              | Pa                     |
| PLCOV         | Pflanzenbedeckung (Englisch: plant cover, mit NDVI-Einführung variabel!!)           | 87                  | WMO                   | 1                  | -               | -              | %                      |
| LAI           | Blattflächenindex (aktuell)   | 68                  | 202                   | 1                  | -               | -              | 1                      |
| NDVIRATIO     | Verhältnis aktueller/maximaler NDVI   | 79                  | 202                   | 1                  | -               | -              | 1                      |

**Tabelle 8.8:** Felder des Mehrschichten Bodenmodells für Vorhersagen (VV>0) und initialisierte Analysen (VV=0)

| Name     | Element                                  | Element-Nr. (EE) | Tabellen-Nr.(TAB) | Lev-Typ (LVTYP) | Levtop (LVT) | Levbot (LV) | Einheit            |
|----------|--|------------------|-------------------|-----------------|--------------|-------------|--------------------|
| T_SO     | Temperatur im Boden                      | 197              | 201               | 111             | -            | Tiefe       | K                  |
| W_SO     | Bodenwassergehalt (flüssig und gefroren) | 198              | 201               | 111             | -            | in          | mmH <sub>2</sub> O |
| W_SO_ICE | Bodeneisgehalt                           | 199              | 201               | 111             | -            | cm          | mmH <sub>2</sub> O |

Die Bodentemperaturen sind für die neun Niveaus (LV) 0, 0.5, 2, 6, 18, 54, 162, 486 und 1458 cm im Boden definiert. Hierbei sind allerdings die Temperaturen an der Grenzfläche Boden – Atmosphäre und in der Tiefe von 0.5 cm identisch. Als unterste Temperatur in 1458 cm ist das langjährige Klimamittel der 2m-Temperatur vorgegeben.

**Achtung:**

Da im GRIB1 Code die Bodentiefen nur in ganzen Zentimeter verschlüsselt werden können, wird statt 0.5 cm die Tiefe 1 cm verschlüsselt.

Die Bodenfeuchten werden für sechs Schichten 0 – 1, 1 – 3, 3 – 9, 9 – 27, 27 – 81, 81 – 243 berechnet, für die Schichten 243 – 729 und 729 – 2187 cm sind sie zeitlich konstant.

**Tabelle 8.9:** Auf Druckflächen bzw. NN interpolierte Felder für Vorhersagen (VV>0) und initialisierte Analysen (VV=0)

| Name   | Element                           | Element-Nr. (EE) | Tabellen-Nr.(TAB) | Lev-Typ (LVTYP) | Levtop (LVT) | Levbot (LV) | Einheit                        |
|--------|-----------------------------------|------------------|-------------------|-----------------|--------------|-------------|--------------------------------|
| U      | Zonaler Wind                      | 33               | WMO               | 100             | -            | -           | m/s                            |
| V      | Meridionaler Wind                 | 34               | WMO               | 100             | -            | -           | m/s                            |
| FI     | Geopotential                      | 6                | WMO               | 100             | -            | -           | m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> |
| T      | Temperatur                        | 11               | WMO               | 100             | -            | -           | K                              |
| RELHUM | Relative Feuchte                  | 52               | WMO               | 100             | -            | -           | %                              |
| OMEGA  | Vertikalbewegung $\omega = dp/dt$ | 39               | WMO               | 100             | -            | -           | Pa/s                           |
| PMSL   | auf NN reduzierter Bodendruck     | 2                | WMO               | 102             | -            | -           | Pa                             |

**Tabelle 8.10:** Monatsmittel der RMS-Differenzen First Guess – Analyse (EFA-...) und initialisierte Analyse – Analyse (EIA-...) im Rahmen der Datenassimilation

| Name   | Element                           | Element-Nr. (EE) | Tabellen-Nr. (TAB) | Lev-Typ (LVTYP) | Levtop (LVT) | Levbot (LV) | Einheit                        |
|--------|-----------------------------------|------------------|--------------------|-----------------|--------------|-------------|--------------------------------|
| EFA-U  | Zonaler Wind                      | 3                | 204                | 100             | -            | -           | m/s                            |
| EFA-V  | Meridionaler Wind                 | 5                | 204                | 100             | -            | -           | m/s                            |
| EFA-FI | Geopotential                      | 7                | 204                | 100             | -            | -           | m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> |
| EFA-T  | Temperatur                        | 11               | 204                | 100             | -            | -           | K                              |
| EFA-RH | Relative Feuchte                  | 9                | 204                | 100             | -            | -           | %                              |
| EFA-OM | Vertikalbewegung $\omega = dp/dt$ | 13               | 204                | 100             | -            | -           | Pa/s                           |
| EFA-KE | Kinetische Energie                | 15               | 204                | 100             | -            | -           | m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> |
| EIA-U  | Zonaler Wind                      | 4                | 204                | 100             | -            | -           | m/s                            |
| EIA-V  | Meridionaler Wind                 | 6                | 204                | 100             | -            | -           | m/s                            |
| EIA-FI | Geopotential                      | 8                | 204                | 100             | -            | -           | m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> |
| EIA-T  | Temperatur                        | 12               | 204                | 100             | -            | -           | K                              |
| EIA-RH | Relative Feuchte                  | 10               | 204                | 100             | -            | -           | %                              |
| EIA-OM | Vertikalbewegung $\omega = dp/dt$ | 14               | 204                | 100             | -            | -           | Pa/s                           |
| EIA-KE | Kinetische Energie                | 16               | 204                | 100             | -            | -           | m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> |
| EFA-PS | auf NN reduzierter Bodendruck     | 1                | 204                | 102             | -            | -           | Pa                             |
| EIA-PS | auf NN reduzierter Bodendruck     | 2                | 204                | 102             | -            | -           | Pa                             |

## 9 GRIB1-Felder im Dreiecksgitter (Datenbanken i384a und i384f)

### 9.1. Vorbemerkungen

Die Felder in den mit „i384“ beginnenden Datenbanken sind auf dem Dreiecksgitter („Ikosaeder“) des GME definiert.

Die GRIB-Länge eines Feldes in **Worten à 4 Byte** (= 32 Bit) beträgt: 741153  
 Die GRIB-Länge eines Feldes in **Bytes** beträgt: 1964610  
 Die Anzahl der Gitterpunkte eines Feldes beträgt:  $10 \cdot 385^2 = 1482250$

Es wird beim DWD kein reines Standard-GRIB-Format verwendet, sondern den Dateien werden noch einige Kontrollwerte zwischen den einzelnen GRIB-Feldern hinzugefügt, die zur Abtrennung der einzelnen Felder dienen. Diese Kontrollworte kommen zu den oben genannten GRIB-Längen hinzu. Mit dem Programm *stf\_to\_raw* aus der LIBDWD können diese Dateien in das Standard-GRIB-Format ohne Kontrollworte konvertiert werden. Die Konvertierung in die entgegengesetzte Richtung erfolgt mit *raw\_to\_stf*.

Jedes GME-Feld *gme\_feld* im Dreiecksgitter kann ein-, zwei- oder dreidimensional dimensioniert werden (siehe Gitterstruktur in Kap. 2):

1-dimensional: *gme\_feld* ((ni+1)\*(ni+1)\*10) mit ni=384  
 2-dimensional: *gme\_feld* ((ni+1)\*(ni+1), 10) mit ni=384  
 3-dimensional: *gme\_feld* (0:ni, 1:ni+1,1:10) mit ni=384.

#### Achtung:

In der 3-dimensionalen Dimensionierung beginnt die Zählung bei „0“, sonst bei „1“. Die Umrechnung der 3-dimensionalen Indizes (j1, j2, jd) in den 1-dimensionalen Index (j) gehorcht deshalb folgender Beziehung:  $j = j1 + 1 + (j2-1) \cdot (ni+1) + (jd-1) \cdot (ni+1) \cdot (ni+1)$ .

Der Nordpol wird durch die Gitterpunkte (0,1,1), (0,1,2), (0,1,3), (0,1,4) und (0,1,5) dargestellt; natürlich enthalten alle 5 Punkte den gleichen Wert. Der Südpol wird durch die Gitterpunkte (0,1,6), (0,1,7), (0,1,8), (0,1,9) und (0,1,10) dargestellt; natürlich enthalten alle 5 Punkte den gleichen Wert. Das gilt aber nicht für die Windkomponenten u und v, die sich auf ein lokales Koordinatensystem beziehen, das in jedem der 5 Rhomben verschieden ist.

### 9.2. Konstante Felder (Orographie, Land/Meer-Maske, etc.)

Die konstanten Felder des GME sind in einer separaten „Klima“-Datenbank verfügbar.

Die Datenbank **ty=i384a, dbase=gme, id=routarz, rty=c, rki=routi, d=invar** enthält die konstanten Felder des GME, d.h. Felder, die sich im Modell zeitlich nicht ändern.

Die Datenbank enthält z. Z. folgende 18 Felder (siehe Tab. 8.1), die (bis auf RLON, RLAT und Z0) für den Modellstart des GME benötigt werden:

FIS , Z0 , FR\_LAND , SOILTYP , RLAT , RLON ,  
 SSO\_STDH , SSO\_GAMMA , SSO\_THETA , SSO\_SIGMA , ROOTDP , T\_2M\_CL ,  
 PLCOV\_MX , FOR\_E , FOR\_D , LAI\_MX , EMIS\_RAD , PRS\_MIN

Unter dem Termin **d=1111mm1111** (mm=1,...12) sind zusätzlich das Verhältnis der Monatsmittelwerte des normalisierten differentiellen Vegetationsindex zum Jahresmaximum für 12 Monate (NDVI\_MRAT) und die fünf Aerosoltypen AER\_SO412, AER\_DUST12,

AER\_ORG12, AER\_BC12, AER\_SS12 abgelegt. Zusätzlich sind T\_S, W\_SNOW für die Schneeanalyse vorhanden.

Im GME sind der Pflanzenbedeckungsgrad (PLCOV) sowie der Blattflächenindex (LAI) seit der Einführung der NDVI-Klimatologie KEINE konstanten Werte mehr, sondern haben nunmehr einen Jahresgang.

Die auf den alten Rohdaten basierenden externen Parameterfelder, die vor Modellversion V2\_13 benutzt wurden, finden sich in Datenbank **dbase=fox, id=for0exp, rki=routi, rty=1**.

### 9.3. Datenbank i384a (GME-Analysen im Dreiecksgitter, Hauptlauf)

Die Datenbank **ty=i384a, dbase=gme, id=routarz, rty=m, rki=routi** enthält die **uninitialisierten** Analysen des GME für die Termine 00, 06, 12 und 18 UTC des Hauptlaufs (rty = main). Sie bilden die Ausgangsdaten für die GME-Vorhersagen im Hauptlauf (siehe Kap. 9.4). Der Datenredaktionsschluss der Hauptlauf-Analysen beträgt 2h 14min nach Termin. Bei den Assimilationslauf-Analysen (siehe 9.5) beträgt der Datenredaktionsschluss zwischen 6 und 12h, um auch sehr spät beim DWD eintreffende Beobachtungen noch berücksichtigen zu können.

Die Datenbank enthält je Termin die folgenden Felder (siehe Tab. 8.2 bis 8.5):

|         |    |          |           |           |         |       |     |     |                               |
|---------|----|----------|-----------|-----------|---------|-------|-----|-----|-------------------------------|
| T,      | U, | V,       | QV,       | QC,       | QI,     | QR,   | QS, | O3, | (60 Modellschichten)          |
| T_SO,   |    |          |           |           |         |       |     |     | (8 + 1 Schichten im Erdboden) |
| W_SO,   |    | W_SO_ICE |           |           |         |       |     |     | (7 + 1 Schichten im Erdboden) |
| PS,     |    | W_SNOW,  | FRESHSNW, | T_SNOW,   | QV_S,   | W_I,  | Z0, |     |                               |
| FR_ICE, |    | T_ICE,   | H_ICE,    | RHO_SNOW, | H_SNOW, | T_2M, |     |     |                               |
| TD_2M   |    |          |           |           |         |       |     |     |                               |

T, U, V, QV, QC, QI, QR, QS und O3 sind in den Schichtmitten (Hauptflächen, LVTYP = 110) definiert. Zum Start des GME werden T\_2M, TD\_2M, H\_SNOW nicht benötigt.

Zum Start des GME werden zusätzlich die folgenden 15 + 6\*12 Felder:

|            |            |            |           |           |          |
|------------|------------|------------|-----------|-----------|----------|
| FIS,       | FR_LAND,   | SOILTYP,   | T_2M_CL,  | SSO_STDH, |          |
| SSO_GAMMA, | SSO_THETA, | SSO_SIGMA, | ROOTDP,   | EMIS_RAD, |          |
| PLCOV_MX,  | FOR_E,     | FOR_D,     | LAI_MX,   | PRS_MIN,  |          |
| NDVI_MRAT  | AER_SO412  | AER_DUST12 | AER_ORG12 | AER_BC12  | AER_SS12 |

aus der Klima-Datenbank (siehe Kap. 9.2) benötigt. Im Analysenfile des GME sind also 663 Felder enthalten.

### 9.4. Datenbank i384f (GME-Vorhersagen im Dreiecksgitter, Hauptlauf)

Die Datenbank **ty=i384f, dbase=gme, id=routarz, rty=m, rki=routi** enthält die Vorhersagen des GME im Dreiecksgitter für die Hauptläufe (rty = main) von 0h bis 174h ausgehend von **00** und **12 UTC**, sowie von 0h bis 48h ausgehend von **06** und **18 UTC**.

Der Vorhersagezeitpunkt vv = 0h ist die **initialisierte Analyse** (siehe Kap. 6).

Die Datenbank enthält die folgenden Felder (siehe Tab. 8.1, 8.6 – 8.9):

Für  $vv = 0h$ :

|        |           |           |         |        |             |
|--------|-----------|-----------|---------|--------|-------------|
| FIS    | , FR_LAND | , SOILTYP | , RLON  | , RLAT |             |
| ROOTDP | , VIO3    | , HMO3    | , PLCOV | , LAI  | , NDVIRATIO |

Für  $vv \geq 0h$  mit  $\Delta = 1h$  von  $0 - 78h$  und  $\Delta = 3h$  von  $81 - 174h$ :

|                |            |             |             |            |            |     |     |     |                                     |
|----------------|------------|-------------|-------------|------------|------------|-----|-----|-----|-------------------------------------|
| T,             | U,         | V,          | QV,         | QC,        | QI,        | QR, | QS, | O3, | (60 Modellschichten)                |
| O3             |            |             |             |            |            |     |     |     | (nur alle 12 h bis 72 h)            |
| FI             |            |             |             |            |            |     |     |     | (60 Schichtgrenzen)                 |
| T_SO           |            |             |             |            |            |     |     |     | (8 + 1 Schichten im Erdboden)       |
| W_SO, W_SO_ICE |            |             |             |            |            |     |     |     | (7 + 1 Schichten im Erdboden)       |
| T,             | U,         | V,          | RELHUM,     | OMEGA,     | FI         |     |     |     | (6 Druckflächen)                    |
|                |            |             |             |            |            |     |     |     | (1000, 950, 850, 700, 500, 300 hPa) |
| PMSL           |            |             |             |            |            |     |     |     |                                     |
| PS             | , T_SNOW   | , T_S       | , T_G       | , QV_S     | , W_SNOW   |     |     |     |                                     |
| W_I            | , W_G1     | , W_G2      | , TCM       | , TCH      | , ASOB_S   |     |     |     |                                     |
| ATHB_S         | , APAB_S   | , ALB_RAD   | , ASOB_T    | , ATHB_T   | , RAIN_GSP |     |     |     |                                     |
| SNOW_GSP       | , RAIN_CON | , SNOW_CON  | , RUNOFF_S  | , RUNOFF_G | , U_10M    |     |     |     |                                     |
| V_10M          | , T_2M     | , TD_2M     | , TMIN_2M   | , TMAX_2M  | , VMAX_10M |     |     |     |                                     |
| Z0             | , CLCT     | , CLCH      | , CLCM      | , CLCL     | , BAS_CON  |     |     |     |                                     |
| TOP_CON        | , HBAS_CON | , HTOP_CON  | , HTOP_DC   | , AUMFL_S  | , AVMFL_S  |     |     |     |                                     |
| ASHFL_S        | , ALHFL_S  | , CLDEPTH   | , CLCT_MOD  | , HZEROCL  | , WW       |     |     |     |                                     |
| TQV            | , TQC      | , TQI       | , TO3       | , FRESHSNW | , FR_ICE   |     |     |     |                                     |
| T_ICE          | , H_ICE    | , RHO_SNOW  | , H_SNOW    | , TOT_PREC | , TQR      |     |     |     |                                     |
| TQS            | , ASWDIR_S | , ASWDIFD_S | , ASWDIFU_S |            |            |     |     |     |                                     |

U\_10M und V\_10M werden stündlich bis  $vv=174h$  gespeichert. Die Felder TMIN\_2M, TMAX\_2M und VMAX\_10M sind nur im 3-stündigen Intervall von  $vv=3h$  bis  $vv=174h$  gespeichert, weil sie Extremwerte über die vergangenen 3 Stunden sind. Das Feld WW (Wetterinterpretation) liegt in 3-stündigem Intervall von  $vv=3h$  bis  $vv=174h$  vor. TO3 (Gesamtozon in der Säule) wird nur bis  $vv=78h$  berechnet.

T, U, V, QV, QC, QI, O3, CLC und OMEGA sind in den Schichtmitten (Hauptflächen, LVTYP = 110) definiert, FI dagegen an den Schichtgrenzen (Nebenflächen, LVTYP = 109).

Es liegen on-line (d. h. auf Magnetplatten mit raschem Zugriff) 6 Tage in der Datenbank vor, alle älteren Termine sind off-line, d. h. im Allgemeinen auf Kassetten im Silo mit langsamerer Zugriffszeit. **Vorhersagen werden maximal 15 Monate lang archiviert.**

### 9.5. Datenbank i384a (GME-Analysen im Dreiecksgitter, Assimilationslauf)

Die Datenbank **ty=i384a, dbase=gme, id=routarz, rty=a, rki=routi** enthält die **uninitialisierten Analysen** des GME für die acht Analysentermine **00, 03, 06, 09, 12, 15, 18 und 21 UTC** des Assimilationslaufs ( $rty = ass$ ). Sie bilden die Ausgangsdaten für die GME-Vorhersagen im Assimilationslauf (siehe 9.6).

Die Datenbank enthält je Termin die folgenden Felder (siehe Tab. 8.2 bis 8.5):

|      |    |    |     |     |     |     |     |     |                               |
|------|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------------------------------|
| T,   | U, | V, | QV, | QC, | QI, | QR, | QS, | O3, | (60 Modellschichten)          |
| T_SO |    |    |     |     |     |     |     |     | (8 + 1 Schichten im Erdboden) |

W\_SO , W\_SO\_ICE (7 + 1 Schichten im Erdboden)

PS, W\_SNOW, FRESHSNW, T\_SNOW, QV\_S, W\_I, Z0,  
 FR\_ICE, T\_ICE, H\_ICE, RHO\_SNOW, H\_SNOW, T\_2M, TD\_2M

Es liegen on-line (d. h. auf Magnetplatten mit raschem Zugriff) 6 Tage in der Datenbank vor, alle älteren Termine sind off-line, d. h. im allgemeinen auf Kassetten im Silo mit langsamerer Zugriffszeit. **Die Analysen werden „ewig“ archiviert.**

### 9.6. Datenbank i384f (GME-Vorhersagen im Dreiecksgitter, Assimilationslauf)

Die Datenbank **ty=i384f, dbase=gme, id=routarz, rty=a, rki=routi** enthält die Vorhersagen des GME im Dreiecksgitter für die Assimilationsläufe (rty = a(ss) ) von 0h bis 3h ausgehend von **00, 03, 06, 09, 12, 15, 18** und **21** UTC. Der Vorhersagezeitpunkt vv = 0h für 00, 06, 12 und 18 UTC ist die **initialisierte Analyse** (siehe Kap. 6).

Die Datenbank enthält die folgenden Felder (siehe Tab. 8.6 bis 8.9):

Für vv = 0h:

FIS , FR\_LAND , SOILTYP , RLON , RLAT ,  
 PLCOV , LAI , NDVITATIO , ROOTDP ,  
 VIO3 , HMO3

Für vv ≥ 0h mit Δ = 1h von 0 bis 3h:

T, U, V, QV, QC, QI, QR, QS, O3, (60 Modellschichten)

FI (60 Schichtgrenzen)

T\_SO (8 + 1 Schichten im Erdboden)  
 W\_SO , W\_SO\_ICE (7 + 1 Schichten im Erdboden)

PS , T\_SNOW , T\_S , T\_G , QV\_S , W\_SNOW ,  
 W\_I , W\_G1 , W\_G2 , TCM , TCH , ASOB\_S ,  
 ATHB\_S , APAB\_S , ALB\_RAD , ASOB\_T , ATHB\_T , RAIN\_GSP ,  
 SNOW\_GSP , RAIN\_CON , SNOW\_CON , RUNOFF\_S , RUNOFF\_G , U\_10M ,  
 V\_10M , T\_2M , TD\_2M , TMIN\_2M , TMAX\_2M , VMAX\_10M ,  
 Z0 , CLCT , CLCH , CLCM , CLCL , BAS\_CON ,  
 TOP\_CON , AUMFL\_S , AVMFL\_S , ASHFL\_S , ALHFL\_S , FRESHSNW ,  
 FR\_ICE , T\_ICE , H\_ICE , RHO\_SNOW , H\_SNOW , TOT\_PREC ,  
 TO3 , TQV , TQI , TQC , TQR , TQS

Die Felder TMIN\_2M, TMAX\_2M und VMAX\_10M sind nur für vv = 3 h vorhanden, weil sie Extremwerte über die vergangenen 3 Stunden sind.

Für vv= 3h enthält die Datenbank zusätzlich die initialisierte Vorhersage (für die IDFI, siehe Kap. 6), ausgehend von 03, 09, 15 und 21 UTC.

T, U, V, QV, QC, QI, QR, QS (60 Modellschichten) sowie PS

Es liegen on-line (d. h. auf Magnetplatten mit raschem Zugriff) 6 Tage in der Datenbank vor, alle älteren Termine sind off-line, d. h. im Allgemeinen auf Kassetten im Silo mit langsamerer Zugriffszeit. **Die Analysen sowie die Vorhersagen der Assimilationsläufe werden „ewig“ archiviert.**

## 10 GRIB1-Felder im geographischen Gitter (Datenbanken r384a und r384f)

### 10.1. Vorbemerkungen

Die Felder in den mit „r384“ beginnenden Datenbanken sind vom Dreiecksgitter auf ein reguläres geographisches Gitter der Maschenweite  $\Delta\lambda = \Delta\phi = 0.25^\circ$  (= 1440\*721 Gitterpunkte) interpoliert worden, um einfache grafische Anwendungen zu unterstützen.

Die GRIB-Länge eines Feldes in **Worten à 4 Byte** (= 32 Bit) beträgt: 519270  
 Die GRIB-Länge eines Feldes in **Bytes** beträgt: 2077078  
 Die Anzahl der Gitterpunkte eines Feldes beträgt: 1440\*721 = 1038240.

Es wird beim DWD kein reines Standard-GRIB-Format verwendet, sondern den Dateien werden noch einige Kontrollwerte zwischen den einzelnen GRIB-Feldern hinzugefügt, die zur Abtrennung der einzelnen Felder dienen. Diese Kontrollworte kommen zu den oben genannten GRIB-Längen hinzu. Mit dem Programm *stf\_to\_raw* aus der LIBDWD können diese Dateien in das Standard-GRIB-Format ohne Kontrollworte konvertiert werden. Die Konvertierung in die entgegengesetzte Richtung erfolgt mit *raw\_to\_stf*.

Der Gitterpunkt (1, 1) liegt bei 90°S, 0°E, der Gitterpunkt (1440, 721) bei 90°N, 0.25°W. Die Datenspeicherung erfolgt zeilenweise von links unten (SW) nach rechts oben (NE).

### 10.2. Konstante Felder (Orographie, Land/Meer-Maske, etc.)

Die Datenbank **ty=r384a, d=invar, dbase=gme, id=routarz, rty=c, rki=routi** enthält die konstanten Felder des GME, d.h. Felder, die sich im Modell zeitlich nicht ändern. Diese Felder sind auf das geographische Gitter (Maschenweiten  $\Delta\lambda = 0.25^\circ$ ,  $\Delta\phi = 0.25^\circ$ ) mittels bilinearer Interpolation interpoliert worden (siehe Kap. 7).

Die Datenbank enthält z. Z. folgende 20 Felder (siehe Tab. 8.1):

|           |            |          |           |           |             |
|-----------|------------|----------|-----------|-----------|-------------|
| FIS       | ,Z0        | ,FR_LAND | ,SOILTYP  | ,SSO_STDH | ,SSO_GAMMA, |
| SSO_THETA | ,SSO_SIGMA | ,ROOTDP  | ,RLAT     | ,RLON     | ,PLCOV_MX,  |
| FOR_E     | ,FOR_D     | ,LAI_MX  | ,EMIS_RAD | ,PRS_MIN  | ,T_2M_CL,   |
| PLCOV     | ,NDVI_MAX  |          |           |           |             |

Der Pflanzenbedeckungsgrad (PLCOV) sowie der Blattflächenindex (LAI) werden aus monatlichen klimatologischen Werten des NDVI abgeleitet und sind daher nicht mehr zeitlich konstant. Die Wurzellänge ROOTDP ist die Skalenlänge für die exponentielle Abnahme der Wurzelichte mit der Tiefe im Boden.

### 10.3. Datenbank r384a (GME-Analysen im geographischen Gitter, Hauptlauf)

Die Datenbank **ty=r384a, dbase=gme, id=routarz, rty=m, rki=routi** enthält die **uninitialisierten Analysen** des GME für die Analysentermine 00, 06, 12 und 18 UTC des Hauptlaufs (rty = m)ain)).

Die Datenbank enthält je Termin die folgenden Felder (siehe Tab. 8.2, 8.3 und 8.5):

T, U, V, QV, QC, QI, QR, QS (60 Modellschichten)

PMSL

|        |            |          |         |         |          |
|--------|------------|----------|---------|---------|----------|
| PS     | , T_G      | , T_S    | , T_2M  | , TD_2M | , T_SNOW |
| W_SNOW | , RHO_SNOW | , H_SNOW | , W_I   | , QV_S  | , T_ICE  |
| H_ICE  | , FR_ICE   | , ROOTDP | , PLCOV | , U_10M | , V_10M  |
| TQV    | , TQI      | , TQC    | , CLCT  | , CLCL  | , CLCM   |
| CLCH   |            |          |         |         |          |

T , U , V , RELHUM , OMEGA, FI (17 Druckflächen)  
 (1000, 950, 925, 900, 850, 700, 500, 400, 300, 250, 200, 150, 100, 50, 30, 10, 5 hPa)

#### 10.4. Datenbank r384f (GME-Vorhersagen im geographischen Gitter, Hauptlauf)

Die Datenbank **ty=r384f, dbase=gme, id=routarz, rty=m, rki=routi** enthält die Vorhersagen des GME im geographischen Gitter der Maschenweite  $\Delta\lambda = \Delta\phi = 0.25^\circ$  (= 1440\*721 Gitterpunkte) für die Hauptläufe (rty = m(ain) ) von 0h bis 174h ausgehend von **00** und **12 UTC**, sowie von 0h bis 48h ausgehend von **06** und **18 UTC**.

Der Vorhersagezeitpunkt vv = 0h ist die **initialisierte Analyse** (siehe Kap. 6).

Die Datenbank enthält je Termin die folgenden Felder (siehe Tab. 8.6 – 8.9):

Für vv = 0 bis 5h mit  $\Delta = 1h$  und mit  $\Delta = 3h$  von 6 – 174h (bzw. 48h):

|                 |            |                               |            |            |            |   |
|-----------------|------------|-------------------------------|------------|------------|------------|---|
| T_SO            |            | (8 + 1 Schichten im Erdboden) |            |            |            |   |
| W_SO , W_SO_ICE |            | (7 + 1 Schichten im Erdboden) |            |            |            |   |
| PMSL            |            | (auf Meeresniveau reduziert)  |            |            |            |   |
| PS              | , T_G      | , T_2M                        | , TD_2M    | , TMAX_2M  | , TMIN_2M  | , |
| U_10M           | , V_10M    | , VMAX_10M                    | , QV_S     | , Z0       | , W_I      | , |
| RAIN_GSP        | , SNOW_GSP | , RAIN_CON                    | , SNOW_CON | , TOT_PREC | , T_ICE    | , |
| H_ICE           | , FR_ICE   | , T_SNOW                      | , W_SNOW   | , H_SNOW   | , RHO_SNOW | , |
| AUMFL_S         | , AVMFL_S  | , ALHFL_S                     | , ASHFL_S  | , ASOB_S   | , ATHB_S   | , |
| ASOB_T          | , ATHB_T   | , TQV                         | , TQC      | , TQI      | , TQR      | , |
| TQS             | , TO3      | , CLCT                        | , CLCL     | , CLCM     | , CLCH     | , |
| HBAS_CON        | , HTOP_CON | , BAS_CON                     | , TOP_CON  | , HTOP_DC  | , CLDEPTH  | , |
| CLCT_MOD        | , HZEROCL  | , ALB_RAD                     | , RUNOFF_S | , RUNOFF_G |            |   |

Mit  $\Delta = 3h$  von 0 – 174h (bzw. 48h):

T , U , V , FI , RELHUM , OMEGA (22 Druckflächen)

T, U, V, FI, RELHUM und OMEGA sind für 22 Druckflächen definiert (LV TYP = 100; folgende 22 Druckflächen werden z. Z. bereitgestellt:

5, 10, 30, 50, 70, 100, 150, 200, 250, 300, 400, 500, 600, 700, 750, 800, 850, 875, 900, 925, 950 und 1000 hPa).

TO3 wird nur bis vv=78h berechnet.

Es liegen on-line (d. h. auf Magnetplatten mit raschem Zugriff) 6 Tage in der Datenbank vor, alle älteren Termine sind off-line, d. h. im Allgemeinen auf Kassetten im Silo mit langsamerer Zugriffszeit. **Vorhersagen werden maximal 5 Jahre lang archiviert.**

### 10.5. Datenbank r384f (GME-Vorhersagen im geographischen Gitter, Monatsmittelfelder; Hauptläufe und Datenassimilation)

Die Datenbank **ty=r384f, dbase=gme, id=routarz, rty=m, rki=momit** enthält die Monatsmittel der Vorhersagen des GME im geographischen Gitter für die von 00 UTC und 12 UTC ausgehenden **Hauptläufe** für den Zeitbereich 0h bis 174h. Diese Daten dienen der Diagnose des GME bezüglich „Spin-Up“ und systematischer Trends. Die Monatsmittelwerte werden dem ersten Tag (dd = 01) des Monats zugeordnet. Bei der Zuordnung zu einem Monat zählt der Starttermin der Vorhersage.

Die Datenbank enthält folgende 48 Felder (siehe Tab. 8.6 und 8.7) für die 35 Zeitpunkte

VV = 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 12, 18, ..., 162, 168, 174h

|           |            |            |                          |            |            |   |
|-----------|------------|------------|--------------------------|------------|------------|---|
| PS        | , T_G      | , W_SNOW   | , W_I                    | , U_10M    | , V_10M    | , |
| SPEED_10M | , T_2M     | , TD_2M    | , CLCT                   | , CLCH     | , CLCM     | , |
| CLCL      | , T_ICE    | , H_ICE    | , Z0                     | , TQV      | , TQC      | , |
| TQI       |            |            |                          |            |            |   |
| ASOB_S    | , ATHB_S   | , ASOB_T   | , ATHB_T                 | , RAIN_GSP | , SNOW_GSP | , |
| RAIN_CON  | , SNOW_CON | , ASHFL_S  | , ALHFL_S                |            |            |   |
| T_SO      | , W_SO     | , W_SO_ICE | für 7 (6) Bodenschichten |            |            |   |

Die Datenbank enthält ausserdem folgende 7 (8) Felder (siehe Tab. 8.9) für die 30 Zeitpunkte

VV = 0, 6, 12, 18, ..., 162, 168, 174h

|          |     |     |      |          |         |      |
|----------|-----|-----|------|----------|---------|------|
| PMSL und |     |     |      |          |         |      |
| U        | , V | , T | , FI | , RELHUM | , OMEGA | , KE |

für die 15 Druckflächen 1000, 950, 925, 900, 850, 700, 500, 400, 300, 250, 200, 150, 100, 50, 10 hPa.

SPEED\_10M (ee=32, tab=2, lvtyp=105, lv=10) ist die aus U\_10M und V\_10M berechnete Windgeschwindigkeit und

KE (ee=149, tab=201, lvtyp=100) ist die aus  $(U^2 + V^2)/2$  berechnete kinetische Energie.

Für einen Monat enthält die Datenbank insgesamt  $48 \times 35 + 106 \times 30 = 4860$  Felder für 00 und 12 UTC. Es sind jeweils zwei Monate on-line verfügbar, die restlichen Monate sind archiviert.

Zur Diagnose der **Datenassimilation** des GME (siehe Kap. 6) werden die folgenden Monatsmittel gebildet:

First Guess (FG), d.h. die 3-stündige GME-Vorhersage gültig zu einem der acht Analysentermine (00, 03, ..., 21 UTC),

Analyse (AN), uninitialisiert, für die acht Analysentermine 00, 03, 06, ..., 21 UTC und

Initialisierte Analyse (IA), nur für die vier Termine 00, 06, 12 und 18 UTC. Für die anderen Termine (03, 09, 15 und 21 UTC) wird z. Z. keine Initialisierung durchgeführt.

Die *FG-Felder* werden durch den folgenden Datenbankauftrag geholt:

**ty=r384f, dbase=gme, id=routarz, rty=a, rki=momit, vv=3.**

Es sind die folgenden Felder verfügbar:

Modellflächen (Tab. 8.7)

CLCH , CLCM , CLCL , CLCT , TQV , TQC ,  
TQI

Bodendruck auf MSL und Druckflächen (Tab. 8.9 und 8.10)

PMSL  
U , V , T , FI , RELHUM , KE ,  
OMEGA  
EFA-PS  
EFA-U , EFA-V , EFA-T , EFA-FI , EFA-RH , EFA-KE ,  
EFA-OM

für die 15 Druckflächen 1000, 950, 925, 900, 850, 700, 500, 400, 300, 250, 200, 150, 100, 50, 10 hPa.

Die *AN-Felder* werden durch den folgenden Datenbankauftrag geholt:

**ty=r384a, dbase=gme, id=routarz, rty=a, rki=momit.**

Es sind die folgenden Felder verfügbar:

Modellflächen (Tab. 8.7)

CLCH , CLCM , CLCL , CLCT , TQV , TQC ,  
TQI

Bodendruck auf MSL und Druckflächen (Tab. 8.9)

PMSL  
U , V , T , FI , RELHUM , KE ,  
OMEGA

für die 15 Druckflächen 1000, 950, 925, 900, 850, 700, 500, 400, 300, 250, 200, 150, 100, 50, 10 hPa.

Die *IA-Felder* werden durch den folgenden Datenbankauftrag geholt:

**ty=r384f, dbase=gme, id=routarz, rty=a, rki=momit, vv=0.**

Es sind die folgenden Felder verfügbar:

Modellflächen (Tab. 8.7)

CLCH , CLCM , CLCL , CLCT , TQV , TQC ,  
TQI

Bodendruck auf MSL und Druckflächen (Tab. 8.9 und 8.10)

PMSL  
U , V , T , FI , RELHUM , KE ,  
OMEGA  
EIA-PS  
EIA-U , EIA-V , EIA-T , EIA-FI , EIA-RH , EIA-KE ,  
EIA-OM

für die 15 Druckflächen 1000, 950, 925, 900, 850, 700, 500, 400, 300, 250, 200, 150, 100, 50, 10 hPa.

### **Achtung**

Die RMS-Differenzen EFA und EIA (siehe Tab. 8.10) werden dem Vorhersagetyp r384f zugeordnet. Das Monatsmittel des Analyseninkrements (FG – AN) für den Analysentermin 00 UTC errechnet sich aus dem FG von 21 UTC + 3h und der AN von 00 UTC. Ebenso wird für die weiteren Analysentermine verfahren, z. B. 03 UTC: 00 UTC + 3h.

Alle Monatsmittelwerte (FG, AN und IA) sind dem Tag 01 des jeweiligen Monats zugeordnet.

## 11 Datenbanken der Vorassimilation

Zusätzlich zu den Datenbanken der Assimilationsläufe,  $rty=a$ , gibt es die Datenbanken der Vorassimilation,  $rty=p$ . In der Vorassimilation werden First-Guess-Felder für die Hauptläufe um 06 und 18 UTC bereitgestellt, sowie für die Assimilation von COSMO-EU von 06 bis 09 UTC. Der Datenredaktionsschluß (cut-off) ist jedoch kürzer als in den eigentlichen Assimilationsläufen. Eine eigene Vorassimilation wird nur um 00, 03, 06, 12, 15 und 18 UTC durchgeführt. In den Datenbanken sind auch Felder für 09 und 21 UTC vorhanden. Dabei handelt es sich jedoch nur um Kopien der Assimilation,  $rty=a$ .

Da in den Datenbanken der Vorassimilation,  $rty=p$ , dieselben Felder wie in den Assimilationsdatenbanken,  $rty=a$ , sind, werden sie hier nicht weiter beschrieben.

## 12 Hinweise zu einigen speziellen Feldern

In diesem Kapitel sollen einige Hinweise zu den GME-Feldern 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, z.B. Niederschlag (aufsummiert über die Vorhersagezeit) und Bewölkung (Momentanwert). Es kann natürlich vorkommen, dass es in der letzten Stunde geregnet hat, ohne dass zum Termin noch Bewölkung vorhanden ist, so dass es scheinbar aus blauem Himmel regnet.

Weiterhin muss immer berücksichtigt werden, dass die Felder **Mittelwerte über die Gitterelemente mit einer Grundfläche von ca. 778 qkm** darstellen, also **keine Gitterpunktwerte** sind. Deshalb können die Parameter an einem GME-Gitterpunkt durchaus grössere Diskrepanzen zu den Messwerten einer nahegelegenen Station aufweisen, ohne dass die GME-Vorhersage fehlerhaft ist. Aus dem gleichen Grund treten übrigens auch häufiger Diskrepanzen zwischen Metrogrammen von GME (Grundfläche eines Gitterelementes 778 km<sup>2</sup>) und COSMO-EU (49 km<sup>2</sup>) auf.

### 12.1 Externe Parameterfelder (LV TYP=1)

Die folgenden Felder sind z.T. zeitunabhängig und deshalb als konstante Felder (D=invar) in der GME-„Klima“-Datenbank (siehe Kap. 9.2 und 10.2) abgelegt. Das Feld **Z0** ist sowohl als konstantes Feld als auch für den aktuellen Termin in der Datenbank verfügbar, hat aber dann verschiedene Bedeutung!

|          |   |         |                 |
|----------|---|---------|-----------------|
| FIS:     | Modell-Orographie in m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> ; hergeleitet aus hochauflösenden Daten (GLOBE; Auflösung etwa 1 km*1 km) durch Mittelbildung über das jeweilige GME-Gitterelement. Innerhalb von diesem erscheinen daher alle Höhen und Täler eingeebnet. Die Höhe in m erhält man aus FIS durch Division mit 9.80665. |         |                 |
| FR_LAND: | Landanteil innerhalb des Gitterquadrates; hergeleitet aus dem hochauflösenden Datensatz GLC2000. Die Werte liegen zwischen 0 und 1. Im GME werden Gitterpunkte mit FR_LAND ≥ 0.5 als Landpunkte behandelt.  |         |                 |
| SOILTYP: | Bodentyp; 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. In einer 10 cm dicken Bodenschicht können maximal etwa 36 mm Wasser bei Sand und 86 mm bei Torf gespeichert werden.

- Z0: Rauigkeitslänge.  
Über Land ist Z0 konstant und hängt nur von der subskaligen Rauigkeit und der Art der Vegetation ab; maximale Werte liegen bei 8,6 m (in den Anden). Über Wasser ist Z0 in der Klimabank auf 0 gesetzt.  
Z0 steht auch als Vorhersagefeld in den GME-Datenbanken zur Verfügung, wobei die Werte über Land konstant bleiben, über Wasser mit Hilfe der Charnock-Formel berechnet werden, die empirisch den Zusammenhang zwischen Turbulenz und Rauigkeit (Seegang) beschreibt.
- PLCOV: Pflanzenbedeckungsgrad (klimatologischer Wert zwischen 0 und 100%). Bis zum 24.10.07 gab es keinen Jahresgang; danach wird ein monatlich variierender Pflanzenbedeckungsgrad aus Satellitendaten (NDVI-Index) bereitgestellt.  
**Achtung:** PLCOV\_MX (Pflanzenbedeckungsgrad in der Vegetationsphase) und PLCOV\_MN (Pflanzenbedeckungsgrad in der Ruhephase) sind in der Einheit 0 bis 1!
- ROOTDP: Wurzeltiefe; ein Parameter, der für den Wassertransport aus den tieferen Erdbodenschichten in die Atmosphäre wichtig ist.
- VIO3: Vertikal integrierter Ozongehalt; 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. Die aktuelle Ozonverteilung oder gar das Phänomen des Ozonlochs wird dadurch natürlich nicht erfasst. VIO3 wird bei der Strahlungsrechnung verwendet, d.h. die aktuelle Ozonverteilung (O3) wird z.Z. noch nicht berücksichtigt.
- HMO3: Höhe des Ozonmaximums; die klimatologische Verteilung wurde vom EZMW ebenfalls durch eine räumlich und zeitlich variierende Formel angenähert. Gemeint ist das stratosphärische Ozonmaximum. Ein eventuell vorhandenes zweites Ozonmaximum in Bodennähe bleibt ausser Betracht. HMO3 wird bei der Strahlungsrechnung verwendet, d.h. die aktuelle Ozonverteilung (O3) wird z.Z. noch nicht berücksichtigt.
- RLAT : Geographische Breite („latitude“) der GME-Gitterpunkte ( $N > 0$ ).
- RLON : Geographische Länge („longitude“) der GME-Gitterpunkte ( $E > 0$ ).
- T\_2M\_CL : Klimatologische 2m-Temperatur (Mehrjähriges Jahresmittel), dient als untere Randbedingung der Temperatur im 7-Schichten Bodenmodell in einer Tiefe von 14.58 m.

## 12.2. Erdbodenfelder (LVTYP=111)

- T\_SO: Temperatur im Erdboden und an der Erdoberfläche. Die neun Bodenschichten liegen in folgenden Tiefen (in cm): 0, 0.5, 2, 6, 18, 54, 162, 486 und 1458 cm. Hierbei sind allerdings die Temperaturen an der Grenzfläche Boden – Atmosphäre und in der Tiefe von 0.5 cm identisch. Als unterste

Temperatur in 1458 cm ist das langjährige Klimamittel der 2m-Temperatur (T\_2M\_CL) vorgegeben.

**Achtung:**

Da im GRIB1 Code die Bodentiefen nur in ganzen Zentimeter verschlüsselt werden können, wird statt 0.5 cm die Tiefe 1 cm verschlüsselt.

W\_SO: Gesamter Bodenwassergehalt (flüssig und gefroren)  
W\_SO\_ICE: Gefrorener Bodenwassergehalt

Die Bodenfeuchten werden für sechs Schichten 0 – 1, 1 – 3, 3 – 9, 9 – 27, 27 – 81, 81 – 243 berechnet, für die Schichten 243 – 729 und 729 – 2187 cm sind sie zeitlich konstant.

Die Bodenfeuchte W\_SO hat in Vorhersagen und den meisten Analysen die Zusatzelementnummer 255. Nur die Bodenfeuchte aus der Bodenfeuchteanalyse, SMA, um 00 UTC hat die Zusatzelementnummer 20. Die Zusatzelementnummer steht im 41. PDS-Wert eines GRIB1-Felds.

**12.3. Bodenfelder (LVTYP=1, 111 und 112)**

T\_SNOW: Temperatur der Schneeoberfläche.  
T\_S: Temperatur an der Grenzfläche Boden-Atmosphäre bzw. Boden-Schneeuntergrenze; es gilt:  $T_S = T_{SO} (LV=0)$ .  
T\_G: Temperatur der Unterlage; in der Turbulenzparametrisierung der Prandtl-schicht beeinflusst die Temperaturdifferenz zwischen T\_G und der Temperatur der untersten Modellschicht ( $j3 = i3e$ ) die Intensität der vertikalen Flüsse.

Für Landgitterpunkte ohne Schnee und für Wassergitterpunkte ohne Meereis ist  $T_{SO} (LV=0) = T_S = T_{SNOW} = T_G$ .

Bei geringer Schneehöhe wird im GME angenommen, dass der Schnee nicht das gesamte Gitterelement bedeckt. T\_SNOW bezieht sich dann nur auf den mit Schnee bedeckten Flächenanteil. Der schneefreie Flächenanteil  $f_{no\_snow}$  beträgt  $(1 - \min(1, W_{SNOW}/0.015))$  wobei W\_SNOW in m H<sub>2</sub>O (**Achtung:** Im GRIB-Code hat W\_SNOW die Einheit: mm H<sub>2</sub>O) gegeben ist. Die Temperatur T\_G an der Untergrenze der Atmosphäre ist damit ein gewogener Mittelwert:

$$\begin{aligned} T_G &= T_{SNOW} + f_{no\_snow} * (T_S - T_{SNOW}) && \text{für } W_{SNOW} > 0 \\ T_G &= T_{SNOW} = T_S && \text{für } W_{SNOW} = 0 \end{aligned}$$

**Achtung:** Bis zur Einführung des Meereismodells am 31.03.2004 galt: Ist über Wasser  $T_G < -1.7^\circ\text{C}$  (= 271.4 K), so wird dieser Punkt als eisbedeckt angesehen und die Rauigkeitslänge Z0 auf einen sehr kleinen Wert gesetzt. Im Meereismodell gilt für eisbedeckte Gitterpunkte  $H_{ICE} > 0$ , dort ist dann  $T_G = T_{ICE}$ .

Z0: Rauigkeitslänge.  
Über Land ist Z0 konstant und hängt nur von der subskaligen Rauigkeit und der Art der Vegetation ab; maximale Werte liegen bei ca. 9 m. Über Wasser berechnet sich Z0 aus der Charnock-Formel. Sie stellt den Einfluss der Wellen in Abhängigkeit von der bodennahen Windgeschwindigkeit und der Stabilität der Schichtung dar.

Z0 steht auch als konstantes Feld ( $D=invar$ ) in der GME-„Klima“-Datenbank bereit, dann sind allerdings die Werte über Wasser auf 0 gesetzt.

|           |  |
|-----------|--|
| QV_S:     | Spezifische Feuchte am Boden; für Wasserpunkte ist sie gleich der Sättigungsfeuchte (bezogen auf Wasser für $T_G \geq 0^\circ\text{C}$ , bezogen auf Eis für $T_G < 0^\circ\text{C}$ ). Für Landpunkte hängt sie von Wind und Feuchte in der Grenzschicht, 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 in mm $\text{H}_2\text{O}$ oder $\text{kg}/\text{m}^2$ .<br>Für Wassergitterpunkte ist $W\_SNOW = 0$ .  |
| RHO_SNOW  | Schneedichte in $\text{kg}/\text{m}^3$ . Die Schneedichte kann zwischen $50 \text{ kg}/\text{m}^3$ für Neuschnee und $400 \text{ kg}/\text{m}^3$ für Altschnee liegen. An Landpunkten ohne Schnee ist die Schneedichte auf $250 \text{ kg}/\text{m}^3$ gesetzt.  |
| H_SNOW    | Die Schneehöhe in m wird berechnet aus der Beziehung $H\_SNOW = W\_SNOW / RHO\_SNOW$ .   |
| FRESHSNW: | Anteil (1 bis 0) an frisch gefallenem Schnee für die Berechnung der solaren Albedo. Dieser Faktor beschreibt empirisch die Alterung der Schneeoberfläche, wenn kein Neuschnee gefallen ist. Fällt eine größere Menge Neuschnee, so wird er auf „1“ gesetzt. Auch in der Schneeanalyse wird dieser Faktor auf „1“ gesetzt, wenn neuer Schnee analysiert wird.   |
| W_I:      | Wassergehalt des Interzeptionsspeichers; er enthält die Tautropfen, den Reif und die an den Oberflächen haftenden Regentropfen.<br>Für Wassergitterpunkte ist $W\_I = 0$ .   |
| FR_ICE:   | Meereisbedeckung (nur: 0: Gitterbox ist eisfrei oder 1: völlig mit Meereis bedeckt); wird einmal täglich für 00 UTC analysiert.  |
| H_ICE:    | Dicke des Meereises; maximal auf 3 m, minimal auf 5 cm begrenzt; neu analysiertes Meereis erhält eine Dicke von 0.5 m.   |
| T_ICE:    | Temperatur an der Oberseite des Meereises; schmelzendes Meereis hat eine Oberflächentemperatur von $0^\circ\text{C}$ .   |
| RAIN_GSP: | Regen (skaliger Niederschlag);   |
| SNOW_GSP: | Schnee (skaliger Niederschlag);  |
| RAIN_CON: | Regen (konvektiver Niederschlag);  |
| SNOW_CON: | Schnee (konvektiver Niederschlag);   |
| TOT_PREC  | Gesamtniederschlag<br>$TOT\_PREC=RAIN\_GSP+SNOW\_GSP+RAIN\_CON+SNOW\_CON$ ;  |

Diese Elemente sind jeweils seit Beginn der Vorhersage aufsummiert. In der Natur ist die Verteilung des Niederschlags auf diese vier Anteile häufig unscharf, und im Modell hängt sie sehr empfindlich von einigen Parametrisierungsannahmen ab. Als zusätzliche Information mag die Änderung der Schneedecke (Element W\_SNOW) und das Auftreten von Feuchtkonvektion (Elemente BAS\_CON, TOP\_CON bzw. HBAS\_CON, HTOP\_CON) herangezogen werden. Letztere geben einen Hinweis darauf, dass der Niederschlag innerhalb des Gitterelements sehr ungleichmäßig verteilt sein kann.

Für  $vv = 0h$  enthalten die vier Niederschlagsanteile die während des ersten Modellzeitschrittes (d. h. während 100s) gefallene Menge.

- Achtung:** Aus Kontinuitätsgründen werden drei Ausgabefelder des früheren Zweischichten Bodenmodells weiterhin bereitgestellt.
- T\_S: Temperatur an der Grenzfläche Boden-Atmosphäre bzw. Bodenschneeuntergrenze; es gilt:  $T_S = T_{SO}$  (LV=0).
- W\_G1: Wassergehalt der oberen Bodenschicht (0 bis 10 cm);
- W\_G2: Wassergehalt der mittleren Bodenschicht (10 bis 100 cm), welche (im Gegensatz zur Berechnung von Bodentemperaturen!) bis in eine Tiefe von 1 m reicht, um den Einfluss tieferer Wurzeln (Element ROOTDP) mit zu erfassen. Die maximal möglichen Werte von W\_G1 und W\_G2 hängen vom Bodentyp SOILTYP ab. Für Wasserpunkte sind W\_G1 und W\_G2 = 0.

#### 12.4. Bodennahe Felder (LVTYP=105)

Die bodennahen Felder sind keine prognostischen Felder des GME. Sie werden diagnostisch aus den vorhergesagten Werten der untersten Modellschicht ( $j3 = i3e$ , etwa 10 m über Grund) und den Bodenwerten mittels der Beziehungen der Prandtlschicht abgeleitet. Die bodennahen Felder gelten für einen einheitlichen Modell-Erdboden in der mittleren Höhe der Orographie des jeweiligen Gitterelementes. Die Inhomogenität dieser Eigenschaften in der Natur hat eine entsprechend starke Streuung der bodennahen Variablen innerhalb eines Gitterelementes zur Folge. Dieses „Lokalklima“ kann durch das Modell natürlich nicht erfasst werden.

- T\_2M: Temperatur 2 m über Grund.
- TD\_2M: Taupunktstemperatur 2 m über Grund. Die Taupunktstemperatur folgt, entgegen der Realität, im GME sehr häufig dem Verlauf der 2m-Temperatur, was daran liegt, dass sie aus der Bedingung abgeleitet wird, dass die relative Feuchte in den untersten 10 m über Grund nahezu höhenkonstant bleibt.
- TMIN\_2M: Minimumtemperatur 2 m über Grund.
- TMAX\_2M: Maximumtemperatur 2 m über Grund.  
Das Minimum bzw. Maximum bezieht sich auf einen Zeitbereich von 3 Stunden. Der gültige Zeitbereich ist in der Product Definition Section IPDS(17), IPDS(18) angegeben (siehe Kap.12). Der Wert für VV=18 bezieht sich beispielsweise auf den Zeitbereich von +15 h bis +18 h.
- U\_10M: zonaler Wind 10 m über Grund.
- V\_10M: meridionaler Wind 10 m über Grund.
- VMAX\_10M: Maximale Windgeschwindigkeit 10 m über Grund.  
Das Maximum bezieht sich auf den Zeitbereich von maximal 3 Stunden. Der gültige Zeitbereich ist in der Product Definition Section ipds(17), ipds(18) angegeben (siehe Kap.12). Der Extremwert für VV=18 bezieht sich beispielsweise auf den Zeitpunkt von +15 h bis +18 h. VMAX\_10M ist als die Geschwindigkeit der maximalen Windbö in 10 m anzusehen. Sie wird aus der vom Modell vorhergesagten *bodennahen Turbulenz* empirisch abgeleitet und kann den aus U\_10M, V\_10M gebildeten Maximalbetrag erheblich überschreiten. Zusätzlich werden seit 12. März 2003 auch durch *konvektive Umlagerungen* erzeugte Windmaxima in VMAX\_10M berücksichtigt.

## 12.5. Kenngrößen der Bewölkung

|           |  |
|-----------|--|
| BAS_CON:  | Schichtindex der Basis der Konvektionswolken.  |
| TOP_CON:  | Flächenindex der Obergrenze der Konvektionswolken.<br>Die Felder BAS_CON und TOP_CON enthalten die Schichtindizes für die Unter- bzw. Obergrenze der feuchten Konvektion, wie sie in der Konvektionsparametrisierung des GME (Massenflussschema nach Tiedtke) berechnet werden.  |
| HBAS_CON: | Höhe (Einheit: m) der Basis der Konvektionswolken über Meeresniveau.   |
| HTOP_CON: | Höhe (Einheit: m) der Obergrenze der Konvektionswolken über Meeresniveau.  |
| HTOP_DC:  | Höhe (Einheit: m) der Obergrenze der trockenen Konvektion über Meeresniveau. HTOP_DC wird durch den trockenadiabatischen Aufstieg eines 0.25 K gegenüber der Umgebungsluft erwärmten Probekörpers ermittelt. Startpunkt der Rechnung ist die unterste Modellschicht ( $j_3 = i_3e$ ). Treten an einem Gitterpunkt sowohl trockene als auch feuchte Konvektion auf, so wird darauf geachtet, dass $HTOP\_DC \leq HBAS\_CON$ ist.  |
| CLDEPTH:  | Modifizierte Wolkenmächtigkeit (Einheit: -). Diese Größe dient der graphischen Darstellung der Bewölkung im Medienbereich; sie wird als Grauwert genutzt. $CLDEPTH = 1$ für eine etwa 700 hPa dicke Wolke.   |
| CLCT_MOD: | Modifizierter Gesamtbedeckungsgrad (Einheit: -). Diese Größe dient der graphischen Darstellung der Bewölkung im Medienbereich. Sind an einem Gitterpunkt nur hohe Wolken ("Cirren") vorhanden, so werden sie bei der Berechnung des Bedeckungsgrades kaum berücksichtigt.  |
| 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 -999. markiert.<br><br><b>Achtung:</b> Wegen der GRIB - Codierung wird dieser Wert nach dem Auspacken nicht exakt -999. betragen. Deshalb sollte die Abfrage Punkte mit Werten < -990 einbeziehen, um diese undefinierten Punkte zu eliminieren. |
| CLCT:     | Gesamtbedeckungsgrad, berechnet aus dem Bedeckungsgrad CLC der einzelnen Modellschichten. Sind zwei benachbarte Schichten bewölkt, so wird eine maximale Überlappung (maximum overlap) angenommen. Sind wolkenfreie Schichten zwischen bewölkten Schichten, so wird eine zufällige Verteilung der Wolken (random overlap) angesetzt, so dass der Gesamtbedeckungsgrad dann höher sein kann als die maximale Bedeckung der Einzelschichten und als MAX (CLCH, CLCM, CLCL).                      |
| CLCH:     | Bedeckungsgrad mit <b>hohen</b> Wolken (Einheit: %), 0 bis 400 hPa ausgehend von einem Bodendruck von 1000 hPa.  |
| CLCM:     | Bedeckungsgrad mit <b>mittelhohen</b> Wolken (Einheit: %), 400 bis 800 hPa ausgehend von einem Bodendruck von 1000 hPa.  |
| CLCL:     | Bedeckungsgrad mit <b>niedrigen</b> Wolken (Einheit: %), 800 hPa bis zum Boden ausgehend von einem Bodendruck von 1000 hPa.  |

### Konvektionsgrenzen in Druckkoordinaten (Einheit: hPa)

Um aus den Schichtindizes BAS\_CON und TOP\_CON die Unter- und Obergrenzen in **Druckkoordinaten** zu erhalten, geht man in folgenden Schritten vor:

- Einlesen von BAS\_CON, TOP\_CON und des unreduzierten Bodendrucks PS aus der Datenbank.
- Die Vertikalkoordinatenparameter ak (j3), bk (j3) mit  $j3 = 1, i3e + 1$  aus der Grid Description Section (GDS) des Feldes PS holen (siehe Kap. 2.2).
- Die Vertikalkoordinatenparameter ak (j3), bk (j3) und BAS\_CON beziehen sich auf die **Schichtgrenzen** (Nebenflächen), die in TOP\_CON gespeicherten Indizes dagegen auf die **Schichtmitten** (Hauptflächen). Deshalb mittelt man zweckmäßigerweise die ak (j3), bk (j3), um Werte zu erhalten, die ebenfalls an den Hauptflächen gültig sind:

```
PARAMETER (i3e = 60)
REAL      ak (i3e+1), bk (i3e+1), akh (i3e), bkh (i3e)

DO j3 = 1, i3e
  akh (j3) = 0.5*(ak (j3) + ak (j3+1))
  bkh (j3) = 0.5*(bk (j3) + bk (j3+1))
ENDDO
```

- Berechnung der Unter- und Obergrenzen (pfbas, pftop) in Druckkoordinaten (Einheit: hPa)

```
PARAMETER (ni = 384, nd = 10, i3e = 60)
REAL      bas_con (0:ni, 1:ni+1, nd), top_con (0:ni, 1:ni+1, nd )
REAL      ps (0:ni, 1:ni+1, nd )
REAL      akh (i3e), bkh (i3e)

DO jd = 1,nd
  DO j2 = 1,ni+1
    DO j1 = 0,ni

! Keine Konvektion am GME-Gitterpunkt
      IF (bas_con (j1,j2,jd) .EQ. 0.) THEN
        pfbas = 0.
        pftop = 0.
! Feuchte Konvektion
      ELSE
        kbas = NINT(bas_con (j1,j2,jd ))
        ktop = NINT(top_con(j1,j2,jd ))
        pfbas = (ak (kbas) + bk (kbas)*ps(j1,j2,jd ))/100.
        pftop = (akh(ktop) + bkh(ktop)*ps(j1,j2,jd ))/100.
      ENDIF

    ENDDO
  ENDDO
ENDDO
```

pfbas und pftop enthalten die gewünschten Unter- und Obergrenzen für die feuchte Konvektion in der Einheit hPa.

### **Konvektionsgrenzen als Höhe (Einheit: m) über Grund**

Die Felder HBAS\_CON und HTOP\_CON enthalten die Höhe der Unter- und Obergrenzen in m über dem Meeresniveau. Um die Höhen bezüglich der Modellorographie zu berechnen, zieht man von

HBAS\_CON und HTOP\_CON die Orographie FIS (D=invar in der „Klima“-Bank) ab,

d.h.  $HBAS\_CON - FIS/G$  und  $HTOP\_CON - FIS/G$

wobei die Erdbeschleunigung  $G$  den Wert  $G = 9.80665 \text{ m/s}^2$  hat.

### **12.6. Atmosphären-Felder**

|      |  |
|------|--|
| U:   | Zonale Windkomponente  |
| V:   | Meridionale Windkomponente   |
| QC:  | Spezifischer Wolkenwassergehalt; ist $QC > 0$ , so ist das betreffende Gitterelement gesättigt bzgl. Wasserdampf. QC gibt den spezifischen Wassergehalt der Wolke an. Sie erfüllt das ganze Gitterelement.   |
| QI:  | Spezifischer Wolkeneisgehalt   |
| QR:  | Spezifischer Regenwassergehalt   |
| QS:  | Spezifischer Schneewassergehalt  |
| O3:  | Ozonmischungsverhältnis  |
| CLC: | Wolkenbedeckungsgrad in jeder Modellschicht, skalig, subskalig und konvektiv. Ist $QC > 0$ (bzw. $QI > 1 \text{ mg/kg}$ ), so ist $CLC = 1$ , ansonsten wird aus der relativen Feuchte und Konvektionskenngrößen ein (empirischer) partieller Bedeckungsgrad bestimmt. |
| FI:  | Geopotential<br><b>Achtung: FI ist an den Schichtgrenzen (lvtyp = 109) definiert!</b>  |

## 12.7. Zeitlich gemittelte Felder

Die Felder:

ASOB\_S, ATHB\_S, APAB\_S, ASOB\_T, ATHB\_T, AUMFL\_S, AVMFL\_S, ASHFL\_S, ALHFL\_S

stehen als zeitlicher Mittelwert über die jeweilige Vorhersagezeit VV in der Datenbank. Dies ist in der Product Definition Section ipds(19) durch die entsprechende Schlüsselziffer (3) vermerkt. Es sei  $\psi$  der Momentanwert einer der obigen Größen. Dann ist der in der Datenbank abgespeicherte zeitliche Mittelwert  $\bar{\psi}$  folgendermaßen definiert:

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

Für  $t=0$  ist  $\bar{\psi}(0)$  der Mittelwert über den ersten Zeitschritt des Modells.

### ACHTUNG:

Der Mittelwert für das Zeitintervall von  $t_1$  bis  $t_2$  berechnet sich nach folgender Formel:

$$\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} \psi dt = \frac{1}{t_2 - t_1} \left[ \int_0^{t_2} \psi dt - \int_0^{t_1} \psi dt \right] =$$

$$\frac{1}{t_2 - t_1} [t_2 \bar{\psi}(t_2) - t_1 \bar{\psi}(t_1)].$$

Die Globalstrahlung GLOB am Erdboden kann aus der direkten und diffusen Strahlung am Boden berechnet werden:

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

Näherungsweise lässt sie sich aus der Albedo der Erdoberfläche für diffuse Strahlung (ALB\_RAD, Einheit: %) und der kurzwelligen Strahlungsbilanz am Erdboden (ASOB\_S) berechnen.

$$\text{GLOB} = \text{ASOB}_S / (1 - \text{ALB\_RAD} * 0.01)$$

Die Albedo hängt ab von Bodentyp, Bodenfeuchte, Pflanzen- und Schneebedeckung.

**Achtung:** ALB\_RAD ist ein Momentanwert der diffusen Albedo und die Anwendung der obigen Näherung ignoriert folglich sowohl die Tatsache, dass die in ASOB\_S enthaltene direkte solare Strahlungskomponente durch die zenitwinkelabhängige, sogenannte „black sky“ Albedo beeinflusst wird als auch den Umstand, dass ASOB\_S einen zeitlichen Mittelwert darstellt.

## 12.8. Wetterinterpretation (ww)

Basierend auf den Vorhersagefeldern des GME wird in einem von FE 15 bereitgestellten Anschlussverfahren eine objektive Wetterinterpretation (Feld ww, siehe Tab. 8.7 (3)) durchgeführt. Die Interpretation orientiert sich am WMO-Schlüssel für das aktuelle Wetter, wobei z. Z. folgende Schlüssel-Nummern verwendet werden (Tab. 11.1):

**Tabelle 11.1** Objektive Wetterinterpretation des GME

| WW | Wettertyp  | WW | Wettertyp                         |
|----|--|----|-----------------------------------|
| 45 | Nebel  | 48 | Nebel mit Reifbildung             |
| 50 | Sprühregen   | 56 | Sprühregen, gefrierend            |
| 60 | Leichter Regen                                     | 63 | Mäßiger Regen                     |
| 65 | Starker Regen                                      | 66 | Leichter Regen, gefrierend        |
| 67 | Mäßiger oder starker Regen, gefrier.               | 70 | Leichter Schneefall               |
| 73 | Mäßiger Schneefall                                 | 75 | Starker Schneefall                |
| 80 | Leichter Regenschauer                              | 81 | Mäßiger oder starker Regenschauer |
| 82 | Sehr starker Regenschauer                          | 85 | Leichter Schneeschauer            |
| 86 | Mäßiger oder starker Schneeschauer                 | 95 | Leichtes oder mäßiges Gewitter    |
| 96 | Starkes Gewitter (oder Gewitter mit Graupel/Hagel) |    |                                   |

Wird keine der o.g. WW-Schlüssel-Nummern interpretiert, so wird stattdessen die Wolkenbedeckung in WW verschlüsselt, und zwar in der folgenden Form:

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

Weitere Informationen zu den verwendeten Algorithmen findet man im Mitarbeiterportal des DWD unter

→ Wir über uns → Forschung und Entwicklung → Meteorologische Analyse und Modellierung → FE 15 → Sachgebiet A: Interpretation.

### 13 Inhalt der Product Definition Section PDS und der Grid Description Section GDS der GRIB1-Felder

Die praktische Nutzung der GRIB1-Felder des GME erfordert die Kenntnis der Inhalte der Product Definition Section PDS zur Identifikation des Produkts (Element, Tabellenummer, Schicht, Referenzzeit, Vorhersagezeit, etc.) und der Grid Description Section GDS zur Erkennung des Gittertyps. Das Entgribungsprogramm **grbin1** der libdwd liefert neben dem entpackten Datensatz auch PDS und GDS in den INTEGER Feldern **ipds** und **igds**.

Der Datenbanktyp **ty** ist als Typkennung in **ipds(4)** abgelegt, der dazugehörige Gittertyp ergibt sich aus **igds(4)**:

**Tabelle 12.1** Datenbanktypen (ty) des GME

| Bank-Typ<br>Ty | Bedeutung   | Typkennung<br>ipds(4) | Gittertyp<br>igds(4) |
|----------------|---|-----------------------|----------------------|
| i384a          | Analyse des GME auf dem Dreiecksgitter (ni=384)           | 206                   | 192                  |
| i384f          | Vorhersage des GME auf dem Dreiecksgitter (ni=384)        | 207                   | 192                  |
| r384a          | Analyse des GME interpoliert auf geographisches Gitter    | 208                   | 0                    |
| r384f          | Vorhersage des GME interpoliert auf geographisches Gitter | 209                   | 0                    |

Als Beispiel für den Inhalt der PDS dient der auf Meeresniveau reduzierte Bodendruck für den 23.09.2009 18UTC +03h, der am 24.09.2009 um 10:54 UTC erzeugt wurde. Die fettgedruckten Abkürzungen sind die im Datenbankauftrag zu verwendenden Parameter (siehe Kap. 13).

**Tabelle 12.2** Der Inhalt der Product Definition Section PDS des GME

| Index | Oktet | Inhalt   | Bedeutung  |
|-------|-------|--|--|
| 1     | 1-3   | 54   | Länge der PDS (in Byte/Oktets)   |
| 2     | 4     | 2  | Tabellennummer <b>tab</b> , WMO-Tabelle: <b>tab</b> = 2, zusätzlich nationale Tabellen <b>tab</b> = 201, 202 und 203             |
| 3     | 5     | 78   | Stationskennung (Erzeuger des GRIB-Feldes), DWD-RZ: 78   |
| 4     | 6     | 206 (i384a)<br>207 (i384f)<br>208 (r384a)<br>209 (r384f) | Typ-Kennung <b>ty</b> , beschreibt Art und Auflösung des Gitters, unterscheidet Analyse und Vorhersage (siehe Tab. 12.1).        |
| 5     | 7     | 255  | Katalog-Nummer des GRIBs   |
| 6     | 8     | 128  | Block-Flag, zeigt an, ob weitere Blöcke (wie GDS) folgen (siehe WMO-GRIB Dokumentation Tab. 1)                                   |
| 7     | 9     | 2  | Elementkennung <b>ee</b> , siehe Tab. 8.1 bis 8.9 in diesem Text; Achtung, zusätzlich Tabellennummer <b>tab</b> (s.o.) beachten. |
| 8     | 10    | 102  | Level-Typ <b>lvtyp</b> , siehe Tab. 12.3 (s. u.)   |
| 9-10  | 11-12 | 0  | Schichtkennung, abhängig von <b>lvtyp</b> , die Schicht wird mit <b>lv</b> (level) oder <b>lvt</b> (level top) angesprochen.     |
| 11    | 13    | 9  | Jahr (für 2000: $ipds(11) = 100$ )   |
| 12    | 14    | 9  | Monat  |
| 13    | 15    | 23   | Tag  |
| 14    | 16    | 18   | Stunde   |
| 15    | 17    | 0  | Minute   |
| 16    | 18    | 1  | Zeiteinheit ( <b>tui</b> ) für P1/P2, siehe Tab. 12.4 (s. u.)  |
| 17    | 19    | 3  | Vorhersagezeitraum 1 (P1, VV); abhängig von <b>ipds</b> (19)   |
| 18    | 20    | 0  | Vorhersagezeitraum 2 (P2); abhängig von <b>ipds</b> (19)   |
| 19    | 21    | 0  | Zeitflag ( <b>tflag</b> ), siehe Tab. 12.5 (s. u.)   |
| 20    | 22-23 | 0  | Anzahl gemittelter/akkumulierter Fälle   |
| 21    | 24    | 0  | Anzahl fehlender Fälle bei Summe/Mittel  |
| 22    | 25    | 21   | Jahrhundert  |
| 23    | 26    | 255  | „Sub-Center“, nationaler Gebrauch  |
| 24    | 27-28 | 0  | Skalierungsfaktor D (dezimal): $10^D$  |
| 25-36 | 29-40 | 0  | Reservierter Bereich (ab Oktet 41 der nationale Teil)  |
| 37    | 41    | 254  | Kennung für weiteren Datenverlauf  |
| 38    | 42    | 255  | Tagesnummer des MRZ Backup-File  |
| 39    | 43-45 | 100  | Zeitschritt (in s) des Modells   |
| 40    | 46    | 255  | Entschlüsselungskennung  |
| 41    | 47    | 255  | Zusatzelementnummer  |
| 42    | 48    | 109  | Jahr   |
| 43    | 49    | 9  | Monat  |
| 44    | 50    | 24   | Tag  |
| 45    | 51    | 10   | Stunde   |
| 46    | 52    | 54   | Minute   |
| 47    | 53-54 | 1  | Versionsnummer:<br>1 für GME-Hauptlauf, 32769 für GME-Assimilationslauf  |

**Tabelle 12.3** Level-Typen **lvtyp** im GME

| lvtyp =<br>ipds (8) | Bedeutung  | ipds (9)                            | ipds (10)                            |
|---------------------|--|-------------------------------------|--------------------------------------|
| 1                   | Bodenfläche oder vertikal integrierte Felder   | 0                                   | 0                                    |
| 2                   | Höhe der Wolkenbasis   | 0                                   | 0                                    |
| 3                   | Höhe der Wolkenobergrenze  | 0                                   | 0                                    |
| 4                   | Höhe der Nullgradgrenze  | 0                                   | 0                                    |
| 8                   | Obergrenze der Atmosphäre  | 0                                   | 0                                    |
| 100                 | Druckfläche (vertikal interpoliert)  | 0                                   | Druck in hPa                         |
| 102                 | Auf Meeresniveau reduziert   | 0                                   | 0                                    |
| 105                 | Höhe über Grund  | 0                                   | Höhe in m                            |
| 109                 | Hybride Fläche (Schichtgrenze); für Variable an Nebenflächen; Fläche wird durch den Index j3 definiert.              | 0                                   | j3                                   |
| 110                 | Hybride Schicht; für Variable an Hauptflächen; Schicht wird durch die Schichtgrenzenindizes j3 und j3 + 1 definiert. | j3<br>(Obergrenze)                  | j3 + 1<br>(Untergrenze)              |
| 111                 | Fläche im Boden  | 0                                   | Tiefe z in cm                        |
| 112                 | Schicht im Boden   | z <sub>o</sub> (cm)<br>(Obergrenze) | z <sub>u</sub> (cm)<br>(Untergrenze) |

**Tabelle 12.4** Zeiteinheit (Unit of time) im GME

| ipds (16) | Bedeutung  |
|-----------|------------|
| 1         | Stunde     |
| 2         | Tag        |
| 10        | 3 Stunden  |
| 11        | 6 Stunden  |
| 12        | 12 Stunden |

**Tabelle 12.5** Zeit-Flag (tflag) im GME

| ipds (19) | Bedeutung   | ipds (19) | Bedeutung   |
|-----------|---|-----------|---|
| 0         | Vorhersageprodukt gültig für Referenzzeit + P1 (wenn P1 > 0) oder uninitialisierte Analyse für Referenzzeit (wenn P1 = 0) | 1         | Initialisierte Analyse (P1 = 0)                           |
| 2         | Produkt gültig für den Zeitbereich Referenzzeit + P1 bis Referenzzeit + P2  | 3         | Mittel über Referenzzeit + P1 bis Referenzzeit + P2       |
| 4         | Summe von Referenzzeit + P1 bis Referenzzeit + P2, gültig für Referenzzeit + P2   | 10        | Wie ipds (19) = 0, aber Speicherung von P1 in zwei Oktets |
| 11        | Initialisierte Vorhersage (P1 > 0) für IDFI (Kap. 6 und Kap. 9.6)   | 13        | EZMW-Vorhersage als Analyse (bei Ozon)                    |

Im GRIB1 - Code ist die Verschlüsselung der Gitterbeschreibung eines Dreiecksgitters noch nicht explizit vorgesehen. Daher wurde das GME-Gitter als 'selbstdefinierter Gittertyp' (für den nationalen Gebrauch) codiert: igds(4)=192.

Die Zuordnung Index - Anzahl von Oktets in der GDS entspricht der des Gauß-Gitters und ist daher nicht immer von der entsprechenden Anzahl her sinnvoll.

**Tabelle 12.6** Der Inhalt der Grid Description Section GDS des GME für das Dreiecksgitter

| Index  | Oktet  | Inhalt    | Bedeutung  |
|--------|--------|-----------|--|
| 1      | 1-3    | 520<br>32 | Länge der GDS (in Byte/Oktets), mit den Vertikalkoordinatenparametern für 60 Schichten ohne Vertikalkoordinatenparameter   |
| 2      | 4      | 122       | Anzahl der Vertikalkoordinatenparameter $(i3e + 1)*2$  |
| 3      | 5      | 33        | Adresse (Byte-Nr.) für den Beginn der Vertikalkoordinatenparameter (siehe Kap. 2.2)  |
| 4      | 6      | 192       | 'Data representation type'; frei wählbarer Gittertyp   |
| 5      | 7-8    | 7         | $ni2$ : Faktorisierung des Ikosaeders bzgl. Basis 2  |
| 6      | 9-10   | 1         | $ni3$ : Faktorisierung des Ikosaeders bzgl. Basis 3; $ni3$ kann nur 0 oder 1 sein, d. h. es erfolgt, wenn überhaupt, nur im ersten Teilungsschritt eine Drittelung der Dreiecksseiten, danach folgen nur Halbierungen. |
| 7      | 11-13  | 10        | $nd$ : Anzahl der Rhomben (Diamanten); $nd = 10$ bedeutet, dass jeweils 2 der 20 großen Dreiecke eine Rhombe (Diamanten) bilden.   |
| 8      | 14-16  | 384       | $ni = 2^{ni2} * 3^{ni3}$ : Anzahl der Intervalle auf einer großen Dreiecksseite der Länge $\sim 7054$ km   |
| 9      | 17     | 128       | Flag bzgl. der Anordnung der Diamanten; Tab. 12.7  |
| 10     | 18-20  | 90000     | Breite der Polpunkte; $\varphi_{Pol} = 90.0^\circ N$ ; in $10^{-3}$ Grad   |
| 11     | 21-23  | 0         | Länge der Polpunkte; $\lambda_{Pol} = 0.0^\circ E$ ; in $10^{-3}$ Grad   |
| 12     | 24-25  | 0         | Länge der Mittelpunktslinie des 1. Diamanten; $\lambda_m = 0.0^\circ E$  |
| 13     | 26-27  | -         | Unbelegt   |
| 14     | 28     | 0         | Flag bzgl. der Reihenfolge der Abspeicherung der Gitterpunkte ('scanning mode'); Tab. 12.8   |
| 15-18  | 29-32  | 0         | Reserviert   |
| 26-147 | 33-520 | .....     | gepackte Vertikalkoordinatenparameter (122 Stück), erst $ak(j3)$ , $j3 = 1, i3e + 1$ , dann $bk(j3)$ , $j3 = 1, i3e + 1$   |

Die Auflösung  $ni$  ist in  $igds(8)$  abgespeichert; die Gesamtzahl der Gitterpunkte  $nglob$  ergibt sich zu

$$nglob = (igds(8) + 1) * (igds(8) + 1) * igds(7).$$

Die Anzahl der Vertikalkoordinaten und damit die Anzahl der Schichten  $i3e$  erhält man aus der GDS:

$$i3e = igds(2)/2 - 1$$

In  $igds(2)$  steht die Anzahl der Vertikalkoordinaten, wobei die 61 Werte der  $ak$  von den 61 Werten der  $bk$  (siehe Tab. 2.2) gefolgt werden.

Die Ermittlung dieser Werte aus der GDS wurde bereits in Kap.2.2 gezeigt.

Der hier definierte 'scanning mode' (Tab. 12.8) entspricht den Ausführungen in Kap. 2.1.

**Tabelle 12.7** Flag für die Anordnung der Diamanten (vom Polpunkt aus gesehen)

| igds (9) | Bedeutung                                       |
|----------|---|
| 0        | Anordnung im Uhrzeigersinn; bit 1 = 0           |
| 128      | Anordnung entgegen dem Uhrzeigersinn; bit 1 = 1 |

**Tabelle 12.8** Flag für die Reihenfolge der Abspeicherung der Gitterpunkte

| igds (14) | Bedeutung  |
|-----------|--|
| 0         | j1 vom Pol Richtung Äquator $\Rightarrow$ bit 1 = 0,<br>j2 von West nach Ost $\Rightarrow$ bit 2 = 0,<br>aufeinanderfolgende Punkte liegen in j1-Richtung $\Rightarrow$ bit 3 = 0. |

- bit 1: Festlegung der Richtung des ersten Index j1  
bit 1 = 0 Vom Pol zum Äquator  
bit 1 = 1 Vom Äquator zum Pol
- bit 2: Festlegung der Richtung des zweiten Index j2  
bit 2 = 0 Von Westen nach Osten  
bit 2 = 1 Von Osten nach Westen
- bit 3: Festlegung der Reihenfolge  
bit 3 = 0 aufeinanderfolgende Punkte liegen in der j1-Richtung  
bit 3 = 1 aufeinanderfolgende Punkte liegen in der j2-Richtung

Die Datentypen **r384a** und **r384f** sind auf dem regulären **geographischen Gitter** definiert; die Auflösung dieses Gitters ist beliebig, hier folgt in Tab. 12.9 die GDS für ein  $0.25^\circ \times 0.25^\circ$  Gitter mit 1440 x 721 Punkten.

**Tabelle 12.9** Der Inhalt der Grid Description Section GDS des GME für Felder, die auf ein geographischen Gitter (1440 x 721 Punkte) interpoliert wurden.

| Index  | Oktet  | Inhalt    | Bedeutung   |
|--------|--------|-----------|---|
| 1      | 1-3    | 520<br>32 | Länge der GDS (in Byte/Oktets), mit den Vertikal-Koordinatenparametern für 60 Schichten<br>Ohne Vertikalkoordinatenparameter    |
| 2      | 4      | 122       | Anzahl der Vertikalkoordinatenparameter<br>(i3e + 1)*2  |
| 3      | 5      | 33        | Adresse (Byte-Nr.) für den Beginn der Vertikalkoordinatenparameter (siehe Kap. 2.2)   |
| 4      | 6      | 0         | 'Data representation type' in WMO GRIB –Tab. 6; '0': latitude/longitude grid  |
| 5      | 7-8    | 1440      | Anzahl der Gitterpunkte entlang eines Breitenkreises  |
| 6      | 9-10   | 721       | Anzahl der Gitterpunkte entlang eines Längenkreises   |
| 7      | 11-13  | -90000    | geographische Breite des 1. Gitterpunktes in 10 <sup>-3</sup> Grad; $\varphi_s = 90.0^\circ\text{S}$                            |
| 8      | 14-16  | 0         | geographische Länge des 1. Gitterpunktes in 10 <sup>-3</sup> Grad; $\lambda_s = 0.0^\circ\text{E}$                              |
| 9      | 17     | 128       | Flag bzgl. Längen- und Breiteninkrement in WMO GRIB-Tab. 7; '128': Inkremente gegeben   |
| 10     | 18-20  | 90000     | geographische Breite des letzten Gitterpunktes in 10 <sup>-3</sup> Grad; $\varphi_e = 90.0^\circ\text{N}$                       |
| 11     | 21-23  | 359750    | geographische Länge des letzten Gitterpunktes in 10 <sup>-3</sup> Grad; $\lambda_e = 0.25^\circ\text{W} = 359.75^\circ\text{E}$ |
| 12     | 24-25  | 250       | Längeninkrement in 10 <sup>-3</sup> Grad; $\Delta\varphi = 0.25^\circ$  |
| 13     | 26-27  | 250       | Breiteninkrement in 10 <sup>-3</sup> Grad; $\Delta\lambda = 0.25^\circ$   |
| 14     | 28     | 64        | Flag bzgl. der Reihenfolge der Abspeicherung der Gitterpunkte ('scanning mode'); WMO GRIB-Tab. 8                                |
| 15-18  | 29-32  | 0         | reserviert  |
| 26-147 | 33-520 | .....     | gepackte Vertikalkoordinatenparameter (122 Stück), erst ak(j3), j3 = 1,i3e + 1, dann bk(j3), j3 = 1,i3e + 1                     |

Die WMO-GRIB-Tabellen sind der offiziellen GRIB1-Beschreibung der WMO zu entnehmen.

Auf dem *hpc*-Rechner sind die im DWD benutzten Tabellen unter den Namen cgrbt201202, cgrbt201203, cgrbt201204, ..., cgrbt201208 im Directory **/usr/local/pkg/libdwd/dat/grib/tabellen** zu finden.

## 14 Holen und Entpacken von GME-Feldern aus ORACLE-Datenbanken

GRIB1-Felder werden mit dem Skript **csobank** in eine Datei (uegabe-file, z.B, GMEgrib) geschrieben. Um genauere Informationen über die Funktionsweise der ORACLE-Datenbanken zu erhalten, empfiehlt es sich, auf der *hpc* die On-Line Hilfe der Datenbank anzuschauen (**csobank ak=help output=helpfile**)

Das folgende Programm zeigt (**für einen 64-Bit-Rechner**) die Nutzung der Unterprogramme **copen**, **cuegin**, **grbin1** und **cclose** zum Einlesen und Entpacken von GRIB1-Feldern des GME. Dabei wird von einer permanenten (oder temporären) GRIB1-Datei 'GMEgrib' ausgegangen, die entweder der uegabe-file eines separaten Datenbankaufrufs (mit csobank) oder eine Ergebnisdatei eines Modellaufs sein kann.

```

      program getgrbl
!
! Beispielprogramm (64-Bit-Rechner): Entpacken von GME GRIB1 Feldern
!   a) Oeffnen des 'uegabe'-Files mit copen
!   b) Einlesen eines GRIB1-Feldes mit cuegin
!   c) Entpacken eines GRIB1-Feldes mit grbin1
!   d) Schliessen der Datei mit cclose
!
      IMPLICIT NONE
!
! Maximale Dimensionierungen
! A. GME- Feld
      INTEGER ni,i3e,nd,iglob
      PARAMETER (ni=384,i3e=60,nd=10)
      PARAMETER (iglob=(ni+1)*(ni+1)*nd)
! Dimensionierung fuer ausgepacktes Feld
      REAL zfield(iglob)
!
! B. GRIB1
      INTEGER ndims
      PARAMETER ( ndims=20 )
      INTEGER idims(ndims)
      INTEGER npds, ngds, nbms, nbds, ndsup, nbmap, nblock
!
      PARAMETER ( npds  = 321,    &
                  ngds  = 626,    &
                  nbms  = 3,      &
                  nbds  = 11,     &
                  ndsup  = 73,     &
                  nbmap  = 1875,   &
                  nblock = 600000 )
!
      INTEGER
                  ipds(npds), igds(ngds) , ibms(nbms), &
                  ibds(nbds), ibmap(nbmap), iblock(nblock)
!
      REAL      dsup (ndsup)
!
      INTEGER  iednri          ! GRIB Edition
      REAL    undefi          ! Wert fuer undefinierte Punkte
      INTEGER  mbytes         ! Wortlaenge in Bytes
!
      INTEGER  ki3e           ! Anzahl Schichten (aus igds)
      REAL    ak(i3e+1), bk(i3e+1) ! Vertikalkoordinaten
      REAL    refstf         ! Funktion aus der LIBDWD
      EXTERNAL refstf       ! zum Auspacken der ak, bk

```

```

!
!   INTEGER    i, j3                ! Schleifenindex
!
!   INTEGER    mcount               ! Zaehler fuer ausgepackte Felder
!
!   CHARACTER  ymod*3, ypath*120    ! Modus und Name der GRIB1-Datei
!   INTEGER    mierr,mui            ! Fehlervariable, Fileindex
!
!-----
!
! Vorbsetzen von idims
!   idims(:) = 0
!
!   idims(1)  = npds
!   idims(2)  = ngds
!   idims(3)  = nbms
!   idims(4)  = nbds
!   idims(5)  = nbmap
!   idims(6)  = ndsup
!   idims(7)  = iglob
!   idims(8)  = nblock
!
!-----
!
!   mbytes = 8                      ! 64-bit Rechner (bei 32-bit Rechner: 4)!!
!   mcount = 0
!   ymod   = 'r'
!   ypath  = 'GMEgrib'
!
! Oeffnen der GRIB1-Datei
!   CALL copen(mui,ypath,ymod,mierr)
!
!   IF ( mierr .NE. 0 ) THEN
!     print *, ' ERROR: copen'
!     CALL abort
!   ENDIF
!
!10 CONTINUE
!
! Einlesen eines GME-Feldes auf 'iblock'
!   CALL cuegin ( mui , idims(8)*mbytes, iblock, idims(17), mierr )
!
!   IF ( mierr /= 0 ) THEN
!     print *, ' ERROR : cuegin'
!     CALL abort
!   ENDIF
!
!   IF (idims(17) .EQ. 0 ) GOTO 1000 ! EOF gefunden!!
!
!-----
!
! Auspacken des mit 'cuegin' erhaltenen Feldes 'iblock'
!
!   CALL grbin1 (iednri,undefi,ndims,idims,iblock,ibmap,ipds,
! +             igds,ibms,ibds,dsup,zfield,mierr)
!
!   mcount = mcount + 1
!
!   IF ( mierr /= 0 ) THEN
!     print *, ' ERROR : grbin1'
!     CALL abort
!   ENDIF
!
!

```

```

! Einlesen der Vertikalkoordinaten
!
      ki3e = igds(2)/2 - 1
      DO j3 = 1,ki3e+1
        ak(j3) = REFSTF (igds(25+j3))
        bk(j3) = REFSTF (igds(25+j3+ki3e+1))
      ENDDO
!
! Kontrollausdruck
!
      print *, '-----'
      print *, '*** Ausgabe fuer ',mcount,'. Feld ***'
      print *, ' ipds:', (ipds(i),i=1,idims(11))
      print *, ' igds:', (igds(i),i=1,25)
!
      print *, ' ak:', (ak(i),i=1,ki3e+1)
      print *, ' bk:', (bk(i),i=1,ki3e+1)
      print *, '-----'
!
! Einlesen des naechsten Feldes
!
      GOTO 10
!
!-----
1000 CONTINUE
      print *, 'EOF! Eingelesene Felder:', mcount
!
! Schliessen der Datei
      ymod='exi'
      CALL cclose ( mui, ymod, mierr )
      IF ( mierr /= 0 ) THEN
        print *, 'ERROR : cclose'
        CALL abort
      ENDIF
!
!-----
!
      STOP
      END

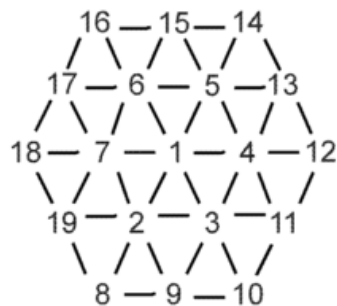
```

Für den Zugang zu den ORACLE-Datenbanken benötigt der Nutzer eine Validierung, die bei TI 14 beantragt werden muss.

## 15 Zuordnung Station - Gitterpunkt im Dreiecksgitter des GME Gitterpunktsinformation des GME (GMEGPI)

Das Programmpaket GMEGPI liefert für einen beliebigen Punkt ("Station") auf der Kugel, definiert durch seine geographische Länge und Breite, den bzw. die (7 oder 19) nächstgelegenen GME-Gitterpunkte im Dreiecksgitter, den Abstand zu diesen Gitterpunkten sowie deren Höhe und Landanteil ( $\geq 0.5$ : Land,  $< 0.5$ : Wasser)

Die Umgebungspunkte im Dreiecksgitter sind folgendermaßen angeordnet, wobei "1" den zur Station nächstgelegenen GME-Gitterpunkt bezeichnet:



Es ist möglich, nur den nächstgelegenen Gitterpunkt (mngp=1), eine Umgebungsreihe (mngp=7, d.h. Punkt 1 plus 6 Umgebungspunkte 2 bis 7), oder zwei Gitterpunktreihen (mngp=19) anzufordern.

Das *Unterprogramm* **gmegpi** ist mit folgenden Parametern zu rufen:

|             |         |   |         |   |          |   |
|-------------|---------|---|---------|---|----------|---|
| CALL gmegpi | (zlon   | , | zlat    | , | mngp     | , |
|             | zgmelon | , | zgmelat | , | mindices | , |
|             | zdis    | , | zfis    | , | zfr_land | , |
|             | lprint  | , | lchar   | , | ldebug   | ) |

### INPUT:

zlon : Länge der "Station" in Grad (-180./+180.); West < 0  
zlat : Breite der "Station" in Grad (- 90./+ 90.); Süd < 0  
mngp : Anzahl der Umgebungspunkte ( 1, 7 oder 19)

Schalter, die den OUTPUT steuern:

lprint : veranlasst Druckausgabe in Tabellenform auf Standardoutput  
lchar : veranlasst Ausgabe der Variablen Höhe zfis(mngp) und Landanteil zfr\_land(mngp)  
lchar=.false.  $\Rightarrow$  zfis = zfr\_land = 99999.  
ldebug : veranlasst zusätzliche Druckausgaben auf Standardoutput

### OUTPUT:

mindices(4,mngp): Indizierung der GME-Gitterpunkte

1:       eindimensionaler Index  $j$  ( = 1...660490 für  $n_i=384$  )  
 2-4:     dreidimensionaler Index ( $j_1,j_2,j_d$ ) im Dreiecksgitter  
            $j_d$  : Nummer des Diamanten (1 .. 10)  
            $j_1$  : 1. Dimension       (0 ..  $n_i$ )  
            $j_2$  : 2. Dimension       (1 ..  $n_i+1$ )  
 zgmelon(mngp) : geographische Länge bzw.  
 zgmelat(mngp) : geographische Breite der Umgebungspunkte in Grad  
 zdis(mngp)     : Abstand in km zur "Station" (zlon,zlat)  
 zfis(mngp)     : Höhe in gpm  
 zfr\_land(mngp) : Landbedeckung (0..1)

**WICHTIG:**

Zum Einbinden in eigene Programme ist zu beachten, dass zur Ausführung des *Unterprogramms gmegpi* das GME-Gitter bekannt sein muss. Dazu wird das Unterprogramm **make\_gme\_grid** einmal vor den Aufrufen von **gmegpi** gerufen:

|  |   |
|--|---|
| <code>ni = 384</code>                    | ! horizontale Auflösung                 |
| <code>i3e=60</code>                      | ! vertikale Auflösung (nicht benoetigt) |
| <code>CALL make_gme_grid (ni,i3e)</code> |   |

Das komplette Paket ist in die **gmtri**-Bibliothek eingegliedert (M. Gertz, FE 13, Tel.: 2735). Diese Bibliothek liegt auf der *hpc* unter dem Pfad: `/e/rhome/for0adm/lib` in drei Varianten vor:

libgmtri.a:       64-Bit REALs,        MPI-Parallelisierung,  
 libgmtri\_nomp.a: 64-Bit REALs, keine MPI-Parallelisierung und  
 libgmtri\_single.a: 32-Bit REALs, keine MPI-Parallelisierung.

Dort befinden sich auch ein Beispielprogramm MAIN\_GPI.f90, das die Anwendung erläutert, sowie weitere Informationsdateien.

Orographiehöhe und Land-See-Maske werden normalerweise durch einen Datenbankaufruf bereitgestellt. Das Einlesen dieser Daten lässt sich jedoch entweder ganz umgehen oder auf eine Datei umlenken. Letzteres geschieht automatisch, wenn im \$TMPDIR eine Datei namens „land\_sea\_i(ni).grib“ (also für  $n_i=384$  land\_sea\_i384a.grib) existiert. In dieser Datei müssen die Land-See-Maske und die Orographie stehen.

Zusätzlich besteht die Möglichkeit, mit der Umgebungsvariable G3KLBK\_CONST die Datenbankinstanz (Default: „dbase=gme,id=routarz,rt=c,rki=routi“) anzupassen.

Das Programmpaket enthält weiterhin das *Binary gmegpi*, das für den interaktiven Gebrauch gedacht ist und auf der *hpc* im Katalog `/e/rhome/for0adm/abs` abgelegt ist.

Zur einfacheren Bedienung des Programms **gmegpi** liegt zusätzlich das Skript **gmegpi\_locate.pl** im Katalog `/e/rhome/for0adm/sbin` auf der *hpc*. Mit diesem Skript kann der nächstgelegene GME-Gitterpunkt für eine Station gefunden werden, die durch ihre WMO-Nummer, ICAO-Kennung oder den exakten Stationsnamen (laut Stationslexikon) bezeichnet wird. Das Skript sucht dann die geographischen Koordinaten der Station in den Dateien wmo\_lex und icao\_lex im Katalog `~routarz/libdwd/dat/lexika`.

Die Bedienung des Skripts wird durch die Hilfeoption **gmegpi\_locate.pl -h** erklärt.

Nach Aufruf von **gmegpi** müssen nacheinander

- \*\* die gewünschte Auflösung (ni)
- \*\* die Anzahl der gewünschten Punkte/Stationen
- \*\* Länge und Breite dieser Punkte
- \*\* Anzahl der Umgebungspunkte (1, 7 oder 19)
- \*\* und ob eine Benutzung der Land-Meer\_maske und Orographie gewünscht ist

eingegeben werden:

```

**Aus-/Eingaben am Bildschirm nach Aufruf von gmegpi
*** Gewuenschte Aufloesung:
384
Triangular grid for ni= 384  created!
*** Angabe der ANZAHL der gewünschten Punkte/Stationen:
2
*** Eingabe 1 . LAENGE:
10.
*** Eingabe 1 . BREITE:
45.
*** Eingabe 2 . LAENGE:
-50.
*** Eingabe 2 . BREITE:
-60.
*** Angabe der ANZAHL der UMGEBUNGSpunkte (1, 7 oder 19):
*** 1: nächstgelegener GME-Punkt
*** 7: plus eine Randreihe
*** 19: plus zwei Randreihen
7
Mit Orographie (Datenbank-Aufruf)? (j/n)
j

```

Dann erscheint für jeden Punkt eine Tabelle auf dem Bildschirm, die die Kenngrößen enthält; mit dem Aufruf **gmegpi** > outliste kann die Ausgabe auf die Datei *outliste* umgelenkt werden:

Triangular grid for ni= 384 created!

-----  
 Reading land-sea-mask from  
 file:/e/gtmp/hfrank/.jtmp.lxe01.20111208.094101.8196/land\_sea\_i384a.grib  
 -----

getunpack: reading from  
 file:/e/gtmp/hfrank/.jtmp.lxe01.20111208.094101.8196/land\_sea\_i384a.grib

\*\*\*\*\*  
 \*\*\*\*\* Gitterpunktinformation GME \*\*\*\*\*  
 \*\*\*\*\*

Auflösung: ni= 384

Gitterpunkt: Laenge= 10.00  
 Breite= 45.00

Anzahl der Umgebungspunkte: 7

```

      6   5
     7   1   4
      2   3
  
```

Punkt liegt in Dreieck:  
 1 - 7 - 2

-----

| N | GP    | j1  | j2  | jd | lon    | lat    | distance<br>[km] | height<br>[gpm] | LSM<br>[0-1] |
|---|-------|-----|-----|----|--------|--------|------------------|-----------------|--------------|
| 1 | 73646 | 110 | 192 | 1  | 10.045 | 45.000 | 3.54             | 40.77           | 0.983        |
| 2 | 73647 | 111 | 192 | 1  | 9.877  | 44.846 | 19.64            | 230.44          | 1.000        |
| 3 | 74031 | 110 | 193 | 1  | 10.134 | 44.829 | 21.77            | 97.47           | 1.000        |
| 4 | 74030 | 109 | 193 | 1  | 10.302 | 44.982 | 23.87            | 29.56           | 0.987        |
| 5 | 73645 | 109 | 192 | 1  | 10.214 | 45.153 | 23.92            | 38.53           | 1.000        |
| 6 | 73261 | 110 | 191 | 1  | 9.955  | 45.171 | 19.33            | 47.51           | 1.000        |
| 7 | 73262 | 111 | 191 | 1  | 9.787  | 45.017 | 16.83            | 61.78           | 0.989        |

\*\*\*\*\*  
 \*\*\*\*\* Gitterpunktinformation GME \*\*\*\*\*  
 \*\*\*\*\*

Auflösung: ni= 384

Gitterpunkt: Laenge= -50.00  
 Breite= -60.00

Anzahl der Umgebungspunkte: 7

```

      6   5
     7   1   4
      2   3
  
```

Punkt liegt in Dreieck:  
 1 - 7 - 2

-----

| N | GP      | j1  | j2 | jd | lon     | lat     | distance<br>[km] | height<br>[gpm] | LSM<br>[0-1] |
|---|---------|-----|----|----|---------|---------|------------------|-----------------|--------------|
| 1 | 1359574 | 138 | 67 | 10 | -49.879 | -60.017 | 6.98             | -0.01           | 0.000        |
| 2 | 1359575 | 139 | 67 | 10 | -49.986 | -59.857 | 15.88            | -0.01           | 0.000        |
| 3 | 1359959 | 138 | 68 | 10 | -49.626 | -59.885 | 24.41            | -0.01           | 0.000        |
| 4 | 1359958 | 137 | 68 | 10 | -49.517 | -60.044 | 27.30            | -0.01           | 0.000        |
| 5 | 1359573 | 137 | 67 | 10 | -49.770 | -60.176 | 23.31            | -0.01           | 0.000        |
| 6 | 1359189 | 138 | 66 | 10 | -50.134 | -60.147 | 17.96            | -0.01           | 0.000        |
| 7 | 1359190 | 139 | 66 | 10 | -50.240 | -59.988 | 13.43            | -0.01           | 0.000        |

## 16 Operationeller Ablauf

Der operationelle Ablauf gliedert sich in die *Datenassimilation* (Analysen und 3h-Prognosen für die Termine 00, 03, 06, 09, 12, 15, 18 und 21 UTC mit einem längeren Datenredaktionsschluss/Cut-Off) und *Hauptlaufanalysen* und *Hauptlaufvorhersagen* (Analysen und 174h-Prognosen für die Termine 00 und 12 UTC, Analyse und 48h-Prognose für 06 und 18 UTC, jeweils mit einem kurzen Datenredaktionsschluss von 2h 14min). Vor den 06 und 18 UTC Hauptläufen und zur Randversorgung der alle 3 Stunden gerechneten COSMO-EU-Läufe, die wiederum Randwerte für COSMO-DE-Vorhersagen bereitstellen, werden zusätzlich *Vorassimilationen* durchgeführt. Diese werden in dieser Datenbankbeschreibung aber nicht erwähnt. Z. Z. ist folgender Ablaufplan vorgesehen (Tab. 15.1 und 15.2):

**Tabelle 15.1** Erstellungstermine der GME-Analysen

| Datenassimilation-Analyse |                      | Hauptlauf-Analyse |                      |
|---------------------------|----------------------|-------------------|----------------------|
| Termin (UTC)              | Fertigstellung (UTC) | Termin (UTC)      | Fertigstellung (UTC) |
| 00                        | 11.30                | 00                | 02.30                |
| 03                        | 11.55                |                   |                      |
| 06                        | 12.20                | 06                | 08.30                |
| 09                        | 13.55                |                   |                      |
| 12                        | 23.30                | 12                | 14.30                |
| 15                        | 23.55                |                   |                      |
| 18                        | 00.20                | 18                | 20.30                |
| 21                        | 01.55                |                   |                      |

**Tabelle 15.2** Erstellungstermine der GME-Vorhersagen

| Termin (UTC) | Fertigstellung (UTC) |       |       |       |       |       |       |
|--------------|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|              | +24h                 | +48h  | +72h  | +96h  | +120h | +144h | +168h |
| 00           | 02.39                | 02.46 | 02.53 | 03.00 | 03.06 | 03.12 | 03.19 |
| 06           | 08.38                | 08.45 |       |       |       |       |       |
| 12           | 14.39                | 14.47 | 14.54 | 15.00 | 15.06 | 15.13 | 15.19 |
| 18           | 20.37                | 20.44 |       |       |       |       |       |

Die GME-Rechnungen werden auf der NEC SX-9 durchgeführt, und die GRIB1-Felder werden gleichzeitig auf dem Datenbank-Server in die ORACLE-Datenbanken eingebracht.

## 17 Wichtige Änderungen der Analyse und des Modells

In der Anfangsphase der GME-Datenassimilation wurde die Berechnung der Analyse nicht im GME-Gitter (Ikosaeder-Dreiecksgitter), sondern in einem regulären geographischen Gitter der Auflösung  $0.75^\circ \times 0.5^\circ$  durchgeführt. Nach und nach wurden die einzelnen Analyseverfahren auf das GME-Gitter umgestellt, um den fehleranfälligen Interpolationsschritt zwischen Dreiecksgitter und geographischem Gitter zu vermeiden. Die Umstellung auf das Dreiecksgitter war für die

|  |                |
|--|----------------|
| Schneeanalyse am   | 21.02.2000,    |
| Analyse der Wassertemperatur (SST) am                      | 10.05.2000 und |
| Analyse der Atmosphärenvariablen (Masse, Wind, Feuchte) am | 15.02.2001.    |

Bis zum 20.03.2001 wurden die Vorhersagen bis 174h ausgehend von 00 und 12 UTC mit einem längeren Datenredaktionsschluss von 3h 30min gerechnet und für diese Termine zusätzliche 48h-Vorhersagen (*Vorlauf*) mit dem kurzen Datenredaktionsschluss von 2h 14min durchgeführt.

Am 09.04.2002 wurde Ozon als prognostische Variable eingeführt.

Bis zum 09.04.2002 beruhte die Datenassimilation auf einem 6-stündigen Assimilationsrhythmus, d.h. es stehen vor diesem Termin nur Analysen für 00, 06, 12 und 18 UTC zur Verfügung.

Am 16.09.2003 wurde Wolkeneis (Kap. 3.3.2) als prognostische Variable eingeführt.

Ab dem 17.12.2003 bis zum 16.9.2008 werden in der 00 UTC Assimilationsanalyse über Wasser und der Antarktis Pseudo-Temps aus der 00 UTC-Analyse des EZMW genutzt.

Am 31.03.2004 wurde ein Meereismodell (Kap. 3.3.7) eingeführt.

Am 27.09.2004 wurde die Maschenweite von 59.9 km ( $n_i = 128$ ) auf 40 km ( $n_i = 192$ ) verringert, die Schichtenanzahl von 31 auf 40 erhöht und ein 7-Schichten-Bodenmodell eingeführt.

Am 07.12.2005 wurde die variable Schneedichte RHO\_SNOW und damit auch die Schneehöhe H\_SNOW eingeführt.

Am 04.01.2006 begann die eindimensionale variationelle Assimilation von Daten der polarumlaufenden Satelliten (AMSU-A). Dadurch wurden die bisher genutzten SATEM-Daten in der optimalen Interpolation der Masse-Wind-Feuchte Analyse ersetzt.

Am 24.05.2006 wurde ein zusätzlicher 48h-Hauptlauf, basierend auf der 06 UTC-Analyse, eingeführt, der um 9 UTC fertig ist. Gleichzeitig wurde die Cut-off-Zeit der 18 UTC Hauptlaufanalyse gekürzt, so daß die Vorhersage schon um 21 UTC (anstatt 23 UTC) bereit steht.

Seit dem 24.10.2007 nutzt das operationelle GME einen klimatologischen Datensatz des NDVI („normalized differential vegetation index“), wodurch Pflanzenbedeckung und Blattflächenindex zu saisonal variablen Gitterpunktseigenschaften werden. Landnutzungsabhängige externe Parameter basieren nun auf dem Rohdatensatz „Global Land Cover 2000“ GLC2000, wodurch auch eine Änderung der Land-Meer-Maske im GME-Modellgitter bedingt ist. Zusammen mit der Einführung der neuen Landnutzungsdaten wurden neben der

NDVI-Klimatologie noch zwei weitere externe Parameterfelder bereitgestellt, die im Boden- bzw. Strahlungsschema Verwendung finden: landnutzungsspezifischer minimaler Stomatawiderstand der Pflanzen sowie ortsabhängige thermische Bodenemissivität. Weitere Einzelheiten zum neuen externen Datensatz finden sich im Kap. 3.4.

Am 05.12.2007 wurde die T\_2m-Diagnose über Land geändert, um Bias und RMSE an SYNOP Stationen zu reduzieren.

Am 17.09.2008 wurde die Datenassimilation des GME von der „Optimalen Interpolation (OI)“ auf ein 3D-Variationelles Verfahren umgestellt, das eine bessere Nutzung von Fernerkundungsverfahren erlaubt.

Seit dem 18.05.2009 nutzt das operationelle GME die neue Aerosolklimatologie nach Tegen mit den 5 Aerosoltypen Sulfat, Staub, organisches Aerosol, Ruß und Meersalz.

Seit dem 01.07.2009 werden Scatterometer-Winde assimiliert.

Am 02.02.2010 wurde die horizontale Maschenweite des GME von 40 km ( $n_i = 192$ ) auf 30 km ( $n_i = 256$ ) reduziert und die Anzahl der Schichten von 40 auf 60 erhöht. Außerdem wird seitdem die Wolkenmikrophysik von Seifert (2008) mit Regen und Schnee als prognostischen Größen, die aber nicht advehiert werden, verwendet.

Seit dem 09.03.2011 wird für GME um 00 UTC ein Verfahren zur Assimilation der Bodenfeuchte durchgeführt.

Am 29.02.2012 wurde die horizontale Maschenweite des GME von 30 km ( $n_i = 256$ ) auf 20 km ( $n_i = 384$ ) reduziert. Zusätzlich werden seitdem die prognostischen Größen Regen und Schnee auch horizontal advehiert.

Alle Änderungen des GME und der dazu gehörenden Datenassimilationsverfahren sind auf der DWD-Seite im Internet unter <http://www.dwd.de/modellierung> → Änderungen des NWV-Systems → GME beschrieben.

## 18 Literatur

- Baumgardner, J. R., 1983: A three-dimensional finite element model for mantle convection. Thesis, University of California, 271 p.
- Baumgardner, J. R. and P.O. Frederickson, 1985: Icosahedral discretization of the two-sphere. *SIAM J. Numer. Anal.*, Vol. 22, No. 6, 1107-1115.
- Baumgardner, J. R., 1985, "Three-dimensional treatment of convective flow in the earth's mantle", *J. Stat. Phys.*, 39, 501-511.
- Baumgardner, J. R., 1995, A semi-implicit semi-Lagrange method for the shallow water equations on a triangular mesh, Fourth CHAMMP Workshop for the Numerical Solution of PDE's in the Spherical Geometry, Chicago.
- Burridge, D.M., 1975: A split semi-implicit reformulation of the Bushby-Timpson 10-level model. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 101, No. 430, 777-792.
- Doms, G. and U. Schättler, 2003: The nonhydrostatic limited-area model LM (Lokal-Modell) of DWD. Part I: Scientific Documentation. Deutscher Wetterdienst (DWD), Offenbach, March 2003.
- Dutton, J.A., 1976: *The ceaseless wind*, McGraw-Hill, Inc., pp 579.
- Heikes, R. and D. A. Randall, 1995a: Numerical integration of the shallow-water equations on a twisted icosahedral grid. Part I: Basic design and results of tests. *Mon. Wea. Rev.*, 123, 1862-1880.
- Heikes, R. and D. A. Randall, 1995b: Numerical integration of the shallow-water equations on a twisted icosahedral grid. Part II: A detailed description of the grid and an analysis of numerical accuracy. *Mon. Wea. Rev.*, 123, 1881-1887.
- Heise, E. and R. Schrodin, 2002: Aspects of snow and soil modelling in the operational short range weather prediction models of the German Weather Service. *Journal of Computational Technologies*, Vol. 7, Special Issue: Proceedings of the International Conference on Modelling, Databases and Information Systems for Atmospheric Science (MODAS), Irkutsk, Russia, June 25-29, 2001, 121-140.
- Jacobsen, I. and E. Heise, 1982: A new economic method for the computation of the surface temperature in numerical models. *Beitr. Phys. Atm.*, 55, No. 2, 128-141.
- Lott, F. and M. Miller, 1997: A new sub-grid scale orographic drag parameterization: its formulation and testing. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 123, 101-128.
- Louis, J.-F., 1979: A parametric model of vertical eddy fluxes in the atmosphere. *Boundary-Layer Meteor.*, 17, 187-202.
- Lynch, P., 1997: The Dolph-Chebyshev window: A simple optimal filter. *Mon. Wea. Rev.*, 125, 655-660.
- Majewski, D. 1998: The new global icosahedral-hexagonal grid point model GME of the Deutscher Wetterdienst, ECMWF, Seminar Proceedings, Recent developments in numerical methods for atmospheric modelling, 173-201.
- Majewski, D., D. Liermann, P. Prohl, B. Ritter, M. Buchhold, T. Hanisch, G. Paul, W. Wergen and J. Baumgardner, 2000: The global icosahedral-hexagonal grid point model GME - Operational version and high resolution tests -. ECMWF, Workshop Proceedings, Numerical methods for high resolution global models.
- Majewski, D., D. Liermann, P. Prohl, B. Ritter, M. Buchhold, T. Hanisch, G. Paul, W. Wergen and J. Baumgardner, 2002: The operational global icosahedral-hexagonal grid point model GME: Description and high resolution tests. *Mon. Wea. Rev.*, 130, 319-338.
- Masuda, Y. and H. Ohnishi, 1986: An integration scheme of the primitive equations model with an icosahedral-hexagonal grid system and its application to the shallow water equations. *Proc. WMO/IUGG Symp. on Short- and Medium-Range Numerical Weather Prediction*. Tokyo, Japan, Japan Meteorological Society, 317-326.

- Mellor, G.L. and T. Yamada, 1974: A hierarchy of turbulence closure models for planetary boundary layers. *J. Atmos. Sci.*, 31, 1791-1806.
- Müller, E., 1981: Turbulent flux parameterization in a regional-scale model. ECMWF Workshop on planetary boundary layer parameterization, 193-220.
- Mironov, D. and B. Ritter, 2003: A first version of the ice model for the global NWP system GME of the German Weather Service. WGNE Blue Book.
- Mironov, D., and B. Ritter, 2004: A New Sea Ice Model for GME. Technical Note, Deutscher Wetterdienst, Offenbach am Main, Germany, 12 pp.  
[http://nwpi.krc.karelia.ru/flake/papers/MR\\_SeaIce\\_GME\\_DWDintern.ps](http://nwpi.krc.karelia.ru/flake/papers/MR_SeaIce_GME_DWDintern.ps)
- New, M., Hulme, M. and Jones, P.D., 1999: Representing twentieth century space-time climate variability. Part 1: development of a 1961-90 mean monthly terrestrial climatology. *Journal of Climate* 12, 829-856
- Ritter, B. and J.-F. Geleyn, 1992: A comprehensive radiation scheme for numerical weather prediction models with potential applications in climate simulations. *Mon. Wea. Rev.*, 120, 303-325.
- Robert, A., 1981: A stable numerical integration scheme for the primitive meteorological equations. *Atmos. Ocean*, 17, 35-46.
- Sadourny, R., A. Arakawa and Y. Mintz, 1968: Integration of the non-divergent barotropic vorticity equation with an icosahedral-hexagonal grid for the sphere. *Mon. Wea. Rev.*, 96, 351-356.
- Seifert, A., 2008: A Revised Cloud Microphysical Parameterization for COSMO-LME, COSMO Newsletter, 7, 25-28.
- Simmons, A. J. and D. M. Burridge, 1981: An energy and angular-momentum conserving vertical finite-difference scheme and hybrid vertical coordinate. *Mon. Wea. Rev.*, 109, 758-766.
- Staniforth, A. and J. Côté, 1991: Semi-Lagrangian integration schemes for atmospheric models – A review. *Mon. Wea. Rev.*, 121, 2206-2223.
- Stuhne, G. R. and W. R. Peltier, 1996: Vortex erosion and amalgamation in a new model of large scale flow on the sphere. *J. Comput. Phys.* 128, 58.
- Stuhne, G. R. and W. R. Peltier, 1999: New icosahedral grid-point discretizations of the shallow water equations on the sphere. *J. Comput. Phys.* 148, 23-58.
- Tiedtke, M., 1989: A comprehensive mass flux scheme for cumulus parameterization in large-scale models. *Mon. Wea. Rev.*, 117, 1779-1800.
- Tegen, I., P. Hollrig, M. Chin, I. Fung, D. Jacob, and J. Penner, 1997: Contribution of different aerosol species to the global aerosol extinction optical thickness: Estimates from model results. *J. Geophys. Res.*, 102, 23895-23915, doi:10.1029/97JD01864.
- Williamson, D. L., 1968: Integration of the barotropic vorticity equation on a spherical geodesic grid. *Tellus*, 20, 642-653.
- Zienkiewicz, O. C., 1979: "The Finite Element Method", 3<sup>rd</sup> Ed., McGraw-Hill, London, pp. 164-167.